

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Инженерно-строительный институт

Кафедра «Геотехника и дорожное строительство»

"УТВЕРЖДАЮ"

Зав. кафедрой

_____ В.С. Глухов

“ _____ ” _____ 2016 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Для выпускной квалификационной работы на тему:

*Методы повышения несущей способности грунтовых оснований
автомобильных дорог*

наименование темы

Автор дипломного проекта _____ *Недведский Александр Владиславович*

подпись, инициалы, фамилия

Обозначение _____ *ВКР-2069059-08.03.01-120869-16*

Группа _____ *Стр-44*

номер

Направление _____ *«Строительство»,*

Направленность _____ *«Автомобильные дороги»*

номер, наименование

Руководитель проекта _____ *Корнюхин Анатолий Владимирович*

подпись, дата, инициалы, фамилия

Консультанты по разделам:

1. Расчетно-конструктивный раздел _____ *Корнюхин А.В.*
(наименование раздела) *(подпись)* " ____ " _____ 2016 г.

2. Технология строительства _____ *Корнюхин А.В.*
(наименование раздела) *(подпись)* " ____ " _____ 2016 г.

Нормоконтроль _____ *Корнюхин А.В.*
(подпись) " ____ " _____ 2016 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего образования
«Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»
Кафедра «Геотехника и дорожное строительство»

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой

_____ В.С. Глухов

«_3_» _____ 03 _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
для выпускной квалификационной работы

Студент Недведский Александр Владиславович _____ гр. __Стр-44__

1. Тема Методы повышения несущей способности основания автомобильных дорог _____

(утверждена приказом по Пензенскому ГУАС № 06-09-273
от «3» декабря 2015 г.)

2. Срок представления проекта (работы) к защите 10 июня _____ 2016 г.

3. Исходные данные к работе Требуется всесторонне проанализировать вопросы укрепления грунтовых оснований различными способами и методиками. Сделать соответствующие выводы _____

4. Содержание расчетно-пояснительной записки:

1.История строительства ад из укрепленных грунтов

2.Теоретические основы укрепления

3.Классификация грунтов, методов и способов укрепления

4.Способы укрепления грунтовых оснований

5.Способы укрепления рабочих слоёв ЗП

5. Перечень графического материала 1.Классификация методов укрепления грунтов

2.Схемы компл. подхода к укреплению грунтов

3.Констр.-тех. решения при выборе способа усиления грунта

4.Селикатизация грунта

5.Укрепление грунтов минеральными вяжущими

6.Способы регенерации

7.Усиление слоев

Календарный план

№ п/п	Наименование этапов	Срок выполнения этапов работы	Примечания

6. Главный консультант _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

7. Консультанты по разделам:

по технологии строительства _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

по экономике и организации строительства _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

по расчетно-конструктивному разделу _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

техносферная безопасность _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

нормоконтроль _____
(подпись) (инициалы, фамилия)

8. Задание принял к исполнению _____
(подпись студента, дата) (инициалы, фамилия)

СОДЕРЖАНИЕ

Введение _____

Раздел 1. История строительства автомобильных дорог с использованием укрепленных грунтов _____

Раздел 2. Теоретические основы укрепления грунтов _____

Раздел 3. Грунты. Классификация методов и способов укрепления грунтов на автомобильных дорогах _____

3.1. Грунты, их основные свойства и методы укрепления _____

3.2. Методы укрепления грунтов _____

Раздел 4. Способы укрепления грунтовых оснований на автомобильных дорогах _____

4.1. Оценка устойчивости и прогноз осадки насыпи на слабом основании _____

4.1.1. Анализ условий залегания и работы слабых грунтов в основании насыпи _____

4.1.2. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов в основании _____

4.2. Конструктивно-технологические решения при сооружении земляного полотна на слабых грунтах _____

4.2.1. Временная пригрузка _____

4.2.2. Вертикальное дренирование _____

4.2.3. Частичное удаление слабого грунта _____

4.2.4. Предварительное осушение слабой толщи _____

4.2.5. Устройство боковых пригрузочных призм (берм) _____

4.2.6. Применение легких насыпей _____

4.2.7. Временное понижение грунтовых вод _____

4.2.8. Свайные конструкции из зернистых материалов _____

4.2.9. Усиление основания жесткими сваями _____

4.2.10. Частичная замена слабого грунта _____

4.2.11. Полное удаление слабого грунта _____

4.2.12. Применение геосинтетических материалов при строительстве земляного полотна на слабых основаниях дорог общего пользования и временных дорог _____

4.2.13. Применение геотекстильных нетканых материалов для ускорения осадки с помощью вертикальных ленточных дрен _____

4.3. Современные отечественные и зарубежные способы укрепления грунтов основания _____

4.3.1. Армирование оснований сваями-инъекторами _____

4.3.2. Армирование оснований буронабивными элементами _____

4.3.3. Усиление грунтовых оснований методом «Геокомпозит» _____

**Раздел 5. Способы укрепления «рабочих слоев» земляного полотна
автомобильных дорог _____**

5.1. Анализ факторов, влияющих на дорожную конструкцию _____

5.2. Требования к грунтам _____

5.3. Требования к вяжущим материалам _____

5.3.1. Органические вяжущие материалы _____

5.3.2. Неорганические вяжущие материалы _____

5.4. Отличительные особенности структурно-механических свойств
грунтов, укрепленных минеральными вяжущими материалами _____

5.5. Особенности технологических приемов устройства оснований
из укрепленных грунтов _____

5.6. Стабилизация и силикатизация грунтов _____

5.6.1. Стабилизаторы _____

5.6.2. Внесение стабилизаторов _____

5.6.3. Преимущества системы в сравнении с бетонной стабилизацией _____

5.7. Укрепление грунтов полимерными вяжущими (Nicoflok) _____

5.8. Укрепление грунтов полимерной эмульсией M10+50 _____

5.8.1. Технология строительства _____

5.8.2. Транспортирование обработанных грунтов _____

5.8.3. Техника безопасности _____

5.9. Укрепление грунтов геосинтетическими материалами _____

Список литературы _____

Введение

Более восьмидесяти лет назад в нашей стране были начаты исследования в области строительства автомобильных дорог. Уже в начальный период исследований ставилась задача по максимальному использованию различных грунтов, залегающих вдоль трассы, для устройства дорожной одежды.

В середине 20-х годов прошлого века в нашей стране сформировалась новая отрасль науки - дорожное грунтоведение. Грунтоведение - это геологическая наука по своему содержанию. Предметом ее изучения являются любые горные породы, а также почвы и искусственные грунты. Под грунтами принято понимать любые горные породы или почвы, а также твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, представляющие собой многокомпонентную систему, изменяющуюся во времени, и используемые в качестве основания, материала или среды (при сооружении тоннелей) для возведения зданий и других инженерных сооружений, в том числе автомобильных и железных дорог и аэродромов. Свойства грунтов предопределяются их генезисом, условиями залегания, влажностью, плотностью, химическим и минералогическим составом и другими особенностями.

Очень важной в практическом отношении и неотделимой частью грунтоведения является техническая мелиорация грунтов, которая включает широкий круг вопросов, охватывающих изучение и разработку как способов улучшения отдельных свойств грунтов путем их осушения, уплотнения и кольматации, так и методов коренного преобразования грунтов путем придания им новых, качественно иных и более высоких свойств. Изменение первоначальных свойств природных и техногенных (искусственных) дисперсных грунтов различного состава и генезиса и преобразование их в монолитный, прочный и морозоустойчивый конструктивный слой дорожной или аэродромной одежды принято называть укреплением грунтов. Такое превращение дисперсной системы в монолитную массу с заданными новыми физико-механическими свойствами достигается путем внесения оптимальных добавок вяжущих и других веществ и последовательного выполнения установленных технологических

операций с обязательным использованием высокопроизводительных комплектов (отрядов) грунтосмесительных и других машин.

Укрепление грунтов - принципиально новый подход к конструированию дорожных и аэродромных одежд. При устройстве слоев основания и морозозащитного слоя проезжей части и обочин из укрепленных грунтов поступление влаги к материалу земляного полотна сверху через дорожную одежду практически исключается. В результате этого влажность верхней части земляного полотна всегда бывает меньше, чем при устройстве традиционных щебеночных оснований на дренирующем песчаном слое. Вследствие хорошей распределяющей способности слоев из укрепленных грунтов ровность покрытий на таких основаниях обычно лучше, чем на щебеночном или гравийном основании.

В дорожной технической литературе и практике часто пользуются термином местные материалы. При этом всегда учитывают важную особенность и преимущество использования местных материалов в дорожном строительстве. Эти материалы не требуют дальних перевозок автомобильным транспортом и исключают надобность в перевозках таких материалов железнодорожным транспортом. Исходя из этого, к местным, а следовательно, к доступным для применения и дешевым материалам, подвергаемым укреплению вяжущими и другими материалами, следует относить как повсеместно залегающие, широко распространенные природные грунты различного состава, так и твердые обломочные отходы производства и некондиционные каменные материалы, называемые искусственными (техногенными) грунтами в соответствии с ГОСТ 25100-95.

Уже в самый ранний период исследования (1928 - 1932 гг.), проводимых в целях дорожного строительства, начали разрабатывать методы по широкому использованию разнообразных местных материалов не только для устройства земляного полотна, но и для конструктивных слоев дорожных одежд (оснований) из грунтов, укрепленных различными вяжущими. Весьма парадоксально, но разработка различных методов укрепления грунтов началась с наиболее сложного

и наиболее трудного для решения вопроса - укрепления глинистых видов грунтов (тяжелых суглинков и тощих глин). Это объяснялось тем, что в районах, где нет прочных каменных материалов и их использование является дорогостоящим мероприятием, как правило, широко распространены и залегают на большой территории глинистые виды грунтов. Несмотря на большие трудности укрепления указанных видов грунтов, уже в те годы было получено положительное решение этого вопроса.

В настоящее время в России построено и эксплуатируется свыше 30 тыс. км дорог, где применены укрепленные грунты (в основном цементогрунты) для оснований и покрытий дорожных одежд. Во всем мире площадь конструктивных слоев из укрепленных грунтов на дорогах и аэродромах превышает в настоящее время 3 млрд. м².

Актуальность использования укрепленных грунтов в настоящее время обусловлена увеличивающимися объемами строительства автомобильных дорог, в том числе в восточной части страны, и дефицитом (высокой стоимостью) каменных материалов. Большая часть территории России лишена каменных материалов, и дорожное строительство в ее пределах базируется на применении каменных материалов, доставляемых из горных частей страны или зарубежья (Украины) на расстояние до 400 - 500 км. Значительные затраты на транспортирование материалов вызывают увеличение общей стоимости строительства автомобильных дорог. Поэтому на этих территориях для устройства дорожных одежд целесообразно применять местные материалы, укрепленные различными вяжущими.

РАЗДЕЛ 1

ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ

Разработка различных методов укрепления грунтов была начата в Советском Союзе в конце 20 - 30-х годов прошлого века. Уже с самого начала поисковые исследования имели естественно-историческую направленность (с учетом природных особенностей дорожно-климатических зон), что, безусловно, было правильно и обоснованно.

Научной основой укрепления грунтов и, особенно глинистых грунтов, было и по-прежнему остается справедливым и теперь важное положение, сформулированное М.М. Филатовым и развитое В.М. Безруком [4, 5], которое заключается в следующем: при разработке любых методов укрепления грунтов в целях качественного изменения первоначальных их свойств всегда необходимо всесторонне учитывать свойства и особенности тонкодисперсной (глинисто-коллоидной) части грунта, а также емкость обмена и состав поглощающего комплекса, минералогический и химический составы и генетические признаки грунта.

При разработке новых и совершенствовании существующих методов укрепления грунтов более 60 лет руководствуются также положениями, развитыми П.А. Ребиндером в области физико-химической механики дисперсных систем. При этом учитывают важную особенность тонкодисперсных грунтов адсорбировать поверхностно-активные и другие вещества различного состава. Это позволяет регулировать и изменять в нужную сторону процессы формирования прочных пространственных структур, улучшать эффективность отдельных технологических операций путем ускорения или торможения процессов взаимодействия с вяжущими и повышать конечную прочность и другие свойства укрепленных грунтов [7, 8].

В 30 - 40-х годах XX века разрабатывались и внедрялись в практику дорожного строительства различные методы укрепления грунтов добавками органических (жидких битумов и каменноугольных дегтей) и неорганических

(известии, портландцемента и др.) вяжущих материалов. С каждым годом расширялся диапазон используемых вяжущих материалов, так, дополнительно к вышеупомянутым органическим вяжущим широкое применение нашли битумные эмульсии, пасты и вспененные битумы, а ассортимент минеральных вяжущих пополнили активные золы уноса, тонкомолотые гранулированные шлаки, белитовые шламы (нефелиновые и бокситовые) и другие отходы промышленности, обладающие в большей или меньшей степени вяжущими свойствами.

По мере развития различных методов укрепления и увеличения объемов их применения формировались коллективы научных работников, плодотворно и творчески ведущих исследования в указанной области. Многие годы исследования и практическое внедрение методов укрепления грунтов велись отделом укрепления грунтов Союздорнии, в том числе в Ленинградском, Омском, Казахском и Среднеазиатском филиалах, в Гипродорнии Минавтодора РСФСР и Госдорнии Минавтодора УССР, а также на кафедрах грунтоведения МГУ, Ленинградского, Тюменского и Ростовского инженерно-строительных институтов, в Омском и Харьковском автомобильно-дорожном институтах и других научных коллективах. Большую положительную роль в обобщении накопленного практического опыта и проведенных исследований в Советском Союзе по укреплению грунтов играли периодически проводимые Всесоюзные совещания по укреплению и уплотнению грунтов.

Большое внимание в свое время уделялось цементно-грунтовой технологии укрепления грунтов, которая основана на смешивании до однородного состояния цемента и естественного грунта при установленном содержании воды и уплотнении с целью придания укрепленному грунту определённых свойств: прочности, устойчивости, морозостойкости и т. д. [4].

Впервые в России цемент для укрепления грунтов был применён для устройства садовых дорожек [1]. После революции первые опыты по укреплению грунтов портландцементом были проведены в 1927 году на опытных дорожках Ленинградского дорожно-исследовательского бюро.

Лабораторные исследования по укреплению грунтов цементом проводились также ЦИАТ и ДорНИИ. Положительные результаты исследований позволили выполнить укрепление грунта цементом под асфальтобетонные покрытия на подъездных путях к территории Всесоюзной сельскохозяйственной выставки. В послевоенный период начинается широкое внедрение цементогрунтов в дорожном и аэродромном строительстве [3]. Цементно-грунтовые основания были применены взамен щебёночных и песчаных слоёв на автомагистралях Москва — Харьков (1946–1949), Москва — Ленинград (1949), Москва — Рязань (1950) и др. Решающее значение для развития метода укрепления грунтов цементами имели работы В. М. Безрука, который в результате многолетних исследований разработал теоретические и практические рекомендации укрепления грунтов цементами [1–3]. Как отмечает Безрук, на эффективность укрепления грунтов цементом оказывает исключительно важное влияние химико-минералогический состав цементов, генезис, состав и свойства грунтов, в частности их заселённость и состав обменных катионов. Введение в цементно-грунтовые смеси некоторых веществ (например, мылонафта, саапстока и др.), образующих с продуктами гидролиза цемента гидрофобные и другие вещества, заполняющие поры, может в ряде случаев придавать им повышенную водопроницаемость. С 80-х годов прошлого века успешно велись работы по укреплению грунтов цементами комплексным методом, предусматривающим направленное влияние на процессы цементации грунтов. Но об этом ниже.

За границей, цементно-грунтовые технологии начали развиваться также в первой половине XX века. В 20-х годах в США из цементогрунтов делали покрытия просёлочных дорог [4]. После II мировой войны этот метод получил распространение в Англии, Бельгии, Голландии и других европейских странах. Так, в Голландии, начиная с 1956 года, было укреплено десятки миллионов квадратных метров почвы. Почти всюду она была песчаной и поэтому данная технология получила название пескоцементной. В 80-х годах прошлого века в ФРГ ежегодно около 1 млн. т цемента расходовалось на стабилизацию песков на севере страны (портовые сооружения Гамбурга, складские площадки), при

строительстве просёлочных дорог. Во Франции эту технологию начали применять с 1972 года благодаря активности цементных компаний [4].

В большинстве зарубежных публикациях отмечается, что укрепление грунтов с помощью цемента или смеси цемента с известью для покрытий просёлочных дорог, вместо каменной наброски уплотняемой механическим путём, представляется весьма экономичным решением [4]. Из цементогрунтов, помимо просёлочных дорог, можно сооружать покрытия складских площадок, стоянок автомашин, постели оснований железных дорог, каналов, оснований отдельных типов зданий, а также грунтов, предназначенных для возведения больших земляных плотин.

В настоящее время основными нормативными документами Российской Федерации являются ГОСТ 23558-94 и ГОСТ 30491-97.

В 2003 г. в Союздорнии разработаны «Руководство по грунтам и материалам, укрепленным органическими вяжущими» и «Руководство по грунтам и материалам, укрепленным неорганическими вяжущими», позволяющими готовить смеси как в установке с последующим транспортированием ее к месту укладки, так и методом смешения на дороге (рис. 1.1), которые позволяют осуществлять работы в труднодоступных местах, вдали от магистральных дорог и централизованного электроснабжения.



Рис. 1.1. Устройство основания из укрепленного грунта методом смешения на дороге

РАЗДЕЛ 2.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

При укреплении природных грунтов и отходов промышленности всегда следует учитывать и использовать дополнительные «резервы», заложенные в массе укрепленного грунта. В смеси грунта с вяжущими происходят разнообразные реакции взаимодействия с ПАВ, которые часто являются отходами промышленности и используются в целях торможения или интенсификации (ускорения во времени) процессов взаимодействия и твердения укрепленных грунтов, или они (ПАВ) оказывают большее или меньшее воздействие на другие процессы (адгезию вяжущих, размельчение грунтовых агрегатов, уплотняемость смеси и др.). Поэтому важно помнить, что укрепление грунтов представляет собой весьма сложный процесс, идущий во времени и включающий в себя разнообразное взаимодействие длительно (постоянно) и временно действующих факторов.

Постоянно действующими факторами являются минералогический и химический составы укрепляемых грунтов и применяемых для этих целей вяжущих материалов, ПАВ и других веществ. Степень раздробленности (дисперсности), т.е. гранулометрический состав грунта, твердых порошкообразных вяжущих и вносимых в грунт добавок (зол уноса, шлаков и др.), также играет важную роль.

Временно действующими факторами являются все технологические операции, выполняемые при обработке грунтов, укладке и уплотнении готовой смеси, а также способы ухода за уплотненным слоем укрепленного грунта.

Основными технологическими операциями являются: размельчение глинистых грунтов, точное дозирование вяжущих и других веществ, перемешивание грунта и вяжущих до однородной смеси, увлажнение смеси до требуемой оптимальной влажности, уплотнение готовой смеси до максимальной плотности, уход за уплотненным слоем из укрепленного грунта.

Технологические операции всегда должны выполняться в строго установленном порядке. Они относительно кратковременны и должны быть

закончены до начала изменения свойств грунта и формирования заданной пространственной структуры под влиянием постоянно действующих факторов, качественно преобразующих укрепленный грунт в прочный и монолитный слой дорожной одежды. Следует отметить, что отдельные технологические операции при плохом или несвоевременном их выполнении значительно снижают воздействие на грунт постоянно действующих факторов и в первую очередь вяжущих материалов и активных или поверхностно-активных добавок.

Хотя перечисленные выше технологические операции осуществляют в относительно небольшой промежуток времени, а часто некоторые технологические операции выполняются почти одновременно (в грунтосмесительных установках), их последующее влияние на прочность укрепленного грунта является весьма большим и по воздействию своему приближается к постоянно действующим факторам.

Предварительное размельчение глинистых грунтов (супесей, и особенно суглинков и глин) имеет весьма важное значение. Исследованиями Е.И. Путилина [9] установлено, что с увеличением размера грунтовых агрегатов (комков) и их количественного содержания прочность грунта, укрепленного вяжущими материалами, резко снижается. Морозостойкость укрепленных грунтов при содержании агрегатов (комков) размером более 5 мм в количестве свыше 15 - 20 % также значительно уменьшается. Механическое размельчение глинистых грунтов до размеров агрегатов менее 5 мм представляет большие трудности, особенно сухих грунтов. Введение небольшого количества добавок ПАВ определенного состава улучшает этот процесс. При этом затраты механической энергии на размельчение грунта до требуемой степени существенно уменьшаются.

Следует также отметить то важное обстоятельство, что технологические операции, указанные ранее, взаимосвязаны, дополняют друг друга и незаменимы одна другой. Например, неточное дозирование и неравномерное распределение вяжущих в смеси или же недостаточное уплотнение готового слоя укрепленного грунта значительно снижает эффективность действия вяжущих материалов и

других веществ. Только строгое соблюдение технологических операций, завершающихся уплотнением готовой смеси до максимальной плотности при оптимальной влажности с высоким качеством работ, обеспечивает требуемую прочность и другие свойства укрепленного грунта. Лишь при таких условиях и наличии строгой производственной дисциплины полностью могут быть реализованы большие технико-экономические преимущества применения укрепленных грунтов.

Технологические операции всегда предшествуют действию вяжущих веществ, которые твердеют во времени в готовом, уплотненном слое укрепленного грунта. В конечном итоге грубодисперсные или тонкодисперсные грунты утрачивают свою раздробленность (дискретность). В массе грунта формируется пространственная структура соответствующего типа в зависимости от свойств вяжущего материала. Грунт приобретает новые качества и преобразуется в прочный монолит, свойства которого (прочность, морозостойкость и др.) отвечают установленным требованиям.

Большое разнообразие вяжущих и других веществ, применяемых для укрепления грунтов в широком диапазоне их гранулометрического, минералогического и химического составов, а также генезиса, требует тщательного и внимательного подхода при их выборе.

При укреплении грунтов протекают во времени сложные и взаимосвязанные взаимодействия, которые в обобщенном виде можно рассматривать как следующие процессы:

- химические - гидратация частиц цемента, извести и других минеральных вяжущих, твердеющих во времени продуктов гидролиза и гидратации, а также их новообразований, возникающих при взаимодействии с частицами природных или искусственных грунтов и особенно с тонкодисперсной их частью;

- полимеризация и поликонденсация синтетических веществ (например, карбамидных смол), химическое взаимодействие с образованием водостойких соединений с различными активными реагентами;

- физико-химические - обменное поглощение катионов, являющихся продуктом гидратации цемента (Ca^{2+}), тонкодисперсной частью грунта или поглощение других катионо- или анионоактивных веществ; при этом может иметь место молекулярная сорбция веществ из растворов на поверхности раздела фаз, а также необратимая коагуляция глинистых и коллоидных частиц, их микроагрегирование и прочное цементирование;

- физические и механические - предварительное тонкое размельчение грунтовых агрегатов в случае укрепления глинистых грунтов, точное дозирование вяжущих и других веществ, равномерное их объединение с частицами или микроагрегатами, оптимальное увлажнение и максимальное уплотнение смеси с последующим обеспечением требуемого режима твердения уплотненного слоя.

Перечисленные разнообразные и сложные процессы направлены на превращение дискретного грунта в прочный монолитный слой и всегда находятся в тесной взаимосвязи.

Исходя из научных положений, развитых академиком П.А. Ребиндером и его учениками в области физико-химической механики дисперсных тел, принято различать три типа пространственных моноструктур: кристаллизационные, конденсационные и коагуляционные.

Кристаллизационные структуры возникают в результате сращивания кристалликов новой твердой фазы, возникающей из пересыщенного раствора, например, при гидратационном твердении минеральных вяжущих материалов. Характерной особенностью этих структур является то, что они в течение короткого времени (до начала схватывания гидратационных зерен цемента) развиваются на основе коагуляционных структур путем выкристаллизовывания из растворов вновь образовавшихся гидратов, срастающихся в прочный монолит в процессе своего роста и упрочнения с увеличением времени их твердения. Кристаллизационные структуры являются наиболее прочными и морозостойкими по сравнению с другими типами структур. Они образуются при укреплении различных типов грунтов портландцементом и другими видами цемента, а также

при добавлении извести, известково-шлакового цемента, тонкомолотых шлаков, белитовых шламов и активных зол уноса.

Конденсационные структуры характеризуются тем, что они возникают при действии наибольших сил сцепления - химических. Такие структуры отличаются высокой механической прочностью, хрупкостью и характеризуются полным отсутствием тиксотропных свойств, характерных для коагуляционных структур. Конденсационные структуры образуются при укреплении грунтов синтетическими смолами типа карбамидных, фурфуроланилиновых и др.

Коагуляционные структуры характеризуются тем, что частицы дисперсной фазы образуют беспорядочную пространственную сетку. Возникновение отдельных коагуляционных связей (контактов сцепления), происходящих под влиянием относительно слабых вандерваальсовых сил, осуществляется через тонкую прослойку жидкой фазы - дисперсионной среды. Это определяет особенности и свойства пространственных структур такого типа. Коагуляционные структуры формируются при укреплении грунтов добавками органических вяжущих веществ.

В процессе разработки различных методов укрепления грунтов они совершенствовались и при этом находились эффективные новые решения по весьма существенному улучшению структурно-механических свойств укрепленных грунтов.

Было установлено и подтверждено многолетними наблюдениями в производственных условиях, что при укреплении грунтов двумя вяжущими материалами, характеризующимися весьма различными, но не антагонистическими свойствами и различной структурой (например, кристаллизационной, свойственной цементам, и коагуляционной, свойственной битумам), они приобретают повышенные сдвигоустойчивость, морозо-, температуростойкость и при необходимости могут быть менее жесткими и деформативными материалами.

Методы, сочетающие при укреплении грунтов внесение добавок двух вяжущих веществ или одного вяжущего и поверхностно-активного или активного

вещества гидрофобного типа, получили название комплексных методов. В процессе изучения преимуществ, заложенных в комплексных методах укрепления, было установлено, что при этом формируются ранее неизвестные типы сложных пространственных структур совмещенного типа.

Характерной особенностью сложных совмещенных структур является то, что при правильном технологическом процессе в микрообъемах укрепленного грунта формируются два типа пространственных бинарных структур, характеризующихся разными свойствами, взаимно дополняющими друг друга и компенсирующими недостатки (как дорожно-строительного материала) каждой из моноструктур. Бинарные (совмещенные) структуры - взаимопроникающие структуры, и в микрообъемах они прерывистые, сменяют друг друга в небольших объемах укрепленного грунта.

В результате разработки и подробного изучения положительных особенностей комплексных методов укрепления грунтов возникла целесообразность в выделении, помимо трех основных типов пространственных моноструктур (кристаллизационной, конденсационной и коагуляционной), также типов сложных бинарных пространственных структур. Такими бинарными структурами являются коагуляционно-кристаллизационная, конденсационно-кристаллизационная, кристаллизационно-коагуляционная, конденсационно-коагуляционная, коагуляционно-конденсационная. В перечисленных бинарных структурах вначале указывается та структура, которая занимает в укрепленном грунте меньший объем, а затем приводится преобладающая структура.

Изменяя величину и соотношение добавок вяжущих и других веществ, можно направленно изменять в нужную сторону механические и физические свойства укрепленных грунтов в зависимости от области их применения [10].

В последнее время, помимо традиционно используемых органических и минеральных вяжущих для укрепления грунтов, широко рекламируются, а в отдельных регионах России используются отечественные и зарубежные стабилизаторы грунтов. Все стабилизаторы по составу и природе взаимодействия с грунтами объединены в два класса.

К первому классу используемых стабилизаторов следует отнести ионные закрепители глинистых грунтов. Среди стабилизаторов зарубежного и отечественного производства можно выделить Pergma-Zyme, Roadbond, Gonsolid, Roadpaker Plus, T-RRP, RRP-235-Special, «Статус», «Статус-2», «Дорзин» и другие, примененные при обработке глинистых грунтов на территории России (рис.2.1., 2.2.).



Рис. 2.1. Распределение раствора стабилизатора Roadpaker Plus



Рис. 2.2. Обработка грунта стабилизатором T-RRP навесной фрезой (аэропорт Шереметьево, 2006 г.)

Вышеперечисленные стабилизаторы являются многокомпонентными системами на кислотной основе и представляют собой мощные ионизирующие вещества, которые после введения их в грунт посредством водного раствора вызывают активный физико-химический процесс поляризации молекул глинистого грунта, при этом ионизированная вода интенсивно обменивается электрическими зарядами с мелкими частичками грунта. Стабилизаторы содержат органические ПАВ, увеличивающие пластичность обрабатываемого грунта и его уплотняемость [11, 12].

Результаты ранее проведенных исследований и опытных работ с использованием стабилизаторов позволили сделать следующие выводы:

- внесение стабилизатора снижает величину оптимальной влажности грунта и способствует повышению плотности слоя на 5 - 10 %;
- использование стабилизатора позволяет увеличить прочность и модуль упругости связных грунтов (рис. 2.3);
- капиллярное водонасыщение грунта, обработанного стабилизатором, уменьшается в 1,3 - 2,5 раза по сравнению с грунтом без стабилизатора (табл. 2.1).

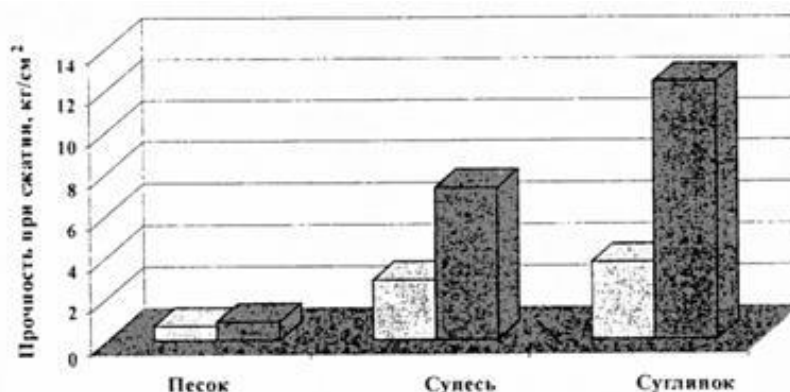


Рис. 2.3. Зависимость прочности грунтов от наличия добавки стабилизатора:
 - без стабилизатора; - со стабилизатором

Таблица 2.1

Физико-механические показатели для суглинка легкого пылеватого (число пластичности - 11,3), обработанного стабилизатором RRP-235-Special

Наименование показателя	Величина показателя для суглинка		
	без стабилизатора	со стабилизатором концентрации, г/м ³	
		90	180
Плотность скелета грунта, г/см ³	1,84	1,88	1,92
Водонасыщение (капиллярное), % по объему	4,20	4,09	0,56
Набухание, % по объему	2,38	0	0
Предел прочности при сжатии, кг/см ² :			
- неводонасыщенных образцов	8,80	11	19,95
- капиллярно-водонасыщенных образцов	3,60	3,90	4,10
Удельное сцепление, кг/см ²	0,42	0,44	0,45
Угол внутреннего трения, град	24	25	25
Предел прочности при расколе, кг/см ²	2,42	2,92	3,71
Модуль упругости, кг/см ²	-	-	1790

Стабилизаторы нельзя рассматривать как минеральные или органические вяжущие вещества, создающие прочные кристаллизационные и коагуляционные связи в укрепленном грунте. Структурные связи в грунте, обработанном стабилизатором, формируются глинистыми частицами, которые менее устойчивы при водонасыщении в сравнении с кристаллизационными и коагуляционными связями. Однако технологию укрепления грунтов стабилизаторами нельзя

игнорировать, она может найти применение при устройстве рабочего слоя земляного полотна, а также оснований и покрытий на низших категориях дорог при условии устройства защитных водонепроницаемых прослоек и покрытий. Для расширения области использования стабилизатора в дорожном строительстве рекомендуется дополнительно к стабилизатору применять добавки минеральных вяжущих веществ: цемента, извести, золы уноса и др. В этом случае стабилизатор способствует повышению плотности и прочности укрепленного грунта, а также снижению расхода минерального вяжущего (рис. 2.4).

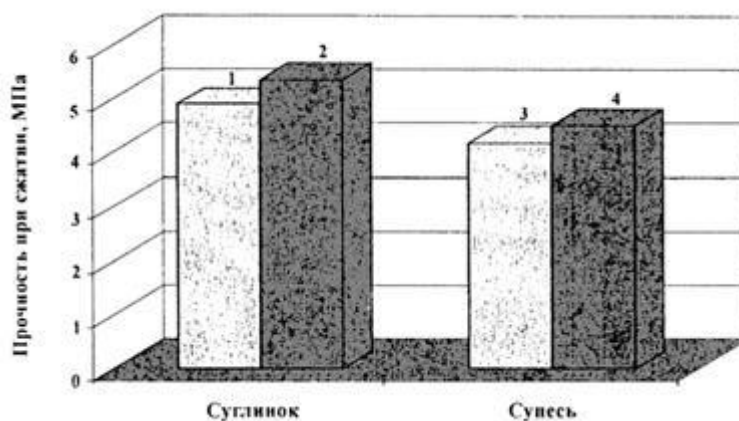


Рис. 2.4. Зависимость прочности укрепленных грунтов от наличия стабилизатора: 1 - суглинок + 14 % цемента, 2 - то же, + 10 % цемента + стабилизатор; 3 - супесь + 12 % цемента; 4 - то же, +10 % цемента + стабилизатор; - без стабилизатора; - со стабилизатором

Второй класс стабилизаторов, предназначенный в основном для песчаных грунтов, представляет собой полимерные эмульсии типа эмульсии акрилового винилацетатного сополимера (M_{10+50}). Эффект стабилизации грунтов такими стабилизаторами обусловлен распадом эмульсии (испарением воды) и отверждением полимера. В табл. 2.2 приведены результаты испытаний песка мелкого пылеватого (100 % по массе), обработанного стабилизатором в количестве 0,3 % по массе (при концентрации полимера в эмульсии 47 %), в возрасте 28 сут. (хранение образцов при температуре 20°C и влажности 50 %).

Таблица 2.2

Показатели физико-механических свойств песка, укрепленного стабилизатором M_{10+50}

Наименование показателя	Величина показателя для смеси	Требования ГОСТ 23558-94
Предел прочности при сжатии, кг/см ²	39,0	≥ 10
Морозостойкость	F15	≥ 5

Расход стабилизатора обусловлен пористостью грунта: чем выше плотность минерального остова, тем меньше требуется эмульсии.

Время распада эмульсии и отверждения полимера зависит от температуры и влажности воздуха, а также от содержания тонкодисперсных частиц грунта, активно отбирающих воду из эмульсии. Наиболее эффективно использование стабилизаторов второго класса в регионах с жарким и сухим климатом, где в большей степени гарантирован распад эмульсии с последующим отверждением полимера.

Полимерные эмульсии эффективны и с добавками минеральных вяжущих, однако в этом случае важно обеспечить не только распад эмульсии, но и процессы гидролиза и гидратации цемента с последующим оптимальным режимом твердения.

Технология укрепления грунтов полимерными эмульсиями в сравнении с традиционно используемыми вяжущими не требует дополнительного оборудования и основывается на введении водного раствора стабилизатора в количестве, необходимом для обеспечения оптимальной влажности укрепляемого грунта, с последующим перемешиванием, разравниванием и уплотнением материала.

РАЗДЕЛ 3.

ГРУНТЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

3.1. Грунты, их основные свойства и методы укрепления

Все грунты, используемые в качестве основания для зданий и сооружений, делятся на следующие типы:

1. песчаные грунты
2. скальные грунты
3. суглинки и супеси
4. глинистые грунты
5. грунты с органическими примесями
6. крупноблочные грунты
7. лёсс
8. насыпные грунты
9. пльвуны.

Иногда специалисты пользуются укрупненным понятием для классификации грунтов и делят грунты, например, на цементированные (или скальные) и нецементированные.

Цементированные или скальные грунты состоят из каменных горных пород, с трудом поддающихся разработке взрыванием или дроблением клиньями, отбойными молотками и т. п.

Нецементированные грунты обычно состоит из песчаных, пылеватых и глинистых частиц, в зависимости от содержания которых, делятся на: песок, супесь (супесок), суглинок, глина.

Глина бывает тощей или жирной, в зависимости от трудоемкости разработки - легкой или тяжелой. Особо тяжелая для разработки глина называется ломовой.

- **Песчаные грунты**

В состав песчаных грунтов входят частицы размерами от 0,1 до 2 мм. В зависимости от размера частиц песчаные грунты делятся на гравелистые, крупные, средние, мелкие и пылеватые.

Коэффициент сжатия плотного песка низок, но скорость его уплотнения под влиянием нагрузки велика. Поэтому осадка строения, возведенного на песке, прекращается довольно быстро. Гравелистые, крупные и средние песчаные

грунты обладают высокой водонепроницаемостью и, следовательно, при замерзании не вспучиваются.

Пылеватыми частицами называются частицы размерами от 0,05 до 0,005 мм. Если в песчаном грунте таких частиц содержится от 15 до 50 %, такие пески также называются пылеватыми. Присутствие в грунте пылеватых частиц значительно снижает строительные качества и ухудшает несущую способность грунта.

Хорошим основанием для здания может служить песчаный грунт равномерной плотности и необходимой мощности. При этом следует учитывать, что такой грунт не должен подвергаться воздействию грунтовых вод.

- **Скальные грунты**

Такие грунты залегают в виде сплошного массива. К этой категории относятся песчаники, кварциты, граниты. Такой материал вполне водостойчив, несжимаем. Если в таком грунте нет ни пустот, ни трещин, он наиболее подходит для строительства.

- **Суглинки и супеси**

Эти грунты представляют собой смесь глины, песка и пылеватых частиц. В их состав входят 30 % глинистых частиц и от 3 до 10 % супеси. По своим техническим параметрам и пригодности для строительства эти грунты занимают промежуточное место между песчаными и глинистыми грунтами.

- **Глинистые грунты**

В состав этих грунтов входят мелкие частицы величиной не более 0,005 мм. Эти частицы в основном имеют форму чешуек. Глина имеет достаточное количество капиллярных каналов и обладает большой удельной поверхностью касания между частицами.

Капиллярные каналы способствуют проникновению воды во все поры материала, при этом образуются тонкие водокolloидные пленки, которые в свою очередь обволакивают частицы остова грунта. Это придает глине необходимую для строительства вязкость. Но с другой стороны, наличие в порах глины капелек

воды при промерзании увеличивает ее объем, что влечет за собой процесс вспучивания.

Глинистые грунты характеризуются высоким сжатием (по сравнению, например, с песчаными грунтами), хотя под воздействием нагрузок скорость осадки гораздо ниже, чем у песков. Поэтому, если основанием для здания служит глина, его осадка продолжается достаточно долго.

Влажность глины влияет на ее несущую способность. Например, несущая способность глины в пластичном и разжиженном состоянии очень низка, в то время, как сухая глина может выдерживать относительно большие нагрузки.

Существуют также и ленточные глины, то есть глины, в которых присутствуют песчаные прослойки. Несущая способность таких глин крайне низка, так как они подвержены быстрому разжижению.

- **Грунты с органическими примесями**

К этой категории грунтов относятся торф, ил, болотный торф, растительный рыхлый грунт. Они характеризуются высокой неравномерностью сжатия. Поэтому грунты с органическими примесями совершенно не пригодны в качестве естественных оснований.

- **Крупноблочные грунты**

Крупноблочными грунтами называются осколки скальных пород, не связанные между собой. В таких грунтах преобладают осколки размером более 2 мм. К ним относятся гравий, галька, щебень. Если такие грунты не подвергаются воздействию размывающей влаги и залегают плотным слоем, они вполне подходят в качестве основания при строительстве.

- **Лёсс**

Лёсс входит в категорию глинистых грунтов. Он состоит из однородной пористой тонкозернистой породы желтовато-палевого оттенка. В лёссе преобладают пылеватые частицы. Одной из основных характеристик лёсса является наличие в нем макропор, которые способствуют глубокому проникновению воды в грунт. По причине низкой водостойкости в связях между частицами, лёсс быстро размокает и дает неравномерные осадки. Таким образом,

если сееружение возводится на лёссовом основании, необходимо оберегать грунт от промокания.

- **Насыпные грунты**

Такие грунты формируются, как правило, искусственным путем, например, при засыпке оврагов, прудов и т. д. Для насыпных грунтов характерно неравномерное сжатие, поэтому в качестве естественных оснований они практически не используются, за исключением рефулированных насыпных грунтов, то есть грунтов, образованных путем перекачки разжиженного грунта по трубопроводу землесосом (рефулкротом).

- **Плывуны**

Плывуны представляют собой разновидность супесей и других мелкозернистых грунтов имеющих нестабильное, подвижное состояние. При разжижении пылуны становятся особенно подвижными и могут практически превращаться в жидкость. Плывуны мало пригодны в качестве основания, однако современные методы строительства располагают технологиями борьбы с негативными свойствами пылунов.

Свойства грунтов

Грунты имеют собственные показатели физических и водных свойств, такие как:

- влажность
- объемный вес
- удельный вес
- сцепление
- пористость и коэффициент пористости
- степень влажности
- объемный вес песков в максимально рыхлом и максимально плотном сложениях
- пластичность
- консистенция
- структурная прочность и чувствительность
- зерновой (гранулометрический) состав
- размокание
- водоудерживающая способность
- коэффициент фильтрации.

Эти свойства вычисляются в специальных лабораториях, по заключению которых определяются качество грунтов и технологии дальнейшего строительства.

Такой показатель, как анизотропия механических свойств грунта, исследуется в основном, когда речь идет о крупных, серьезных объектах. Взаиморасположение инженерно-геологических элементов обычно показывается на инженерно-геологических разрезах. Однако в некоторых случаях создают дополнительные документы.

Прежде чем выбирать основание для строительства сооружения, следует самым тщательным образом исследовать грунт, выяснить схему расположения его пластов, их мощность (толщину слоя, физические и механические свойства), расположение и влияние на грунт грунтовых вод.

3.2. Методы укрепления грунтов

Для повышения несущей способности грунтовых оснований применяют следующие способы искусственного закрепления грунтов:

- цементацию и битумизацию
- химический
- термический
- электрический
- электрохимический
- механический и др.

Цементация — это процесс нагнетания в грунт жидкого цементного раствора или цементного молока по ранее забитым полым сваям. Когда процесс нагнетания заканчивается, сваи вынимают. Цементация подходит только для уплотнения крупных и средних песков.

Химическим способом (силикатизацией) закрепляют песчаные и лёссовые грунты, нагнетая в них химические растворы.

Термическое закрепление заключается в обжиге лёссовых грунтов раскаленными газами, которые подаются в толщу грунта вместе с воздухом через жаропрочные трубы в пробуренных скважинах.

Электрическим способом закрепляют влажные глинистые грунты. Способ заключается в использовании эффекта электроосмоса, для чего через грунт пропускают постоянный электрический ток с напряженностью поля 0,5-1 В/см и плотностью 1-5 А/кв.м. При этом глина осушается, уплотняется и теряет способность к пучению.

Электрохимический способ отличается от предыдущего тем, что одновременно с электрическим током через трубу, являющуюся катодом, в грунт вводят растворы химических добавок (хлористый кальций и др.). Благодаря этому интенсивность процесса закрепления грунта возрастает.

Механический способ укрепления грунтов имеет следующие разновидности: устройство грунтовых подушек и грунтовых свай, вытрамбовывание котлованов и др.

Уплотнение грунтов

Уплотнение грунтов представляет собой механический процесс сближения частиц грунта, в результате которого уменьшается его пористость по сравнению с естественной и, как следствие этого, повышается его несущая способность. Различают способы поверхностного (на глубину до 2,5 м) и глубинного (на глубину 12 м и более) уплотнения грунтов. Поверхностное уплотнение производят укаткой, трамбованием или вибрацией. Для осуществления глубинного уплотнения используют воздействие вибрации, взрывов, применяют грунтовые и песчаные сваи, бумажные дрены и т. п.

Укатку и трамбование рекомендуется вести при влажности грунтов, близкой к оптимальной, т. е. при той, при которой достигается наибольший эффект уплотнения. Оптимальная влажность для песка мелкого и средней крупности составляет 10—15%; для песка пылеватого — 14—23%; для супесей — 9—15%; для суглинков принимается на 1%, а для глин на 2% ниже влажности на границе раскатывания. Увлажнение грунта с целью доведения его влажности до оптимальной осуществляют поливочной машиной или из шлангов.

Грунт укатывают тяжелыми катками различных конструкций, которые широко применяют в дорожном строительстве для уплотнения насыпей. За один

проход катка грунт уплотняется на глубину до 20 см, а при многократном проходе — до 60 см. Методом укатки целесообразно уплотнять супеси, суглинки и глины на значительных по площади территориях.

Для уплотнения грунтовых оснований фундаментов сооружений различного назначения, включая мосты, катки не используют. В этих случаях более целесообразно применение трамбовок различных конструкций, в том числе свободно падающих, дизельных, пневматических и вибрационного действия.

Наиболее простыми и достаточно эффективными являются тяжелые трамбовки, сбрасываемые с высоты 3—4 м на уплотняемый грунт посредством кранов, оснащенных фрикционными лебедками. Такие трамбовки массой до 3,5 т делают из чугуна или железобетона в форме усеченного конуса с основанием диаметром 1—2 м.

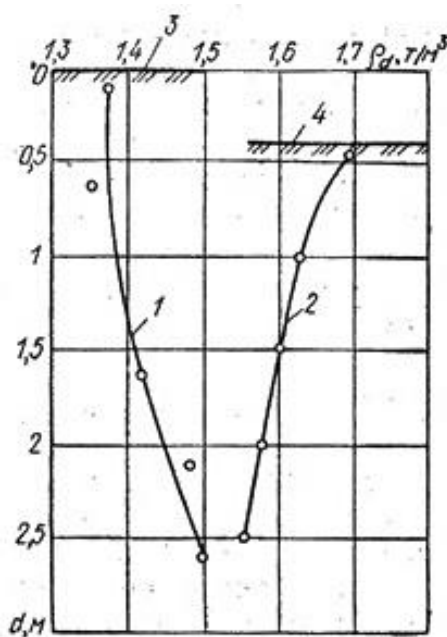


Рис. 3.1. Изменение плотности сухого лессовидного грунта ρ_d по глубине d ; 1 — до уплотнения; 2 — после уплотнения трамбовкой диаметром 1,25 м; 3 — первоначальная поверхность грунта; 4 поверхность грунта после трамбования

Тяжелыми трамбовками можно хорошо уплотнять насыпные, рыхлые песчаные и сильно сжимаемые глинистые и лессовые грунты. При трамбовании грунт уплотняется на глубину до 2,5 м (рис. 3.1), что обеспечивает повышение несущей способности основания до 30%. Подвергнутый трамбованию лессовый грунт, как правило, теряет просадочные свойства в пределах зоны уплотнения и осадка его значительно уменьшается. Одной тяжелой трамбовкой в течение

смены можно уплотнить 100— 150 м² площади основания. Существенным недостатком использования тяжелых трамбовок является быстрая изнашиваемость тросов, лебедок и кранов.

Более совершенным способом поверхностного уплотнения несвязных грунтов является вибрационный. В практике возведения сооружений применяют виброплощадки и виброкатки массой от 1,6 до 20 т. Вынуждающая сила вибраторов 100—220 кН при частоте колебаний 600— 3000 мин⁻¹. Подобными механизмами за 1ч можно уплотнять грунт на площади 50—300 м² на глубину 1—2 м.

Для глубинного уплотнения рыхлых песков, содержащих не более 20% пылеватых и глинистых частиц, наиболее эффективно использование гидровиброуплотнения. В зависимости от гранулометрического состава пористость уплотняемого песка может быть снижена с 50 до 26%. При этом по мере уплотнения поверхность грунта понижается на 10—20% толщины слоя, что необходимо учитывать при назначении отметки верха уплотняемого массива.

Для глубинного уплотнения песчаных грунтов в пределах суши применяют гидровибратор в виде толстостенной стальной трубы диаметром 15—20 см, в нижней части которой установлен вибратор. В трубе сделаны отверстия для подачи напорной воды под давлением 0,3—0,6 МПа в уплотняемую зону грунта в процессе работы вибратора.

В зависимости от конструкции вибраторы могут уплотнять грунт в радиусе до 2 м и на глубину до 12 м с производительностью от 200 до 600 м³ грунта за 1 ч. Сущность уплотнения основания грунтовыми сваями заключается в устройстве в его, пределах скважин, заполняемых грунтом с последующим уплотнением. Скважины устраивают путем вытеснения грунта природного сложения из объема, занимаемого каждой из них, что позволяет существенно уплотнить находящийся между ними грунт. Благодаря увеличению плотности грунтов в сваях и в междусвайном пространстве несущая способность оснований из связных грунтов повышается до 40%, а из несвязных — в 1,5—2 раза. При этом уменьшается их сжимаемость и снижается степень фильтрации воды. Этим способом можно

уплотнять рыхлые пески, макропористые грунты, а также суглинки и илы, находящиеся в мягкопластичном состоянии. Расстояния между сваями принимают исходя из требуемой степени уплотнения грунта, его физико-механических свойств, а также реальных возможностей применяемого технологического оборудования.

В связных грунтах, способных держать вертикальные стенки, скважины пробивают инвентарным сердечником или взрывным способом. Заполняют их уплотненным глинистым грунтом, а в макропористых грунтах — теми же грунтами, но укладываемыми с трамбованием и увлажнением. Для уплотнения водонасыщенных рыхлых песчаных грунтов, мелких и пылеватых песков, в том числе с прослойками суглинков и глин, применяют песчаные сваи. Технология их изготовления аналогична технологии изготовления грунтовых свай.

Закрепление грунтов

Закрепление грунтов заключается в усилении связей между их частицами способами цементации, битумизации, силикатизации, смолизации, воздействием электрического тока, обжигом и т. д. на глубину до 15 м.

Для повышения несущей способности грунтов в основании фундаментов, а также для прекращения или уменьшения фильтрации воды под гидротехническими напорными сооружениями применяют **цементацию**. Сущность этого способа заключается в нагнетании в поры укрепляемого грунта цементного раствора, при отвердевании которого значительно увеличивается прочность и водонепроницаемость основания.

Способ цементации применим для закрепления грунтов, размеры пор которых обеспечивают свободное проникание частиц цемента. Наибольший эффект получается при цементации крупнообломочных грунтов, крупных и средней крупности песков с коэффициентом фильтрации от 80 до 200 м/сут. Цементация трудноосуществима в мелких песках и совсем непригодна для укрепления илистых, супесчаных, суглинистых и глинистых грунтов. Трещиноватые

скальные грунты можно цементировать только при ширине трещин в них более 0,1 мм.

Для цементации применяют цементные или цементно-песчаные растворы состава от 1:1 до 1:3. Раствор нагнетают под давлением 0,3—1 МПа растворонасосами или пневмонагнетателями через предварительно заглубленные трубки-инъекторы диаметром 33—60 мм, имеющие в нижней части отверстия диаметром 4—6 мм. Радиус действия инъекторов ориентировочно принимают для трещиноватых скальных грунтов 1,2—1,5 м, для крупнообломочных грунтов 0,75—1 м, для крупных песков 0,5—0,75 м, для песков средней крупности 0,3—0,5 м.

Расход раствора составляет 20—40% объема закрепляемого грунта. Упрочнение грунта наступает после схватывания цемента. Закрепленный песчаный грунт вблизи инъектора на 28-е сут имеет предел прочности на сжатие 2—3 МПа. С изменением радиуса закрепления от 0,4 до 1,2 м предел прочности на сжатие зацементированного песка в крайних слоях меняется от 2 до 0,9 МПа.

Закрепление грунтов битумом называют **битумизацией**. Ее применяют для укрепления песков и сильно трещиноватых скальных грунтов. Битумизацию производят нагнетанием в грунт расплавленного битума или холодной битумной эмульсии. Первый способ применим для закрепления сильно трещиноватых скальных грунтов, так как грунт с мелкими порами почти непроницаем для вязкого битума. Разогретый до 200—220 °С битум нагнетают в грунт инъектором под давлением 2,5—3 МПа. Холодная битумная эмульсия по сравнению с разогретым битумом обладает большей способностью к прониканию в грунт, что позволяет использовать ее для закрепления песков. Для этого готовят битумную эмульсию, состоящую из 60% битума, расщепленного в воде с помощью эмульгатора на мельчайшие взвешенные частицы, и 40% воды. Полученную эмульсию нагнетают в грунт. Заполняя поры, битумная эмульсия связывает и закрепляет грунт.

Так как суспензия из взвешенных в воде частиц цемента не может проникнуть в грунты с мелкими порами, для закрепления таких грунтов применяют

силикатизацию. Известны два способа силикатизации грунтов—двухрастворный и однорастворный.

Сущность двухрастворной силикатизации заключается в образовании связывающего частицы грунта вещества—геля кремниевой кислоты—в результате реакции между растворами силиката натрия (жидкого стекла) и хлористого кальция. Эта реакция подобна процессу образования песчаников в природных условиях, но происходит значительно быстрее. Наиболее интенсивно реакция протекает в течение первых двух часов нагнетания раствора в грунт, а затем замедляется. Через 10 сут прочность закрепленного грунта достигает 70—80% той, которая бывает после завершения процесса—примерно через 90 сут. Двухрастворную силикатизацию применяют для укрепления крупных и средней крупности песков с коэффициентом фильтрации от 2 до 80 м/сут. Радиус закрепления таких песков в зависимости от значения коэффициента фильтрации изменяется от 0,3 до 1 м, а предел прочности закрепленных грунтов на сжатие через 28 сут составляет 1,5—5 МПа.

Однорастворную силикатизацию используют для закрепления мелких песков и пльвунов с коэффициентом фильтрации 0,3—5 м/сут. Радиус закрепления таких грунтов 0,3—1 м, а предел прочности на сжатие закрепленных грунтов 0,4—0,5 МПа. Для упрочнения грунтов используют один раствор, состоящий из жидкого стекла и фосфорной кислоты.

Способ закрепления грунтов, представляющий собой дальнейшее развитие метода однорастворной силикатизации и основанный на использовании вместо жидкого стекла раствора синтетической смолы, а взамен фосфорной кислоты соляной, называют **смолизацией** грунтов. В настоящее время разработана технология закрепления карбамидной смолой песчаных грунтов с коэффициентом фильтрации 0,3—5 м/сут при содержании глинистых частиц не более 2%. Для закрепления грунтов используют водный раствор карбамидной смолы, в который непосредственно перед нагнетанием в грунт добавляют раствор соляной кислоты. Смесь подают в укрепляемый грунт, используя оборудование, применяемое для силикатизации. Процесс отверждения грунтов начинается через 1,5—4 ч после

введения раствора соляной кислоты, что необходимо учитывать при производстве работ. Радиус закрепления грунта в зависимости от коэффициента фильтрации изменяется от 0,4 до 0,8 м. Предел прочности укрепленного грунта на одноосное сжатие 1—5 МПа. Вследствие высокой стоимости синтетических смол смолизацию грунтов пока применяют крайне редко, однако это обстоятельство следует рассматривать как временное явление.

Способ электрозакрепления грунтов основан на том, что под воздействием постоянного электрического тока в грунтах происходит движение воды к отрицательному электроду (электроосмос) и одновременно с этим перемещение коллоидальных взвешенных в воде частиц грунта к положительному электроду (электрофорез). Кроме того, наблюдаются явления электролиза и другие сложные химические процессы, приводящие к образованию кристаллизационных связей и продолжающиеся в течение нескольких лет. Так, на одной из строек было установлено, что предел прочности грунта на сжатие спустя год после прекращения процесса электрозакрепления увеличился почти в 2 раза.

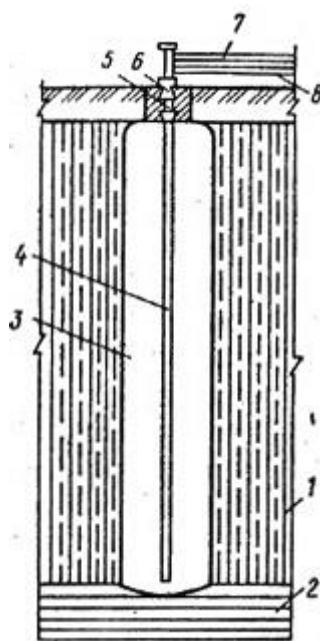


Рис. 3.2. Схема применения термического способа укрепления просадочных грунтов 1 — просадочный грунт; 2 — непросадочный грунт; 3 — зона укрепленного грунта; 4 — скважина; 5 — затвор с камерой сгорания; 6 — форсунка; 7 — трубка для подачи горючего; 8 — трубка для подачи сжатого воздуха

Для обезвоживания грунта в него погружают электроды на расстоянии 0,6—1,5 м один от другого. В качестве положительных электродов используют

стальные стержни любого профиля, а в качестве отрицательных - трубы с отверстиями, расположенными в зоне удаления воды.

Наблюдениями установлено, что под воздействием электрического тока коэффициент фильтрации песков увеличивается в процессе осушения в 10—20 раз, а глинистых и илистых грунтов—до 100 ра. Это обстоятельство в значительной степени способствует успеху способа электрохимического закрепления грунтов, сущность которого заключается в том, что на место удаляемой через отрицательный электрод воды в освобождающиеся поры грунта подается из трубчатого положительного электрода цементирующий раствор жидкого стекла, хлористого кальция или другого вещества.

Сущность термического способа закрепления грунтов заключается в том, что при обжиге маловлажных просадочных лессовых и пористых суглинистых грунтов в них происходят необратимые процессы превращения водорастворимых связей между частицами грунта в водостойкие, в результате чего существенно повышается несущая способность грунтов и устраняется их просадочность. Обжиг грунтов осуществляется нагнетанием в скважины горячего воздуха температурой 600—800 °С или же сжиганием топлива (солярового масла, нефти, газа и т. п.) непосредственно в скважине с созданием температуры 800—1000 °С (рис. 3.2). Последний способ более экономичен и требует меньше оборудования. В результате обжига предел прочности грунта на сжатие повышается до 1,0—1,2 МПа. Обожженный грунт становится неразмокаемым и морозоустойчивым, полностью утрачивая просадочные свойства.

Замена слабых грунтов

В ряде случаев экономически целесообразно взамен заглубления фундамента сквозь небольшую толщу слабых (иловатых, заторфованных, насыпных и т. п.) грунтов или же укрепления слабых грунтов, расположенных под подошвой, удалить эти грунты и на их место уложить подушку из песка, гравия, камня, цементно-грунтовой, известково-грунтовой смеси или другого малосжимаемого материала.

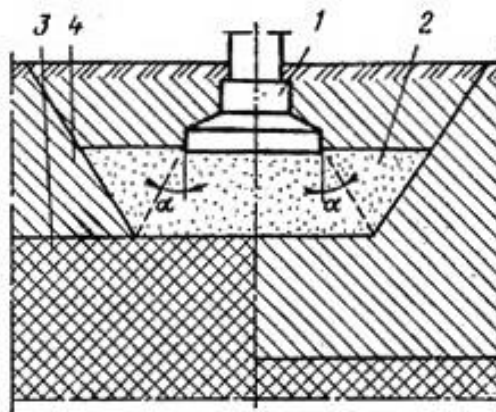


Рис. 3.3. Схема устройства подушки слева — при малой толщине слоя слабого грунта; справа — при большой толщине слоя слабого грунта; 1 — фундамент; 2 — подушка из малосжимаемого материала; 3 — пласт прочного грунта; 4 — слабый грунт

При толщине слоя слабого грунта 1,5—2 м целесообразно уложить подушку непосредственно на подстилающий пласт более прочного грунта (слева на рис. 3.3). Если слабый грунт распространяется на значительную глубину, размеры подушки назначают из условия уменьшения под ней давления до величины, не превышающей расчетного сопротивления этого грунта. При этом толщину подушки и ее ширину внизу принимают исходя из распределения давления под углом α к вертикали от 20 до 40°. Величина угла α зависит от физико-механических свойств материала подушки.

Применять подушки целесообразно под одиночные и ленточные фундаменты с шириной подошвы 1—1,5 м в глинистых, суглинистых и песчаных грунтах с расчетным сопротивлением 0,10—0,15 МПа выше уровня подземных вод. Для устройства подушки используют материал с расчетным сопротивлением под подошвой фундамента 0,20—0,25 МПа. В песчаных и супесчаных грунтах для устройства подушек используют несвязные грунты. В суглинистых и глинистых грунтах во избежание скапливания воды в котловане подушки делают из трамбованных связных грунтов или же используют для их устройства смесь грунтов с цементом или с известью.

Для устранения возможности бокового расширения грунта под фундаментом, предотвращения выпирания слабого грунта, а также предохранения основания от подмыва применяют шпунтовые ограждения, которые в отдельных случаях оставляют в грунте на весь период эксплуатации сооружения. Шпунтовые

ограждения могут быть использованы также при устройстве грунтовых подушек для сокращения объемов работ по удалению слабого грунта из котлована и отсыпке подушки.

В зависимости от конструкции ограждения, глубины забивки шпунта в грунт ниже подошвы фундамента, а также физико-механических свойств грунтов основания его несущая способность в результате использования шпунтового ограждения может быть повышена до 2 раз, а осадки основания уменьшены в 2—3 раза. Наилучшей конструкцией ограждения, воспринимающей силы распора грунта основания, является круглое в плане ограждение из плоского стального шпунта.

РАЗДЕЛ 4. **СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ**

К слабым следует относить связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания при испытании прибором вращательного среза менее 0,075 МПа, удельное сопротивление статическому зондированию конусом с углом при вершине $\alpha = 30^\circ$ менее 0,02 МПа или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа) [2]. При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить: торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, иольдиевые глины, грунты мокрых солончаков.

Основания насыпи, в которых в пределах активной зоны имеются слои слабых грунтов мощностью более 0,5 м, относят к слабым основаниям. Для предварительной оценки глубина активной зоны сжатия может быть принята равной полуширине насыпи понизу. В зависимости от состояния и свойств слабых грунтов слабые основания делятся на типы по устойчивости.

В основу проектного решения на участке залегания слабых грунтов может быть положен один из двух принципов:

- удаление слабого грунта и замена его или применение эстакад;
- использование слабого грунта в качестве основания насыпи с применением мероприятий, обеспечивающих устойчивость основания и ускорение его осадки, а также прочность дорожной одежды, сооружаемой на таком земляном полотне.

Принцип и конкретное проектное решение по конструкции насыпи выбираются на основе технико-экономического сравнения вариантов с учетом:

- категории автомобильной дороги и типа дорожной одежды;
- требуемой высоты насыпи и качества имеющегося для ее отсыпки грунта;
- протяженности участка со слабыми грунтами;
- вида и особенностей свойств слабых грунтов, залегающих на участке, и особенностей строения слабой толщи (мощность, наличие переслаивания, уклона кровли подстилающих пород и т.д.);
- условий производства работ, в том числе сроков завершения строительства.

климата района, времени года, в которое будут выполняться земляные работы, дальности возки грунта, возможностей строительной организации (обеспеченность транспортом, наличие специального оборудования и т.п.).

Использование слабого грунта во многих случаях существенно снижает стоимость и трудоемкость работ, повышает темпы строительства, поэтому отказ от его использования должен быть обоснован технико-экономическим анализом с учетом конкретных условий. Такой анализ осуществляется на основе прогнозов устойчивости, конечной величины и длительности осадки слабой толщи при возведении на ней насыпи.

Земляное полотно на участках слабых грунтов проектируют в виде насыпей. Требования к грунтам верхней части насыпи (рабочего слоя), а также необходимое минимальное возвышение низа дорожной одежды над расчетным уровнем поверхностных и грунтовых вод определены действующими СНиП 2.05.02-85 применительно к III типу местности по характеру и условиям увлажнения.

Нижнюю часть насыпи, располагающуюся ниже уровня поверхности земли, следует устраивать из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 1,0 м/сут. При этом толщина слоя из такого грунта должна быть на 0,3-0,5 м больше суммарной величины расчетной осадки основания и мощности удаляемого слоя (если применяется частичное или полное удаление). Требования к грунтам рабочего слоя и средней части насыпи принимаются по СНиП 2.03.02-85*. При этом предпочтение следует отдавать применению песчаных и крупнообломочных грунтов с содержанием глинисто-пылевой фракции до 10%.

К земляному полотну, сооружаемому с использованием слабых грунтов в основании насыпи, кроме общих требований, изложенных в действующих нормативных документах, предъявляются дополнительные требования:

- должна быть исключена возможность выдавливания оставшегося слабого грунта из-под насыпи в процессе ее возведения и эксплуатации (обеспечена устойчивость основания);
- интенсивная часть осадки должна завершиться до сооружения покрытия;
- упругие колебания земляного полотна, возникающие при наличии торфяных

грунтов в основании насыпи, не должны превышать величину, допускаемую для принятого типа покрытия.

На насыпях, в основании которых оставлены слабые грунты, капитальные покрытия можно устраивать после завершения не менее 90% расчетной осадки или при условии, что средняя интенсивность осадки за месяц, предшествующий устройству покрытия, не превышает 2 см/год. Для устройства облегченных покрытий требуется достижение не менее 80% конечной осадки или интенсивности осадки не более 5 см/год.

Для исключения недопустимых упругих колебаний толщина насыпей, сооружаемых на торфяных основаниях, должна быть не менее указанной в табл.3.2. [2] Для насыпей на торфяном основании, толщина которых по статическому расчету менее значений, приведенных в табл.3.2 [2], необходимо провести динамический расчет с целью проверки допустимости ускорений колебаний земляного полотна по условиям вибрационной прочности покрытия. Методика динамического расчета насыпей на торфяных грунтах изложена в приложении 1 (А) [2].

В случаях, когда невозможно или нецелесообразно обеспечить требуемую толщину насыпи, допускается предусматривать насыпь меньшей толщины. При этом необходимо выполнить проверочный расчет дорожной одежды на динамическую устойчивость и при необходимости изменить (усилить) в соответствии с его результатами конструкцию дорожной одежды.

При расчете дорожной одежды по ОДН 218.046-01 величину расчетного эквивалентного модуля упругости на поверхности земляного полотна, сооруженного на слабом грунте, следует определять по формуле

$$E_{\text{экв}} = \frac{E_{\text{сл}}}{\frac{2}{\pi} \cdot \left[\arctg 1,5 \cdot \frac{(h_{\text{н}} + H_{\text{сл}})}{D} - \left(1 - \frac{E_{\text{сл}}}{E_{\text{н}}} \right) \arctg 1,5 \frac{h_{\text{н}}}{D} \right]},$$

где $E_{\text{сл}}$ - модуль упругости слабого грунта в его расчетном состоянии под насыпью;

$h_{\text{н}}$ - толщина насыпи;

$H_{\text{сл}}$ - мощность слабой толщи;

D - расчетный диаметр отпечатка колеса;

E_n - модуль упругости грунта насыпи.

На стадии разработки инженерного проекта конструкцию земляного полотна следует обосновывать поэтапно. На стадии обоснования инвестиций целесообразно рассматривать такие варианты конструкций, уточнение которых на стадии инженерного проекта и рабочей документации давали бы возможность снизить строительную стоимость без снижения уровня надежности.

На первом этапе выделяют участки, для которых дальнейшая проработка варианта с использованием слабого грунта в основании нецелесообразна, и участки, где этот вариант может быть целесообразным.

Применительно к первым участкам принимается окончательное решение (за исключением особо сложных случаев, где удаление слабых грунтов связано с применением специальных методов).

Для участков, где использование слабых грунтов представляется целесообразным, на первом этапе принимают предварительное решение, которое затем подлежит уточнению при разработке рабочей документации. В особо сложных случаях могут быть предусмотрены специальные обследования и опытные работы для окончательного обоснования.

Для обоснования выбора конструкции земляного полотна проект должен содержать:

- материалы подробного инженерно-геологического обследования грунтовой толщи на участках залегания слабых грунтов, включая данные по мощности отдельных слоев и расположению их в плане и по глубине, а также данные по расчетным значениям физико-механических характеристик грунтов этих слоев, положению уровня грунтовых вод и т.п.;
- исходные данные по проектируемой насыпи (высота и другие геометрические параметры, а также свойства грунтов, укладываемых в насыпь), расчетные условия движения и данные по особенностям условий эксплуатации;
- результаты инженерных расчетов, обосновывающие принятую конструкцию;
- указания по порядку сооружения запроектированной конструкции.

Объем, состав и методы получения данных, необходимых для обоснования конструкции земляного полотна, так же как и методы расчетов, зависят от стадии проектирования.

Земляное полотно на участке залегания слабых грунтов в общем случае проектируют в следующем порядке:

- на основе результатов инженерно-геологических обследований намечают расчетные участки и устанавливают расчетные параметры слабой толщи и характеристик слагающих ее грунтов;

- устанавливают минимально допустимую высоту насыпи на данном участке, руководствуясь условиями водно-теплого режима, снегозаносимости и исключения упругих колебаний;

- с учетом минимально допустимой высоты наносят красную линию, устанавливают расчетную высоту насыпи на различных поперечниках и намечают расчетные поперечники;

- определяют расчетом величину осадки на расчетных поперечниках;

- проверяют устойчивость основания на расчетных поперечниках;

- прогнозируют длительность завершения осадки;

- намечают варианты конструктивно-технологических решений, обеспечивающих в случае необходимости повышение устойчивости, ускорение осадки или снижение ее величины;

- выполняют расчеты по этим вариантам и выбирают оптимальный;

- дают рекомендации по наиболее рациональной технологии, механизации и организации работ;

- выполняют наблюдения в процессе строительства и (в случае необходимости) вносят коррективы в расчеты по фактическим данным с целью уточнения объемов земляных работ, режима возведения насыпи, сроков устройства дорожной одежды и т.д.

В целях оптимизации проектных решений и процесса инженерно-геологических изысканий последние необходимо стремиться организовать в тесной увязке с проектированием как единый комплексный процесс.

4.1. Оценка устойчивости и прогноз осадки насыпи на слабом основании

4.1.1. Анализ условий залегания и работы слабых грунтов в основании насыпи

На основе данных инженерно-геологических изысканий в толще предварительно выделяют расчетные слои с учетом предварительно выделенных литологически однородных слоев по показателям их состояния и свойств, установленных по результатам полевых испытаний или по классификационным таблицам [2].

При этом за однородный принимается такой слой, в пределах которого значения основных классификационных показателей для той или иной разновидности грунта не выходят за пределы диапазона их величин в соответствующих таблицах и не менее 90% их значений укладывается в этом диапазоне. Выделение однородного слоя удобно проводить с помощью графика рассеяния значений показателей состава, состояния или свойств грунта.

Определяется высота насыпи (на участках залегания слабых грунтов), руководствуясь отметками продольного профиля.

Назначают способ определения показателей механических свойств слабых грунтов в зависимости от категории дороги, сроков строительства, стадии проектирования. При этом используют:

- табличные и справочные данные на 1-м этапе изысканий;
- данные полевых испытаний на 2-м этапе изысканий;
- данные лабораторных испытаний на 3-м этапе изысканий.

С учетом установленных однородных слоев, анализа состава, состояния и свойств слабых грунтов, высоты насыпи выделяются наиболее характерные расчетные участки по трассе дороги и расчетные поперечники на них с наихудшими условиями работы слабых грунтов (максимальная высота насыпи, максимальная мощность слабого основания, наиболее слабые грунты, максимальное удаление от водопроницаемых слоев и др.).

4.1.2. Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов в основании

При прогнозе устойчивости и осадки слабого грунта в основании насыпи необходимо определять напряжения, которые будут возникать в грунте под нагрузкой от веса насыпи, собственного веса грунта (статические нагрузки) и от подвижного состава (динамические нагрузки).

Для определения напряженного состояния основания насыпи используются решения плоской задачи теории линейно-деформированного однородного полупространства, загруженного с поверхности нагрузкой, распределенной по тому или иному закону. В качестве базовой схемы используется трапециевидная нагрузка. Для прогноза конечной величины и хода осадки во времени используют схему одномерного компрессионного сжатия [2].

Напряжение от собственного веса грунта при его горизонтальной поверхности в однородной толще рассчитывается по формуле

$$\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y = \gamma_{zp} \cdot Z_i,$$

где σ_z , σ_x , σ_y - компоненты нормального напряжения;

γ_{zp} - удельный вес грунта основания;

Z_i - расчетный горизонт.

В неоднородной толще нормальные напряжения от собственного веса грунта определяют по формуле

$$\sigma_z = \sigma_x = \sigma_y = \sum (\gamma_{zp_i} \cdot h_i),$$

где γ_{zp_i} и h_i - удельный вес и мощность слоя грунта i -го слоя. Для грунтов, находящихся ниже уровня грунтовых вод, следует учитывать силы взвешивания используя формулу

$$\gamma_{zp}^{\text{св}} = \gamma_{zp} - \gamma_v,$$

где $\gamma_{zp}^{\text{св}}$ - удельный вес грунта с учетом взвешивания;

γ_v - удельный вес воды, равный 10 кН/м^3 .

Компоненты напряжений в точках основания от трапециевидальной нагрузки

насыпи рассчитываются в соответствии со схемой (рис.4.1).

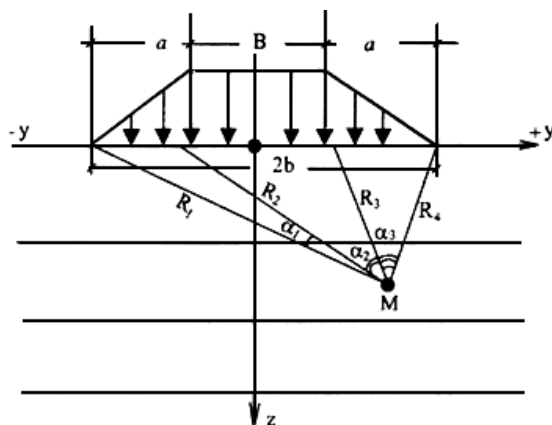


Рис.4.1. Схема для расчетов компонент напряжений в основании при трапецидальной эпюре нагрузки

Главные нормальные и касательные напряжения рассчитываются по формулам теории упругости (для механики грунтов)

Для практических расчетов компонент напряжений в любой точке грунтового массива под нагрузкой, распределенной по тому или иному закону, могут быть использованы программы, таблицы и графики, составленные на основе этих зависимостей.

4.2. Конструктивно-технологические решения при сооружении земляного полотна на слабых грунтах

При проектировании насыпи на слабых грунтах по результатам выполненных прогнозов устойчивости и осадки слабого основания при необходимости прорабатываются варианты дополнительных мероприятий по обеспечению несущей способности слабых грунтов и ускорению их осадки (с учетом особенностей проектируемой дороги, местных условий и технических возможностей строительной организации).

При выборе решений следует руководствоваться рекомендациями табл.4.1. Наиболее оптимальный вариант технологических или конструктивных мероприятий принимается с учетом технико-экономического обоснования.

Таблица 4.1

Конструктивно-технологические решения, обеспечивающие возможность использования слабых грунтов в основании насыпи и условия их применения

Назначение конструктивно-технологических решений	Определяющий результат	Рекомендуемые решения
--	------------------------	-----------------------

		технологические	конструктивные
Повышение устойчивости основания	- Уменьшение нагрузки	-	3; 9; 14
	- Улучшение напряженного состояния	-	4; 10; 5; 11
	- Увеличение сопротивляемости сдвигу грунта основания	1	5; 7
Ускорение достижения допустимой интенсивности осадки	Уменьшение конечной осадки		
	- Уменьшение нагрузки	-	3; 9; 14
	- Улучшение напряженно-деформированного состояния	1	5; 11
	- Уменьшение мощности сжимаемой толщи в активной зоне	-	6
	- Уменьшение сжимаемости грунта	12	7; 8; 13
	- Ускорение процесса консолидации	2	-
	- Увеличение уплотняющей нагрузки	-	6; 7; 8; 13
- Улучшение условий удаления поровой воды	-		
Уменьшение влияния динамического воздействия от транспортной нагрузки	Снижение напряжений от транспортной нагрузки	-	11; 15
	Повышение динамической устойчивости основания насыпи	-	5; 6; 7

Примечание. Конструктивные и технологические решения: 1 - предварительная консолидация; 2 - временная пригрузка; 3 - снижение высоты насыпи; 4 - уположение откосов; 5 - свайная конструкция; 6 - частичная замена слабых грунтов; 7 - песчаные сваи-дрены; 8 - вертикальные дрены; 9 - насыпи из легких материалов; 10 - боковые пригрузочные призмы; 11 - распределительные плиты; 12 - предварительное осушение; 13 - дренажные прорези; 14 - несжимаемые сваи; 15 - увеличение высоты насыпи.

В тех случаях, когда дополнительные мероприятия не обеспечивают устойчивость основания насыпи и ускорение его осадки в заданный срок строительства, допускается стадийный метод устройства покрытия (при необходимости - с открытием временной эксплуатации до окончательного устройства покрытия).

Независимо от вида дополнительных мероприятий при определении расчетной высоты насыпи следует учитывать погружение ее подошвы на величину осадки.

При определении требуемого объема грунта для возведения насыпи до проектной отметки сечение погруженной части принимается в виде трапеции с высо-

той, равной величине осадки, и меньшим ее основанием, равным ширине земляного полотна поверху.

Если дополнительными мероприятиями не предусмотрено внесения каких-либо изменений в ранее намеченные параметры насыпи, то крутизну откосов и водоотводные каналы принимают по нормам проектирования в обычных условиях.

4.2.1. Временная пригрузка

Наиболее простым и достаточно эффективным методом ускорения осадки насыпей на основании 1-го типа является метод уплотнения слабого грунта с помощью временной пригрузки. При увеличении давления на основание (нагрузки от временной пригрузки) его осадка может быть достигнута за более короткий срок (расчетный, требуемый срок консолидации). Возможные варианты временной пригрузки показаны на рис.4.2.

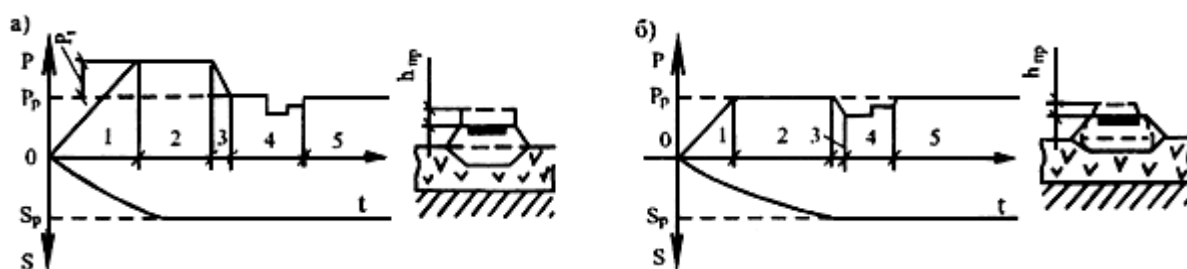


Рис.4.2. Варианты временной пригрузки:

а - удаляемый пригрузочный слой на всю ширину насыпи; б - нагрузка, эквивалентная весу дорожной одежды:

этапы производства работ: 1 - воздействие насыпи; 2 - технологический перерыв на период консолидации; 3 - удаление пригрузки; 4 - устройство одежды; 5 - эксплуатационный период

Пригрузку в виде дополнительного слоя насыпи на всю ширину земляного полотна устраивают на дорогах с усовершенствованными покрытиями. Толщину пригрузочного слоя принимают 0,2-1,0% от проектной высоты насыпи в зависимости от несущей способности основания и требуемого срока ускорения осадки (но не более 2 м). Уплотнение грунта в пригрузочном слое предусматривают при необходимости обеспечения временного проезда. После окончания расчетного срока консолидации слабого основания пригрузочный слой снимают и его грунт перемещают на следующие участки дороги или используют в других элементах конструкции насыпи в соответствии с проектом.

Для дорог всех категорий, когда дорожная одежда устраивается после окончания консолидации основания, в целях предупреждения дополнительной осадки от ее веса рекомендуется применять эквивалентный пригрузочный слой. Толщина эквивалентного слоя может быть принята равной толщине одежды с коэффициентом 1,5. Грунт пригрузочного слоя снимают непосредственно перед устройством дорожной одежды.

Расчет временной пригрузки сводится к определению требуемой толщины пригрузочного слоя, обеспечивающего достижение расчетной осадки насыпи принятых размеров в заданный срок.

. Для расчета необходимо иметь следующие исходные данные:

- консолидационные и компрессионные характеристики грунтов слабой толщи;
- данные о геологическом строении и мощности слабой толщи;
- схему отжатия воды из толщи при ее уплотнении нагрузкой (одностороннее или двустороннее);
- показатели сопротивляемости сдвигу грунтов слабой толщи.

Толщина слоя временной пригрузки устанавливается по формуле

$$h_{\text{вр.п}} = \frac{P_{\text{приг}}}{\gamma_{\text{ср.пр.}}},$$

где $P_{\text{приг}}$ - величина временной пригрузки;

$\gamma_{\text{ср.пр.}}$ - средневзвешенный удельный вес грунта пригрузки.

Ориентировочно величину требуемой временной пригрузки $P_{\text{приг}}$ можно определить по формуле

$$P_{\text{приг}} = P_{\text{расч}} \left[\frac{1}{0,81 \cdot \exp \left(\frac{2,46 \cdot T_{\text{расч}} \cdot C_u}{H_{\text{ф}}^2} - 1 \right)} \right],$$

где C_u - коэффициент консолидации, определяемый опытным путем при испытаниях на консолидацию грунта из расчетного слоя.

Для обеспечения устойчивости основания необходимо, чтобы суммарная величина нагрузки от веса насыпи и от временной пригрузки не превышала величину безопасной нагрузки, т.е. должно соблюдаться условие

$$P_{приз} + P_{расч} < P_{без}^{нач}$$

Если это условие нарушено, то временную пригрузку следует прикладывать послойно (как в методе предварительной консолидации) или принимать дополнительно мероприятия по повышению несущей способности слабых грунтов.

Возможность сохранения устойчивости основания только путем ограничения режима отсыпки временной пригрузки имеется при условии

$$P_{без}^{нач} < P_{приз} + P_{расч} < P_{без}^{кон}$$

где $P_{без}^{нач}$ - безопасная нагрузка, определенная по условию быстрой отсыпки слоя временной пригрузки применительно к степени консолидации основания, достигнутой к моменту приложения временной пригрузки;

$P_{без}^{кон}$ - безопасная нагрузка при медленной отсыпке слоя временной пригрузки.

При этом, если $P_{расч} < P_{без}^{нач}$, то режим отсыпки самой насыпи не ограничивается, устанавливаются только время начала и режим отсыпки временной пригрузки.

Если $P_{приз} + P_{расч} > P_{без}^{кон}$, то временная пригрузка может быть осуществлена лишь с принятием специальных мероприятий по обеспечению несущей способности основания (уположение откосов, устройство боковых берм, свай и т.д.).

4.2.2. Вертикальное дренирование

Вертикальные дрены устраивают в слабых водонасыщенных грунтах с целью ускорения консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи (рис.4.3). Вертикальные дрены эффективны в водонасыщенных органических и минеральных сильносжимаемых грунтах при слое мощностью не менее 4 м с коэффициентом фильтрации не менее $1 \cdot 10^{-4}$ м/сут (см. табл.2.1) [2].

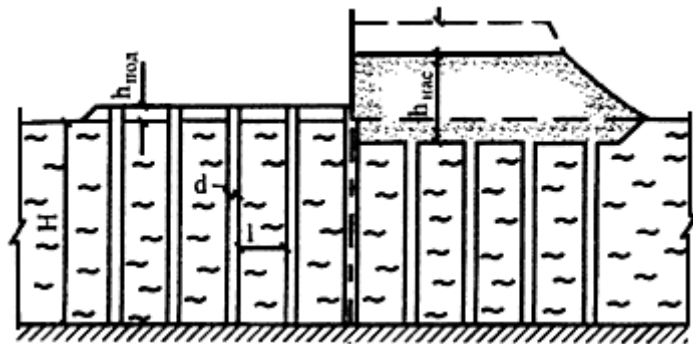


Рис.4.3. Схема земляного полотна с вертикальными дренами

Устраивать вертикальные дренаи в плотных глинистых грунтах, а также в малоразложившемся неуплотненном слое торфа нецелесообразно. Эффективность дренаей повышается в случаях, когда дренируемая толща имеет более высокую горизонтальную проницаемость, например, вследствие наличия прослоек дренирующего грунта.

Вертикальные дренаи, как правило, следует совмещать с временной пригрузкой, обеспечивающей необходимый гидравлический градиент и отжатие поровой воды из слабого слоя грунта.

Толщина пригрузочного слоя (при обеспеченной прочности основания) в этом случае определяется требованием создания напора поровой воды, величина которого по всей дренируемой толще в любой момент расчетного времени консолидации должна быть выше начального градиента фильтрации грунта, если грунт таковым обладает. Формула расчета толщины пригрузочного слоя:

$$h_{\text{пр}} > \frac{0,5 \cdot D \cdot \gamma_{\text{в}} \cdot I_0 - P_{\text{расч}}}{\gamma_{\text{пр}}},$$

где D - эффективный диаметр дренирования (принимается равным расстоянию между дренами);

$\gamma_{\text{в}}$ - удельный вес воды в порах грунта;

I_0 - начальный градиент фильтрации грунта с учетом уплотнения под весом насыпи (при отсутствии лабораторных данных принимают для торфа $I_0 = 2$; для ила и глины $I_0 = 5$);

$P_{\text{расч}}$ - нагрузка в основании от насыпи проектного профиля;

$\gamma_{\text{пр}}$ - удельный вес грунта, используемого для пригрузки.

Вертикальные дрены выполняют в виде скважин, заполняемых песком. Диаметр скважин может быть принят от 40 до 60 см с учетом технических параметров применяемого оборудования. Для заполнения вертикальных дрен применяют песок с коэффициентом фильтрации не менее 6 м/сут. Эффективность вертикальных дрен значительно повышается при добавке к материалу заполнения 5-18% (по массе) извести. При применении вертикальных дрен насыпь или ее нижнюю часть толщиной не менее 50 см следует устраивать из дренирующих грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

В зависимости от водопроницаемости грунта и требуемого срока завершения интенсивной части осадки расстояние между дренами может меняться от 2,0 до 4,5 м.

При проектировании земляного полотна с вертикальными дренами необходимое расстояние между ними определяется расчетом, исходя из заданного срока достижения интенсивной части осадки слабого грунта.

Для расчета оснований с вертикальными дренами необходимы следующие исходные данные:

- результаты компрессионных и консолидационных испытаний грунтов слабой толщи;
- расчетная мощность слабого слоя (с учетом условий односторонней или двухсторонней фильтрации);
- расчетные величины нагрузки и конечной осадки слабой толщи.

Требуемая степень консолидации слабого основания и срок ее достижения задаются с учетом капитальности дорожной одежды и установленного проектом организации строительства срока окончания отсыпки земляного полотна.

Расчет основания с вертикальными дренами заключается в следующем. Предварительно назначается расстояние между дренами. Далее проверяется правильность этого назначения. Степень консолидации основания с вертикальными дренами определяют по формуле

$$U_{\text{общ}} = 100 - 0,01(100 - U_z)(100 - U_{\text{в}}),$$

где $U_{\text{в}}$ - степень консолидации основания при вертикальной фильтрации воды

из основания;

U_z - то же, при горизонтальной фильтрации воды (к дренам).

Величины U_e и U_z устанавливают по графикам (рис.4.3). Величину фактора времени, необходимую для определения U_e , рассчитывают по формуле

$$T_e = \frac{C_e \cdot T}{H_{\Phi}^2},$$

где C_e - коэффициент консолидации при вертикальной фильтрации;

H_{Φ} - расчетный путь вертикальной фильтрации воды;

T - требуемый срок консолидации.

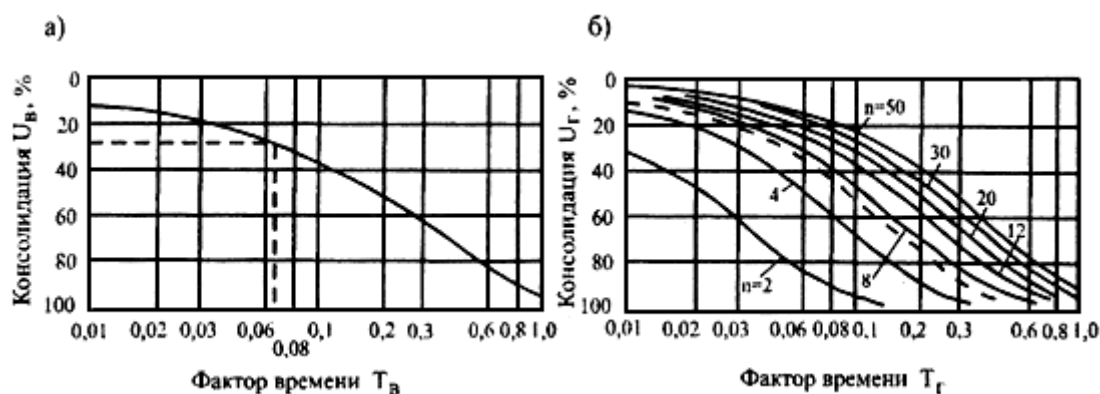


Рис.4.4. Графики для определения степени консолидации грунта основания с вертикальными дренами

Фактор времени, необходимый для определения U_z , определяют по формуле

$$T_z = \frac{C_z \cdot T}{l^2},$$

где C_z - коэффициент консолидации грунта при горизонтальной фильтрации;
 l - расстояние между дренами.

Если при назначенном расстоянии между дренами не может быть достигнуто требуемое сокращение срока консолидации, то шаг дрен уменьшают и расчет повторяют.

Упрощенной разновидностью вертикального дренирования толщи являются продольные дренажные прорезы. Их устройство целесообразно при мощности слабого слоя до 4,0 м и возможности сохранения в слабом грунте вертикальных откосов в течение времени, необходимого для заполнения прорезы дренирующим грунтом.

Расстояние между дренажными прорезями ориентировочно назначают в пре

делах 1,5-3,0 м и проверяют расчетом. Ширина прорезей назначается в зависимости от параметров рабочего органа применяемого оборудования и составляет обычно 0,6-1,0 м.

Для заполнения прорезей следует использовать песок с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

Расчет дренажных прорезей выполняется по аналогии с расчетом вертикальных дрен, но для определения степени консолидации при горизонтальной фильтрации используется график, приведенный на рис.4.5, где величина U_z дана в зависимости от величины T_z для различных значений l/H (где l - расстояние между боковыми поверхностями прорезей).

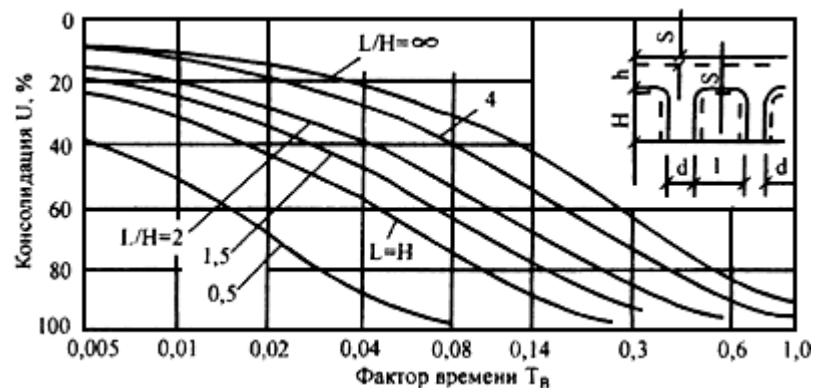


Рис.4.5. График для определения консолидации грунта основания с дренажными прорезями

4.2.3. Частичное удаление слабого грунта

Удаление верхней части слабой толщи с заполнением траншеи дренирующим грунтом дает комплексный эффект повышения прочности и ускорения достижения заданной степени консолидации основания.

Частичное удаление слабого грунта из основания насыпи целесообразно в случаях:

- необходимости жесткого ограничения отметки проезжей части, когда соблюдение условия прочности требует устройства массивной насыпи определенной толщины;
- если верхние слои слабой толщи имеют значительно меньшую прочность, чем нижние; для ускорения стабилизации осадки, если по каким-либо причинам нецелесообразно применение временной пригрузки или вертикального дрениро-

вания.

Типовая схема конструкции с частичной заменой слабого слоя показана на рис.4.6.

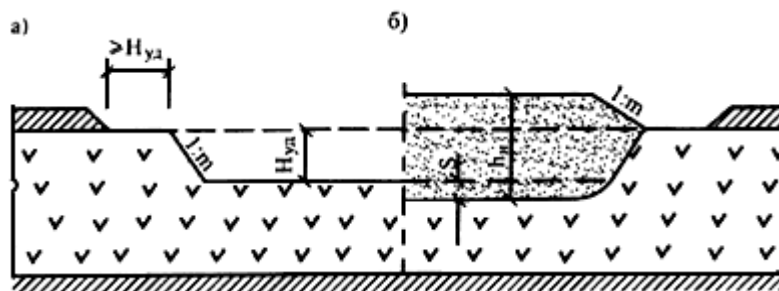


Рис.4.6. Схема частичного удаления грунта:

а - подготовка траншеи; б - вид после устройства насыпи

Расчет конструкции насыпи с частичным удалением слабого грунта из основания проводят по вышеизложенным методикам, исходя из требований несущей способности основания и ускорения осадки.

При расчете устойчивости необходимо учитывать заглубление подошвы насыпи относительно поверхности грунта. Расчет глубины замены слабого грунта из условия ускорения осадки выполняют по формуле

$$H_{зам} = H \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{t_{тр}}{t_{расч}}} \right),$$

где H - полная толщина сжимаемого слоя;

$t_{тр}$ - требуемый срок достижения осадки допустимой интенсивности;

$t_{расч}$ - расчетный срок достижения конечной осадки без замены слабого грунта.

4.2.4. Предварительное осушение слабой толщи

Существенное улучшение свойств водонасыщенных слабых грунтов, в том числе сокращение величины и длительности осадки, повышение несущей способности и проходимости в период строительства достигается предпостроечным осушением толщи открытыми канавами. Обязательным условием эффективности осушения являются достаточное время и обеспечение непрерывного стока воды из канав. В дальнейшем сооружения для предпостроечного осушения дорожной полосы должны служить водоотводными сооружениями в период эксплуатации

дороги.

Осушение дорожной полосы следует выполнять не позднее, чем за год до строительства дорожной одежды (при стадийном строительстве устройство земляного полотна можно начинать одновременно с осушением).

При необходимости повышения проходимости болотных залежей в зоне производства работ их осушение выполняют за 1-2 года до начала строительства дороги.

Осушительные каналы следует устраивать симметрично по обеим сторонам земляного полотна на расстоянии 2-3 м от подошвы насыпи с максимально возможной глубиной по условиям стока воды и производства работ.

Продольный уклон по дну осушительных канав должен быть не менее 5 пр. (на начальных участках длиной до 200 м – 3 пр.). Крутизна откосов осушительных канав должна быть принята от 1:0,25 для малоразложившихся торфов до 1:1 - для слабых органоминеральных и минеральных грунтов.

4.2.5 Устройство боковых пригрузочных призм (берм)

При наличии достаточной полосы отвода и небольшом расстоянии перевозки грунта для отсыпки насыпи эффективным способом обеспечения несущей способности основания является устройство боковых пригрузочных призм (берм).

Для устройства пригрузочных призм пригодны любые грунты за исключением переувлажненных. Ширина призм для удобства планировочных работ должна быть не менее 4 м. Поверхность призм должна иметь поперечный уклон 20-30‰.

При проектировании боковых пригрузочных призм расчетом определяют их высоту и ширину ($h_{б.пр.}$, $l_{б.пр.}$), исходя из допустимой нагрузки.

Для слабых грунтов, угол внутреннего трения которых более 5-7°, величина допускаемой нагрузки с учетом боковой призмы ориентировочно рассчитывается по формуле для полосовой нагрузки

$$P_{без} = M_e \cdot 2b_{cp} \cdot \gamma_m + M_c \cdot c + M_h \cdot \gamma_{np} \cdot h,$$

$$M_e = \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{ctg} \varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi};$$

где

$$M_c = \frac{\pi}{\operatorname{tg}\varphi \left(\operatorname{ctg}\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi \right)};$$

$$M_h = \frac{\pi}{\operatorname{ctg}\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi};$$

c - расчетное сцепление грунта слабой толщи;

$2b_{\text{ср}}$ - ширина насыпи по средней линии;

$\gamma_{\text{нр}}$ - удельный вес грунта боковой призмы.

Отсюда требуемая толщина пригрузочных призм, обеспечивающая условие, при котором расчетная нагрузка $P_{\text{расч}}$ будет соответствовать безопасной, определится выражением

$$h_{\text{нр}} = \frac{P_{\text{расч}} - M_c \cdot 2b_{\text{ср}} \cdot \gamma_m - M_c \cdot c}{M_h \cdot \gamma_{\text{нр}}}$$

или

$$h_{\text{нр}} = \frac{P_{\text{расч}} \left(\operatorname{ctg}\varphi - \frac{\pi}{2} - \varphi \right) - 2b_{\text{ср}} \cdot \gamma_m \cdot \operatorname{tg}\varphi - \frac{c}{\operatorname{tg}\varphi}}{\pi \cdot \gamma_{\text{нр}}}$$

Для самой пригрузочной призмы допускаемая нагрузка может быть ориентировочно определена по формуле для допустимой краевой нагрузки невесомого основания и $\varphi < 5 + 7^\circ$

$$P_{\text{дон}}^{\text{нр}} = M_c \cdot c$$

Отсюда максимальная допустимая высота (толщина) призм рассчитывается по формуле

$$h_{\text{б.нр.}}^{\text{дон}} = M_c \frac{c}{\gamma_{\text{нр}}}$$

Необходимая ширина пригрузочных призм устанавливается из условия активного воздействия в точках и зонах, в которых напряженное состояние от веса самой насыпи оказывается наиболее опасным по условию нарушения прочности слабого грунта.

4.2.6. Применение легких насыпей

Устройство легких насыпей может применяться для:

- обеспечения устойчивости основания;
- снижения осадки и ускорения достижения ее допустимой величины.

В этом случае в конструкции насыпи частично используют различные материалы, имеющие меньшую плотность, чем природный грунт. В качестве таких материалов возможно применение пенополистирола, легкого шлака, искусственных гранулированных материалов и т.п. Подобные конструкции экономически оправданны на участках небольшой протяженности при высокой стоимости других мероприятий по обеспечению устойчивости и ускорению осадки насыпи.

Расчет облегченной конструкции насыпи для обеспечения устойчивости и снижения и ускорения осадки основания сводится к определению требуемого уменьшения средневзвешенной величины удельного веса насыпи.

При применении легкой насыпи для повышения устойчивости основания исходят из обеспечения равенства действующей расчетной нагрузки P_0 безопасной $P_{без}^{нач}$.

$$P_0 = P_{без}^{нач}$$

Требуемая доля легкого материала в единице объема насыпи устанавливается по формуле

$$m = \frac{\gamma_n - \gamma_n^{mp}}{\Delta},$$

где γ_n - удельный вес грунтовой части насыпи;

γ_n^{mp} - средневзвешенный удельный вес насыпи, при котором обеспечивается условие (55);

$P_{без}^{нач}$ - безопасная нагрузка на основание, определяемая по п.3.30 основного текста;

h_n - расчетная высота насыпи;

Δ - разность между удельными весами грунта и легкого материала, используемых в насыпи.

Величина γ_n^{mp} вычисляется по формуле

$$\gamma_n^{mp} = \frac{P_{без}^{нач}}{k_n}$$

Схема конструкции насыпи, в которой использованы блоки пенополистирола, приведена на рис.4.7.

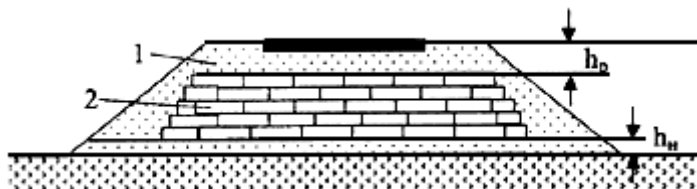


Рис.4.7. Схема конструкции насыпи с использованием блоков пенополистирола:
1 - песчаный грунт; 2 - пенополистирол; k_p - рабочий слой (из песчаного грунта); k_n - монтажный слой

4.2.7. Временное понижение грунтовых вод

В индивидуальных случаях на ответственных дорожных объектах ускорения осадки насыпи можно добиться путем временного понижения уровня грунтовых вод. Наибольший эффект этот метод дает в комплексе с временной пригрузкой. Снижение уровня грунтовых вод в слабой толще обеспечивает временное увеличение нагрузки на нижние слои толщи за счет исключения взвешивания верхних слоев, а также способствует ускорению консолидации за счет обеспечения дополнительного градиента напора в поровой воде.

Временное понижение уровня грунтовых вод производят иглофильтрами и другим специализированным оборудованием.

4.2.8. Свайные конструкции из зернистых материалов

Для повышения устойчивости и снижения осадки слабых грунтов назначают песчаные сваи. Эффект от работы песчаных свай проявляется за счет восприятия ими части нормальных напряжений от веса насыпи, за счет бокового обжатия слабого грунта в межсвайном пространстве и в ускорении отжатия поровой воды.

В грунтах, обладающих структурной прочностью (иольдиевые глины и т.п.), применение песчаных свай особенно эффективно.

Песчаные сваи могут быть опертыми, достигающими до подстилающих слабую

толщ прочных пород, и висячими, не достигающими подстилающих слоев. Висячие песчаные сваи устраивают при большой мощности слабого слоя, когда устройство опертых свай оказывается технически сложным.

Песчаные сваи устраивают специальным оборудованием с обсадными трубами (лидер) диаметром 0,4-0,8 м, аналогичным оборудованию для устройства вертикальных дрен. В плане сваи располагают по квадратной или ромбической сетке.

Если сваи предназначаются для обеспечения прочности (устойчивости) основания насыпи, то расчетом определяется минимальная величина сближения свай m (отношение диаметра свай d к расстоянию между сваями в свету l), при которой соблюдается условие $K_c \geq 1$, где K_c - коэффициент запаса, вычисляемый для торфяной взвешенной толщ по формуле

$$K_c = \frac{2c_w \cdot \cos \varphi_w}{[(p_z - p_x - p') - (p_z + p_x + p') \sin \varphi]}$$

где c_w и φ_w - сцепление и угол трения слабого грунта при расчетной влажности;

p_z - вертикальные нормальные напряжения в грунте межсвайного пространства;

p_x - то же, горизонтальные;

p' - предварительное обжатие слабого грунта, возникающее при внедрении лидера.

Величину p' определяют по компрессионной кривой как напряжение, необходимое для уменьшения коэффициента пористости грунта в природном залегании ε_0 до величины ε_1 , отвечающей пористости грунта, уплотненного в результате внедрения свай и определяемого из выражения

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - \frac{(1 + \varepsilon_0)m^2}{(1 + m)^2}$$

Вертикальные p_z и горизонтальные p_x напряжения определяются по специальным таблицам, где они даны в долях от давления на основание без свай $p_0 = p_{расч}$ и в зависимости от коэффициента бокового давления материала свай

ξ и коэффициента поперечной деформации слабого грунта μ_z .

Величина ξ принимается:

для песка крупного	0,33
средней крупности	0,34
мелкого и пылеватого	0,36

При известном угле внутреннего трения материала заполнения ξ может быть вычислен по формуле

$$\xi = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\pi}{2}\right).$$

Коэффициент поперечной деформации может быть вычислен по формуле

$$\mu = \frac{\xi}{1 + \xi}.$$

4.2.9. Усиление основания жесткими сваями

В зависимости от конкретных условий усиление основания насыпи жесткими сваями может предусматриваться:

- для повышения устойчивости;
- для получения практически безосадочного основания при природных механических свойствах слабой толщи.

Исходная схема в случае применения свай-стоек представлена на рис.4.8. Схема перераспределения внешней нагрузки от веса насыпи при наличии свай представлена на рис.4.9.

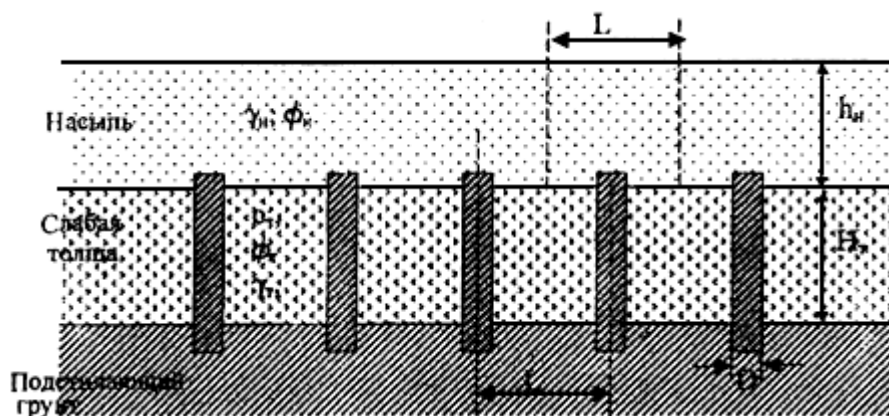


Рис.4.8. Схема в случае применения свай-стоек

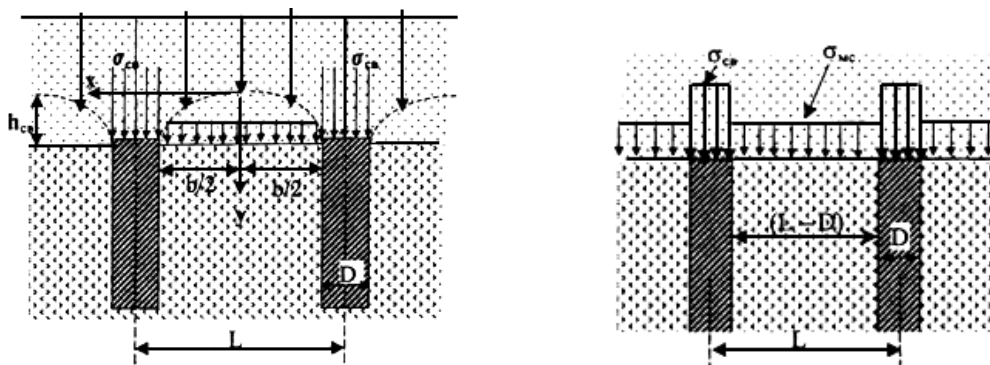


Рис.4.9. Схема перераспределения внешней нагрузки от веса насыпи при наличии свай
 При расчете свайного основания находят оптимальное сочетание:

- диаметра свай;
- расстояния между сваями;
- прочности материала свай.

Приблизительно максимальную требуемую прочность свай, независимо от наличия ростверка и высоты насыпи, можно оценивать по формуле

$$\sigma_{св\max}^{т\text{р}} = \frac{1,2 \cdot \gamma \cdot L^2 \cdot h_{\text{н}}}{D^2}$$

Величину средней осадки слабой толщи в межсвайном пространстве при высоте насыпи более $h_{св} = \frac{L-D}{2 \cdot \text{tg}\varphi}$ определяют по выражению

$$\Delta_{\text{м.с.}} = \frac{1,3 \cdot \gamma}{3 \cdot \text{tg}\varphi} \cdot (L-D) \cdot \frac{H_{\text{т}}}{E_0},$$

где $H_{\text{т}}$ - мощность сжимаемой толщи;

E_0 - компрессионный модуль деформации слабой толщи.

За допустимую осадку в межсвайном пространстве в зависимости от конкретных условий (категории дороги, сложности инженерно-геологической обстановки и т.п.) следует принимать:

- для наиболее ответственных сооружений $\Delta_{\text{доп.}} = 10$ см;
- для прочих случаев $\Delta_{\text{доп.}} = 0,05H_{\text{т}}$.

Если вычисленная осадка $\Delta_{\text{м.с.}}$ будет больше $\Delta_{\text{доп.}}$, следует предусмотреть устройство гибкого ростверка. Ростверк устраивается из 1-3-х слоев геосинтетических полотен или решетки, обладающей параметрами механических свойств -

жесткости (G , т/м) и прочности (R_o , т/м).

4.2.10. Частичная замена слабого грунта

При соответственном технико-экономическом обосновании могут применяться способы устройства земляного полотна, при которых слабый грунт не используется в качестве основания. Конструкцию с удалением слабого грунта предусматривают в случаях, когда расчеты показывают неэкономичность и высокую технологическую сложность выполнения хотя бы одного из основных требований к земляному полотну, возводимому на слабом грунте. Экономически удаление слабого грунта частичное или полное может оправдываться при сравнительно малой мощности слоя и небольшом протяжении участка, возможности полезного использования удаленного грунта.

Проектирование конструкции земляного полотна с частичной заменой в основании слабого грунта следует проводить при технико-экономическом обосновании принятого способа производства строительных работ.

При замене слабых грунтов конструкция нижней части земляного полотна зависит от технологии их удаления, поэтому в проекте следует рассматривать и сравнивать варианты конструктивно-технологических решений.

В практике дорожного строительства применяют механические, взрывные и гидромеханические способы удаления слабого грунта, а также способ погружения насыпи с выдавливанием слабого слоя под ее весом (с предварительным рыхлением или без него). Выбор варианта удаления грунта производится также на основе технико-экономического сравнения.

4.2.11. Полное удаление слабого грунта

Проектное сечение траншеи при удалении слабого грунта определяется необходимостью обеспечения устойчивости краевых частей насыпи при минимальном объеме работ. Ширину траншеи по дну для дорог с усовершенствованными капитальными покрытиями принимают равной ширине земляного полотна с учетом заложения откосов, для дорог с переходными и низшими типами - равной ширине

земляного полотна поверху. Крутизну откосов в траншее следует назначать по расчету устойчивости при требуемом коэффициенте запаса, равном единице. Для предварительного подсчета объемов работ заложения откосов в траншее следует принимать для торфа малой и средней степени разложения $(0,25 - 0,5)H$; для других слабых грунтов нетекучей консистенции $(0,5 - 1,25)H$, где H - глубина траншеи.

При взрывном или гидромеханическом удалении слабого грунта крутизна откосов траншеи определяется технологией производства работ.

При посадке насыпи на более прочный подстилающий пласт методом выдавливания слабого грунта крутизну откосов погруженной части можно принимать равной углу естественного откоса грунта.

При поперечном уклоне пластов, подстилающих слабую толщу, более 1:10 во избежание возникновения деформаций сдвига выполняют следующие конструктивные мероприятия:

- если подстилающий слой представлен песком или супесью, то устраивают упорную траншею или призму из глыбового грунта с низовой стороны;
- если подстилающий слой сложен глинистыми грунтами, то осуществляют сплошное выравнивание дна траншеи.

Для насыпи из песчаного грунта сплошное выравнивание допускается заменять ступенчатым.

Грунт, извлеченный из траншеи, укладывают в банкеты непосредственно за водоотводными канавами или вывозят. На осушенных болотах банкеты из торфа во избежание возгорания закрывают слоем минерального грунта толщиной 20-30 см.

При использовании метода выдавливания слабого слоя из-под насыпи толщина насыпного слоя, обеспечивающая выдавливание слабого грунта, ориентировочно может быть определена по формуле

$$h_{\text{тр}} > \frac{c_{\text{усл}} b_{\text{ср}}}{\gamma_{\text{н}} H},$$

однако во всех случаях она не должна быть менее

$$h_{\min} = \frac{b \cdot c_{\text{усл}}}{\gamma_n},$$

где $c_{\text{усл}}$ - величина сопротивляемости грунта сдвигу, определяемая крыльчаткой;

$b_{\text{ср}}$ - полуширина насыпи по средней линии.

В случае технической сложности или нецелесообразности одновременного возведения насыпи требуемой толщины применяют механическое или взрывное рыхление, либо гидроразрыв слоя. В этом случае в расчет по формулам (78 и 79) [2] вводят $c_{\text{усл}}$ для разрыхленного грунта.

При наличии в составе слабой толщи более прочных слоев у поверхности (например, при мощном дерновом покрове, а также при частичном осушении торфяных болот) для облегчения выдавливания торфа устраивают торфоприемники. Глубина торфоприемников должна быть равна толщине верхнего прочного слоя, а ширина - не менее половины мощности слоя, подлежащего выдавливанию.

Схема земляного полотна с удалением слабых грунтов основания дана на рис.4.10.

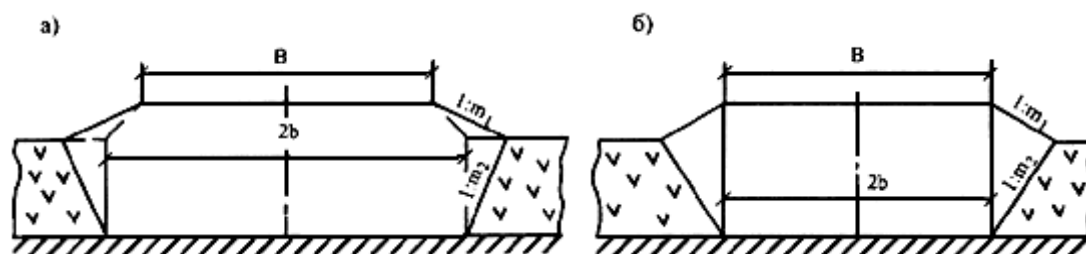


Рис.4.10. Схема земляного полотна с удалением слабых грунтов в основании:
а - для усовершенствованных покрытий; б - для переходных и низших покрытий

4.2.12. Применение геосинтетических материалов при строительстве земляного полотна на слабых основаниях дорог общего пользования и временных дорог

Геосинтетические материалы применяются при строительстве насыпей на слабом основании в качестве: разделительных и технологических прослоек, укладываемых на подготовленную поверхность слабого основания, при обеспеченной устойчивости всей дорожной конструкции (отсутствии формоизменяемости в процессе эксплуатации и строительства); армирующих прослоек для обеспечения устойчивости насыпей на слабых основаниях; эти прослойки одновременно служат в качестве разделительных или технологических; вертикальных дренирую-

щих элементов для ускорения фильтрационной осадки толщи слабых грунтов; в целях повышения равномерности осадки; совместно с другими конструкциями (сваи с гибким ростверком).

Технологические и разделительные прослойки при обеспеченной устойчивости слабого основания под действием объемных нагрузок от веса насыпи и транспортной нагрузки устраивают, как правило, из нетканых материалов (иглопробивных) с плотностью не менее 250 г/м^2 или термоскрепленных с плотностью не менее 110 г/м^2 .

Армирующие элементы (прослойки) для обеспечения устойчивости насыпей на слабых основаниях назначают на основе расчета по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС). Для указанных целей рекомендуется применять тканые материалы: сплошные или решетчатые, как правило, на основе полиэфира. При этом дефицит удерживающих сил компенсируется прочностью армирующих прослоек на растяжение, а также сил трения материала с нижними слоями насыпи.

При использовании решетчатых материалов в качестве армоэлементов целесообразно их применять в комплексе с разделительными прослойками из нетканых материалов по выравнивающему слою песка толщиной не менее 10 см для исключения перемешивания грунтов различного состава и состояния.

На основе результатов оценки устойчивости насыпи на слабом основании выполняют расчеты устойчивости таких насыпей с армирующей прослойкой в основании сооружения.

4.2.13. Применение геотекстильных нетканых материалов для ускорения осадки с помощью вертикальных ленточных дрен

Вертикальные ленточные дрены в наиболее простой форме представляют собой ленты из рулонного волокнистого материала, вертикально установленные в грунте. Различия между ними сводятся в основном к ширине и толщине ленты, числу слоев образующего ее материала. Возможны также более сложные варианты конструкции дрены с укладкой геотекстиля в несколько слоев, различной структуры и образованием внутри дрены продольных каналов различной величины и формы.

Ленточные дрены целесообразно применять для ускорения консолидации слабых водонасыщенных грунтов как биогенных (торф, сапрпель, заторфованные грунты), так и минеральных (илы, глинистые грунты, мелкие пески), при мощности слабого слоя свыше 3 м на водоупоре и свыше 5 м на водопроницаемом основании. При устройстве геотекстильных дрен в таких грунтах могут быть сняты принимаемые для песчаных дрен дополнительные ограничения по применению вертикальных дрен в слоистых толщах, имеющих крупные включения или прочные слои, затрудняющие погружение обсадной трубы при устройстве песчаной дрены. Применять ленточные дрены следует при обеспеченной устойчивости основания под нагрузкой от веса насыпи.

Вертикальные геотекстильные дрены целесообразно устраивать в слабых грунтах со степенью влажности $w \geq 80,8$ и с коэффициентом фильтрации до 10^{-5} м/сут. При проектировании дрен следует учитывать неоднородность строения и свойств слабого грунта по глубине и простираию, благоприятную с точки зрения вертикального дренирования: превышение горизонтальной водопроницаемости над вертикальной, наличие в слабой толще горизонтальной слоистости и горизонтальных прослоек с повышенной водопроницаемостью.

Необходимым условием применения вертикальных геотекстильных дрен в грунтах с начальным градиентом фильтрации J_0 является достаточная величина напора, возникающего в основании под весом насыпи. Критическое значение напора H_k (м) определяется из условия

$$H_x > 0,5 \cdot d_e \cdot J_0^u,$$

где d_e - эффективный диаметр дрены (диаметр зоны дренирования), м;

J_0^u - начальный градиент фильтрации с учетом его изменения в процессе уплотнения слоя до степени консолидации u .

Для устройства вертикальных ленточных дрен применяют нетканые волокнистые геотекстильные материалы толщиной не менее 3 мм при обжатии уплотняющей нагрузкой 0,05 МПа. Этим условиям, как правило, удовлетворяют нетканые иглопробивные полотна, вырабатываемые как из расплава полимера, так и из штапельных волокон. Текстильное полотно для ленточных дрен должно обладать долговечностью не меньше срока службы дрены (обычно 1 год). Волокнообразующий полимер не должен вызывать загрязнения грунтовых вод.

Текстильный материал для вертикальных ленточных дрен должен отвечать следующим требованиям:

- поверхностная плотность по ГОСТ 15902.1-80 (масса 1 м² материала) должна быть не менее 500 г/м² для материалов, не обработанных связующим;
- отклонение поверхностной плотности от среднего значения по площади полотна по ГОСТ 15902.1-80 должно быть не более 20%;
- ширина полотна и ширина вырезанной из него дрены должны соответствовать расчетным значениям;
- длина полотна в рулоне и длина дрены в катушке должны соответствовать конструкции установки для погружения дрен и проектной длине дрен;
- толщина полотна по ГОСТ 15902.1-80 должна составлять не менее 5 мм;
- разрывное усилие по ГОСТ 15902.3-79 - не менее 30 Н/см;
- относительная деформация при разрыве по ГОСТ 15902.3-79 - от 30 до 150%.

Кроме того, геотекстильный материал для ленточных дрен должен характеризоваться водопроницаемостью в плоскости полотна (продольной водопроницаемостью), сжатого расчетной нормальной нагрузкой; сжимаемостью под расчетной нагрузкой; величиной и структурой пористости.

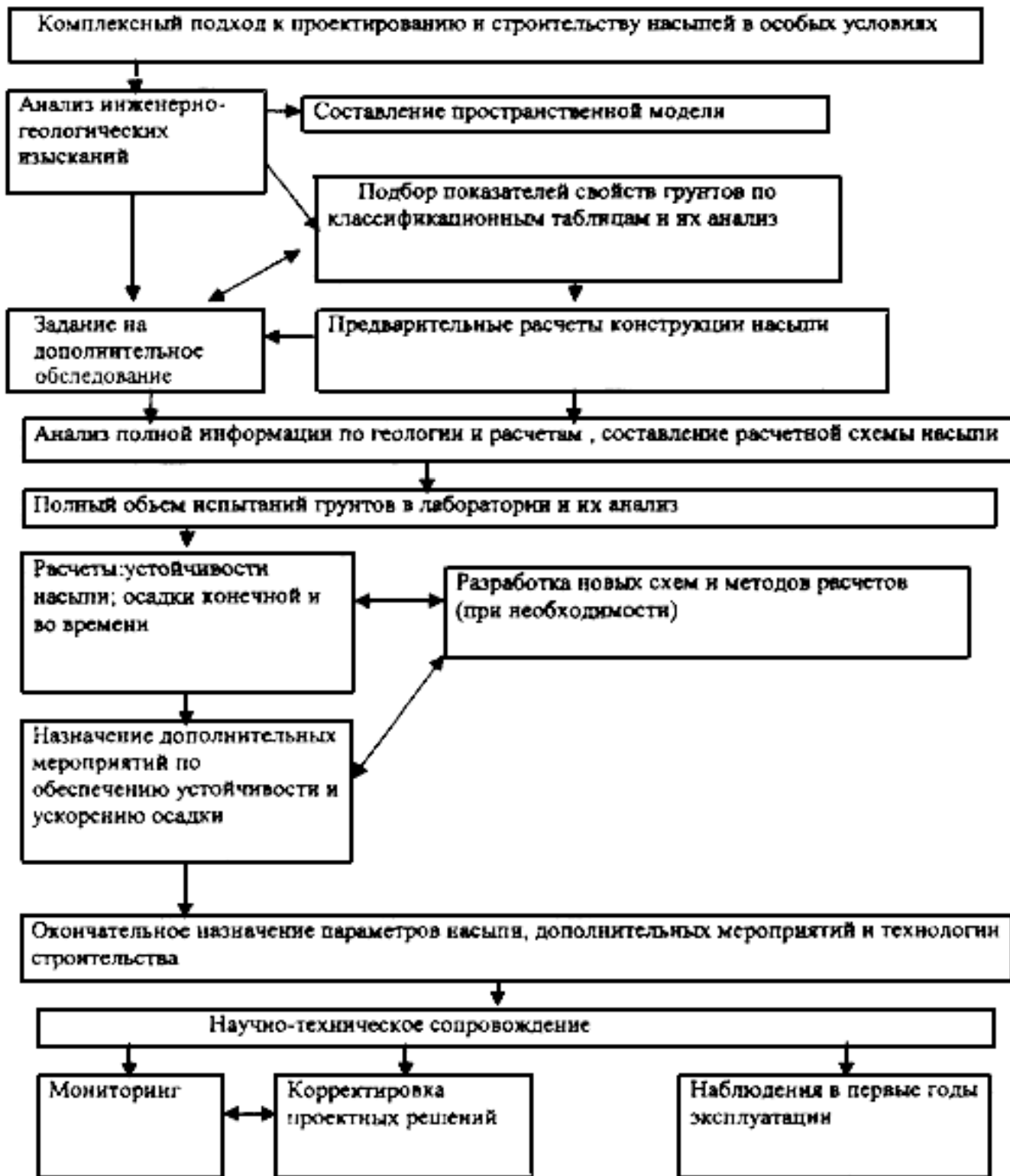


Рис.4.11. Блок-схема комплексного подхода к проектированию и строительству насыпей

Продольная водопроницаемость геотекстильного полотна измеряется в условиях сжатия его расчетной нормальной нагрузкой, равной боковому давлению, действующему в слабой толще на дренирующей поверхности и возникающему от собственного веса рабочей платформы и бокового давления на глубине середины мощности слабого

слоя. Коэффициент фильтрации геотекстильного полотна должен соответствовать принятому в проекте значению, но быть не менее 30 м/сут при нагрузке 0,05 МПа.

Индивидуальное проектирование автомобильных дорог на слабых грунтах выполняется с учетом достаточно большого количества факторов. Блок-схема комплексного подхода к проектированию и строительству насыпей в особых условиях дана на рис.4.11. Для расчетов конструкции насыпи по этой схеме и с учетом изложенных в Пособии методов расчета возможных деформаций слабого основания в данном приложении приведены примеры расчетов в целесообразной их последовательности и в зависимости от соотношения свойств грунтов и высоты насыпи.

4.3. Современные отечественные и зарубежные способы укрепления грунтов основания

В настоящее время дорожно-строительные компании предлагают большое разнообразие методов и способов укрепления оснований для дорог. Основными из них являются:

- Селикктивизация
- Армирование грунта посредством инъецирования
- Армирование грунта геосинтетическими материалами

Метод армирования грунтового массива является инъекционным методом технической мелиорации и используется для повышения несущей способности слабых грунтов. Он основан на управляемом инъецировании расчётных объёмов твердеющих растворов по специально рассчитанной объёмно-планировочной схеме. В радиусе 1,5 – 2,0 м. От инъектора раствор заполняет трещины и пустоты, давлением уплотняет рыхлый грунт, действуя как внутримассивный домкрат, и формирует в процессе твердения жёсткий армирующий каркас, образуя включения цементного камня, рис.4.12.

Усиленный таким образом грунтовой массив является принципиально новым техногенным образованием – геотехногенным композитом или «Геокомпозитом», обладающим высокой степенью жёсткости и хаотичной структурой, напоминающей корни дерева.

По результатам изучения строения «Геокомпозита» на 16 опытных площадках были установлены основные закономерности: распределение уплотняющего раствора в грунтовом массиве, степень уплотнения грунтов в зависимости от давления и объемов нагнетаемого раствора, физико-механические свойства усиленного грунта.

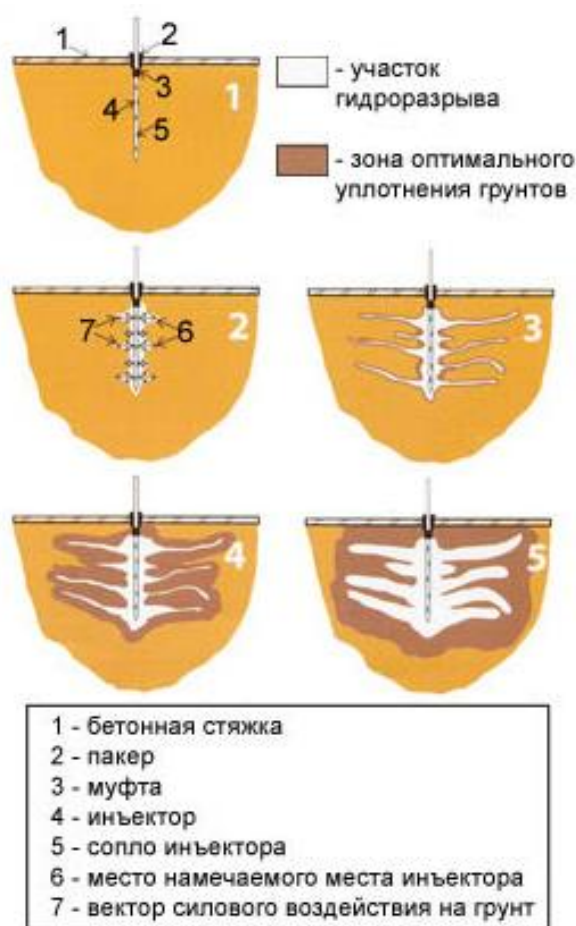


Рис. 4.12. Последовательность работ при армировании грунтового массива с помощью инъецирования

4.3.1. Армирование оснований сваями-инъекторами

Свай-инъекторы представляют собой забивные или буронабивные сваи, опирающиеся на основание из закрепленного грунта. Инъекцию крепящего раствора ниже пяты сваи следует производить одним из нижеуказанных способов:

- до возведения ствола - через забивные инъекторы либо инъекторы-тампоны, устанавливаемые в предварительно пробуренные скважины;

- после возведения ствола - через инъекционную трубку, установленную в теле сваи и введенную в инъекционную полость, заполненную дренажным материалом (например, щебнем).

С целью улучшения совместной работы ствола сваи и закрепленного основания погружение различных типов забивных свай, после выполнения инъекционных работ, следует производить в лидерные скважины, нижние части которых заполнены свежей бетонной массой.

При инъекции крепящих растворов после возведения ствола сваи используют буронабивные и забивные сваи-инъекторы, в стволе которых устанавливается инъекционная трубка, а ниже устраивается инъекционная полость. Инъекционная полость может быть выполнена цилиндрической или фигурной с использованием стандартных уширителей режущего типа и заполнена дренажным материалом до устройства ствола сваи.

Закрепление грунта в основании свай-инъекторов с инъекционной полостью производится путем последовательной отдельной подачи крепящих растворов. При этом сначала выполняется химическое закрепление грунта (например, силикатизация), а затем заполнение полости цементным раствором с опрессовкой зоны закрепления.

Работы по инъектированию основания ниже пяты сваи (после возведения ее ствола) могут выполняться, в случае необходимости, параллельно с возведением конструкций здания.

4.3.2. Армирование оснований буронабивными элементами

Способ армирования оснований буронабивными элементами предусматривает устройство в грунте более прочных элементов, совместно работающих с массивом.

Способ распространяется на проектирование и устройство армирования основания как мероприятия, предусмотренного:

- в лессовых просадочных грунтах I и II типов, для уменьшения деформаций за счет исключения просадки, а также для обеспечения нормальной эксплуатации

сооружений и технологического оборудования в условиях аварийного замачивания или подъема уровня грунтовых вод;

- в слабых, сильносжимаемых, в том числе водонасыщенных грунтах для уменьшения деформаций и обеспечения эксплуатационной надежности зданий и сооружений.

Материалом буронабивных элементов служат цементогрунт, бетоны и твердеющие растворы на основе цемента и других вяжущих.

Буронабивные элементы устраивают по аналогии с буронабивными сваями в скважинах \varnothing 250-350 мм с последующим их заполнением твердеющим материалом.

4.3.3. Усиление грунтовых оснований методом «Геокомпозит»

Упомянутый выше метод «Геокомпозит» можно использовать для любых сжимаемых дисперсных грунтов, как естественного, так и геотехногенного (насыпные грунты, строительный мусор и культурные отложения) происхождения, а также в заторфованных грунтах и илах. При этом наличие грунтовых вод не является противопоказанием применению метода.

Создание «Геокомпозита» в основании дороги, зданий и сооружений осуществляется путём формирования «элементарной ячейки», рис. 4,13 являющейся основной объёмно-планировочной схемы усиления грунтового массива. Технология формирования «элементарной ячейки» защищена патентами Российской Федерации. Разработку проектов усиления грунтов оснований методом «Геокомпозит» выполняет институт проектирования объектов градостроительства ОАО «ГОРПРОЕКТ».

В зависимости от сооружения и инженерно-геологических условий местности устанавливаются параметры усиления грунтов массива: количество точек, расстояние между ними, глубина инъектирования и объёмы нагнетания.

Работы по усилению оснований проводятся как на уже существующих объектах, так и на дорогах, когда укрепление грунтов осуществляется строго параллельно строительству или реконструкции дороги.

Экономические и технологические преимущества метода «Геокомпозит»:

- Уплотняющий раствор при нагнетании под давлением обладает высокой избирательной способностью, что приводит к усилению наиболее слабых зон грунтового массива и повышению несущей способности жесткости массива при минимальных затратах.

- Низкая себестоимость проведения технологических работ при высокой мобильности и эффективности.

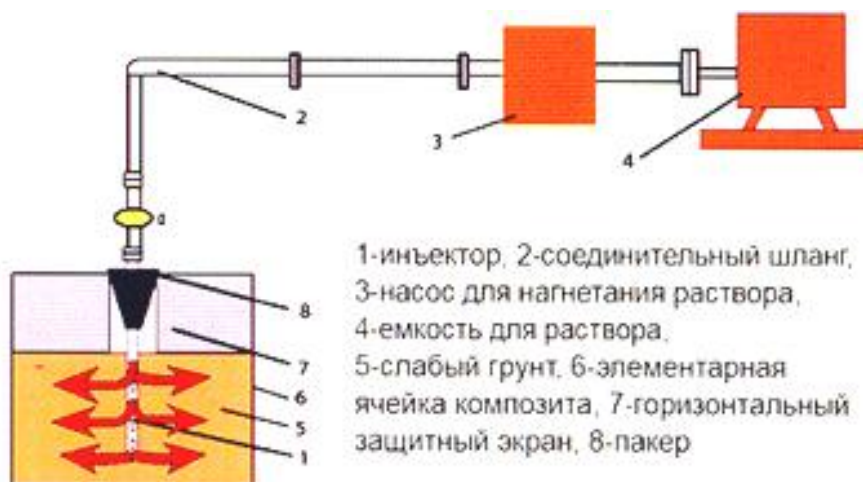


Рис. 4.13

- Использование инертных материалов, обеспечивающих экологическую чистоту метода.

- Отсутствие необходимости использовать тяжелое ударное оборудование, вызывающее динамические нагрузки.

- Возможность использования внутри помещений аварийных и реконструируемых зданий и сооружений легкого современного оборудования, которое позволяет проводить укрепление оснований практически в любых помещениях без нарушения состояния и целостности помещения.

РАЗДЕЛ 5.

СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ «РАБОЧИХ СЛОЕВ» ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Общее положение

В Российской Федерации более 20 областей не имеют каменных материалов. Необходимая в этих условиях перевозка щебня, используемого для строительства дорожных оснований, увеличивает его отпускную цену в 3 - 5 раз и является главной причиной удорожания строительства.

В связи с этим в условиях рыночной экономики при строительстве и ремонте автомобильных дорог прослеживается тенденция к применению конструкций и технологий, требующих для их реализации меньших затрат энергии и ресурсов.

Одной из наиболее эффективных возможностей снижения стоимости строительства и затрат ресурсов является использование в конструктивных слоях дорожных одежд укрепленных грунтов и других местных материалов. Технико-экономические расчёты, проведенные с учетом фактических производственных затрат показывают, что применение слоев из укрепленных грунтов вместо равнопрочных оснований из привозных каменных материалов приводит к снижению их стоимости на 20 - 60%.

Из строящихся в настоящее время автомобильных дорог большая их часть приходится на долю дорог III - V категорий, расположенных, в основном, в сельской местности. Поэтому в условиях скудного финансирования дорожной отрасли использование укрепленных грунтов является единственной реальной возможностью развития дорожной сети.

В настоящее время в России построено и эксплуатируется свыше 30 тыс. км дорог, где применены укрепленные грунты при строительстве дорожных оснований и покрытий. Используют укрепленные грунты на дорогах I - V категорий, причем на дорогах I - II категорий - в качестве нижних слоев оснований, а III - V категорий - верхних слоев оснований и покрытий. Дальнейшее развитие этой технологии идет по пути совершенствования существующих и разработки новых методов укрепления (в основном комплексных) с применением известных и нетра-

диционных вяжущих и вторичных ресурсов, создания новых эффективных грунто-смесительных машин, разработки современных методов экспресс-контроля.

Наибольшее распространение в нашей стране получили грунты, укрепленные минеральными вяжущими, в частности - цементом. Цементогрунт широко используется в качестве основания под капитальные типы покрытий на дорогах высших категорий, а также покрытий с защитным слоем на дорогах IV - V категорий, местных аэродромах и при строительстве подъездных путей.

Анализ работы дорожных конструкций с основаниями из цементогрунта свидетельствует о значительных их преимуществах при сравнении с традиционными основаниями из каменных материалов. Цементогрунтовое основание обеспечивает благоприятный водно-тепловой режим конструкции, снижение влажности активной зоны земляного полотна, хорошую ровность покрытия и полное отсутствие трещин усталостного характера.

5.1. Анализ факторов, влияющих на дорожную конструкцию

Устойчивость любой дорожной конструкции предопределяется надежным взаимодействием всех ее элементов. Поэтому устойчивость дорожной одежды из укрепленного грунта с тонкослойным покрытием или защитным слоем обеспечивается за счет;

- плотного, прочного, морозостойкого слоя из укрепленного грунта;
- подгрунтовки, имеющей надежное сцепление с поверхностью укрепленного грунта и обеспечивающей требуемую сдвигоустойчивость в плоскости раздела;
- тонкослойного покрытия или защитного слоя, отвечающего требованиям сдвигоустойчивости, износостойкости и возможно большей водонепроницаемости.

Работа дорожной конструкции, состоящей из укрепленного грунта с тонкослойным покрытием или защитным слоем, весьма специфична ввиду незначительной толщины верхних слоев. Ударные нагрузки, вибрация, сдвиговые и вертикальные усилия от колесной нагрузки, а также факторы, связанные с неблагоприятными климатическими условиями, приводят к возникновению в дорожной кон-

струкции соответствующих напряжений, а также способствует износу тонкослойных покрытий и защитных слоев.

Вертикальные усилия от колесной нагрузки вызывают изгибающие напряжения в монолитных слоях дорожных одежд. Наибольшие изгибающие напряжения возникают по оси действия нагрузки в нижней части покрытия. Величина этих напряжений зависит при прочих равных условиях от толщины слоя покрытия и отношения его модуля упругости к общему модулю упругости всех нижележащих слоев. Весенний период времени, когда покрытие из битумоминеральной смеси обладает сравнительно высокой жесткостью, а основание - значительной деформативностью за счет увлажнения земляного полотна, является наиболее неблагоприятным при работе покрытия на изгиб. С этой точки зрения условия работы тонкослойного покрытия, устроенного на основании из цементогрунта или грунта, укрепленного цементом совместно с битумной эмульсией, ввиду хорошей распределяющей способности таких оснований и меньшей их деформативности значительно благоприятнее по сравнению с работой оснований из дискретных материалов [13].

Горизонтальные усилия в дорожной одежде возникают в местах торможения автомобилей, при изменении скорости движения, на крутых уклонах и кривых. Эти усилия, доходящие до величины удельных вертикальных усилий, вызывают напряжение в слое покрытия и на его контакте с основанием, что может привести к деформированию покрытия или смещению его по основанию при высокой положительной температуре. Деформаций покрытия от горизонтальных усилий можно избежать, применяя для его устройства битумоминеральные смеси, характеризующиеся такими значениями угла внутреннего трения и сцепления, которые обеспечивают сдвигустойчивость слою даже при условии внезапного торможения автомобиля.

Значительно сложнее избежать смещения покрытия относительно основания при воздействии больших горизонтальных усилий в летний период времени. Решение этой задачи усложняется тем, что максимальные напряжения при сдвиге совпадают с плоскостью раздела тонкослойного покрытия с основанием, а сцеп-

ление между ними снижается из-за уменьшения когезии вяжущего, используемого для подгрунтовки. При устройстве поверхностных обработок на покрытиях из укрепленных грунтов проблема сдвигоустойчивости в плоскости раздела не стоит так остро, ввиду возникновения в местах контакта щебенки с поверхностью укрепленного грунта значительных сил трения.

Влияние климатических факторов на дорожную конструкцию проявляется наиболее сильно в деформировании основания и покрытия с образованием трещин.

Дорожная конструкция воспринимает многократное приложение подвижной нагрузки, что способствует возникновению усталостных напряжений в связных слоях, а также непрерывному износу верхнего слоя. В большей степени износу подвержены защитные слои, устраиваемые по типу поверхностной обработки из несвязных материалов. Интенсивный износ поверхностных обработок обуславливается значительной неоднородностью слоя, неровностью его поверхности, слабостью связей между зернами минерального материала (особенно при высоких положительных температурах), а также возникновением значительных контактных напряжений в местах соприкосновения зерен щебня с укрепленным грунтом, вызывающих разрушение его поверхности.

На основании многочисленных обследований и приведенного выше анализа работы конструкции с тонкослойным покрытием или защитным слоем на укрепленном грунте можно сделать вывод о том, что основными критериями ее устойчивости можно считать: сдвигоустойчивость в плоскости раздела основания и покрытия, устойчивость против образования трещин, способность противостоять износу.

5.2. Требования к грунтам

Для устройства дорожных и аэродромных оснований и покрытий из укрепленных грунтов, приготовленных в смесительных установках, применяют осадочные нецементированные крупнообломочные и песчаные грунты, супеси всех

разновидностей, а при укреплении методом смешения на дороге - и глинистые грунты с числом пластичности не более 22 по ГОСТ 25100-95.

При этом зерновой состав суглинков с числом пластичности свыше 12 и глин с числом пластичности до 22 необходимо предварительно улучшать добавками извести, золы уноса и песка из отсевов дробления карбонатных пород или природного крупнозернистого песка с доведением числа пластичности до 12.

Кроме естественных грунтов, соответствующих классификации ГОСТ 25100-95, допускается использовать техногенные грунты (в том числе материалы дробления и фрезерования дорожных одежд) и промышленные отходы в соответствии с этим стандартом. Разрешается также применять песчано-гравийные, песчано-щебеночные, песчано-гравийно-щебеночные смеси и пески, отвечающие требованиям ГОСТ 23735-79 и ГОСТ 8736-93.

Максимальный размер зерен крупнообломочных и техногенных грунтов должен быть не более 40 мм.

Содержание частиц размером более 5 мм в измельченном, подготовленном к обработке органическими вяжущими глинистом грунте не должно быть более 25 % по массе, в том числе содержание частиц размером более 10 мм - не более 10 % по массе.

5.3. Требования к вяжущим материалам

5.3.1. Органические вяжущие материалы

В качестве органических вяжущих для приготовления укрепленных грунтов применяют битумы нефтяные дорожные жидкие по ГОСТ 11955-82 с вязкостью при τ_{60}^5 не более 100, эмульсии битумные дорожные по ГОСТ Р 52128-2003.

Допускается использование других органических вяжущих (вспененного битума, карбамидоформальдегидных смол, битумных паст, высокосмолистой нефти и т.п.), удовлетворяющих требованиям действующих нормативных документов и обеспечивающих получение укрепленных грунтов применяют в соответствии с требованиями существующего стандарта. Для устройства несущих слоев оснований не допускается использование жидких битумов без активных добавок.

В качестве минеральных активных добавок для приготовления укрепленных грунтов применяют портландцемент и шлакопортландцемент по ГОСТ 10178-85, золы уноса по ГОСТ 25818-91, известь по ГОСТ 9179-77.

В качестве активных добавок к битуму используют поверхностно-активные вещества (ПАВ) или продукты, содержащие ПАВ и удовлетворяющие требованиям действующих нормативных документов.

5.3.2. Неорганические вяжущие материалы

Для укрепления естественных и техногенных грунтов применяют следующие основные минеральные вяжущие материалы:

- портландцемент, шлакопортландцемент по ГОСТ 10178-85, известково-шлаковый цемент, а также другие виды цементов марок не ниже 300;
- известь молотую негашеную, известь гидратную, известь гидрофобизированную 1-го и 2-го сортов по ГОСТ 9179-77.

В качестве вяжущих или их компонентов используют следующие неорганические отходы и побочные продукты производства:

- гипсошлаковые и портландцементошламовые вяжущие;
- золы уноса сухого отбора по ГОСТ 25818-91;
- золошлаковые смеси гидроудаления по ГОСТ 25592-91;
- пыль уноса цементных заводов;
- нефелиновый шлам по ТУ 48-0114-19-84 и бокситовый шлам по ТУ 48-2853-30-84;
- фосфополугидрат кальция по ТУ 6-08-412-80;
- комплексные вяжущие марок по прочности в 90-суточном возрасте, определяемой по ГОСТ 3344-83, не менее 100.

Комплексное вяжущее состоит из основного компонента и активатора твердения. В качестве основного компонента следует использовать слабоактивные и активные шлаки черной металлургии и шлаки фосфорные по ГОСТ 3344-83, основные золы уноса по ГОСТ 25818-91, бокситовые и нефелиновые шламы; в качестве активаторов твердения - портландцемент, шлакопортландцемент марок по проч-

ности не ниже 400 по ГОСТ 10178-85, известь строительную 1-го и 2-го сортов по ГОСТ 9179-77, гипс строительный марок не ниже Г10 по ГОСТ 125-79, содощелочной (содосульфатный) плав с содержанием Na_2CO_3 не менее 95 % по массе и $NaOH$ не менее 2 % по массе, жидкое стекло с кремнеземистым модулем 1,7 - 1,8 и плотностью от 1,15 до 1,25 г/см³.

Перечень отходов производства, используемых в качестве минеральных вяжущих для укрепления грунтов, постоянно пополняется по мере накопления результатов их исследований.

К числу гипсосодержащих отходов, применяемых в качестве медленноотвердеющих вяжущих, относятся и побочные продукты производства фтористого водорода - фторангидрит и ангидрито-силикатное вяжущее по ТУ 6-00-05807990-88-92 [14]. Получение фтористого водорода основывается на обработке тонкоизмельченного плавикового шпата 90 - 98 %-ной кислотой при температуре выше 200°С: $CaF_2 + H_2SO_4 = 2HF + CaSO_4$. Выгружаемый из печей материал содержит более 80 % $CaSO_4$, 0,5 - 5 % CaF_2 , 1,5 % SiO_2 и другие химические соединения. Перед отправкой в отвал или хранилище этот материал нейтрализуют введением тонкоизмельченного известняка или шлака сухим либо мокрым способом.

Фторангидрит представляет собой порошкообразный материал, включающий твердые гранулометрические частицы и характеризующийся показателем рН > 9,5.

Применение фторангидрита особенно эффективно при укреплении песчано-гравийных и золошлаковых смесей. В таких смесях фторангидрит выполняет функции как вяжущего, так и гранулометрической добавки. Укрепление песчано-гравийной смеси 4 - 6 % цемента в сочетании с 30 - 40 % фторангидрита позволяет получить материал марки по прочности М20 - М40, марки по морозостойкости F15. Введение в золошлаковую смесь, укрепленную 4 - 6 % цемента, 5 - 20 % фторангидрита позволяет также получить материал марки по прочности М10 - М40, марки по морозостойкости F25. Фторангидрит из отвалов (фторгипс) в комплексе с 30 - 50 % фторангидрита является прекрасным материалом (марка по прочности

M40 - M60, марка по морозостойкости F25) для устройства оснований дорожных одежд [14].

Одним из перспективных направлений применения фторангидрита является использование его в составе ангидрито-силикатного вяжущего (АСВ). АСВ производит ОАО «Галоген» (г. Пермь) посредством смешения кислого фторангидрита и самораспадающегося ферросплавного шлака. Отличительной особенностью АСВ является то, что при его использовании упрочнение материала происходит за счет образования гидросиликатов кальция, в то время как при применении фторангидрита, нейтрализованного известью, упрочнение осуществляется за счет новообразований гипса. Это обстоятельство и определяет более высокие показатели водо- и морозостойкости конгломератов на основе АСВ в сравнении с материалами, укрепленными фторангидритом, нейтрализованным известью.

5.4. Отличительные особенности структурно-механических свойств грунтов, укрепленных минеральными вяжущими материалами

В отличие от грунтов, используемых для устройства земляного полотна, грунты, подлежащие укреплению, предварительно (или в процессе перемешивания) подвергаются размельчению, в связи с чем их структура отличается размером и содержанием агрегатов, которые по-разному ведут себя при увлажнении и уплотнении. Под структурой грунтов понимают особенности их строения, обусловленные размерами, формой и взаимным расположением составных элементов, а также характером их поверхности, пустот и связей между ними. Элементами, составляющими естественный грунт, являются как отдельные частицы, так и объединения их в грунтовые агрегаты. В структурах несвязных грунтов преобладают отдельные не связанные между собой частицы, а в структурах связных грунтов - грунтовые агрегаты.

Свойства грунтов как дисперсных систем зависят не только от гранулометрического и минералогического составов, но также и от количества и размеров грунтовых агрегатов, в которых грунтовые частицы более или менее прочно связаны между собой. Грунтовые агрегаты в зависимости от размеров делят на две

группы: микроагрегаты (с диаметром менее 0,25 мм) и макроагрегаты (с диаметром более 0,25 мм).

Согласно существующим взглядам, механизм образования агрегатов можно представить следующим образом. В результате наличия свободной поверхностной энергии происходит слипание коллоидных частиц и образование первичных агрегатов, которые могут сохранять остаточный заряд, и, в случае разноименной зарядки, образовывать новые агрегаты. Кроме того, в массу слипшихся частиц могут механически захватываться частицы пыли. На второй стадии формирования агрегатов происходит их упрочнение путем склеивания частиц клеящими веществами: гидратами полуторных окислов, силикагелем, иногда солями, а также органическими и неорганическими соединениями. Все эти вещества заполняют поры между частицами или сорбируются на поверхности смежных частиц. Такого рода пленки (гели) существенно влияют на свойства грунта, снижая влияние его минерального состава. Микроагрегаты обычно состоят из грунтовых частиц. Макроагрегаты, как правило, представляют собой объединение микроагрегатов и имеют размеры, превышающие как минимум вдвое диаметры последних.

Структура укрепленных грунтов в значительной степени отличается от структуры цементобетонов в первую очередь особенностью структуры заполнителя - грунтов (рис. 5.1.). Так, гранулы в укрепленном грунте - это носители коагуляционной структуры в течение длительного времени, которые обуславливают при их водонасыщении (особенно при недоуплотнении материала) переход кристаллизационной (кристаллизационно-конденсационной) структуры в кристаллизационно-коагуляционную.

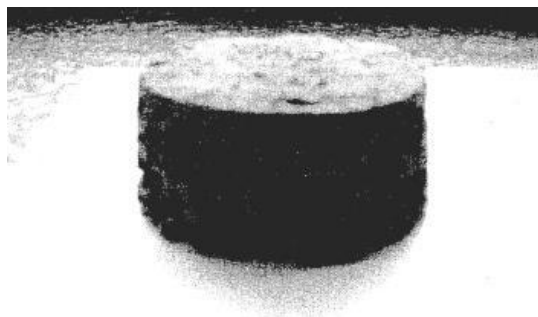


Рис. 5.1. Структура глинистого грунта, укрепленного цементом и уплотненного до плотности 0,93 от стандартной

В процессе гидратации цемента образуется известь в виде $Ca(OH)_2$, которая в результате пуццолановых реакций с минералами глины образует новые цементирующие вещества. Эти соединения существенно влияют на общий ход образования кристаллизационной структуры и являются отличительной особенностью структуры укрепленных грунтов от структуры цементобетонов.

Различия структуры укрепленных грунтов и цементобетонов по поровым характеристикам приведены в табл. 5.1.

Коэффициент раздвижки в укрепленных грунтах, как правило, меньше 1,0, что характеризует их большую жесткость в сравнении с цементобетонами [15]. Из-за невысокого содержания цементного теста в укрепленных грунтах их роль смазки небольшая и для достижения требуемой плотности необходимо приложение более высоких уплотняющих усилий в сравнении с цементобетонами. Кроме того, это обстоятельство не позволяет использовать для укрепленных грунтов методы подбора и уплотнения образцов, применяемые, в частности, для укатываемых цементобетонов. Высокая пористость грунтов и наличие в них глинистых агрегатов в значительной степени снижают показатели водо- и морозостойкости укрепленных грунтов в сравнении с цементобетонами. При подборе составов укрепленных грунтов и их приготовлении требуется высокое содержание воды, значительно превышающее количество, необходимое для процесса гидратации цемента. Излишки воды заполняют поры, которая отрицательно влияет на прочность укрепленных грунтов при периодическом замораживании-оттаивании, в особенности при степени уплотнения ниже 1,0. При современных методах подбора (метод стандартного уплотнения) такое содержание воды необходимо для достижения максимальной плотности укрепленных грунтов.

Таблица 5.1

Сравнительные характеристики укатываемых цементобетонов и укрепленных грунтов

Наименование показателя	Величина показателя для	
	укатываемых цементобетонов	укрепленных грунтов
Коэффициент раздвижки (заполнения пор)	1,2-1,5	0,6-0,8
Содержание воды, %	5-7	7-12
Водоцементное отношение	0,9-1,1	0,6-2,0
Пористость, %	11-20	26-30

Вышеотмеченные особенности должны определять различия в подходах к методам подбора составов, уплотнения и испытания укрепленных грунтов в сравнении с грунтами и цементобетонами.

5.5. Особенности технологических приемов устройства оснований из укрепленных грунтов

Анализируя результаты проведенных исследований и наблюдений, следует отметить, что для грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, присущи те же технологические приемы устройства конструктивных слоев дорожных одежд, что и для цементобетонных смесей, однако при этом следует учитывать и особенности структурно-механических свойств укрепленных грунтов.

Как и для цементобетонных смесей, для грунтов, укрепленных цементом, ограничено время от момента приготовления смеси до окончания ее уплотнения. Необходимо отметить, что плотность укрепленных грунтов в меньшей степени зависит от сроков схватывания цементного теста и в большей - от влажности и величины уплотняющей нагрузки (рис. 5.2), т.е. практически в любое время с начала затворения цемента водой можно путем увеличения уплотняющей нагрузки получить требуемую плотность укрепленного грунта. Зависимость же морозостойкости укрепленных грунтов от времени уплотнения смеси - функция сроков схватывания цементного теста (рис. 5.3). Чем раньше закончено уплотнение, тем более высокие показатели прочности и морозостойкости обеспечены укрепленному грунту. Однако в любом случае (в какое бы время после затворения цемента водой не осуществлено уплотнение) более высокая плотность укрепленных грунтов гарантирует им большую морозостойкость.

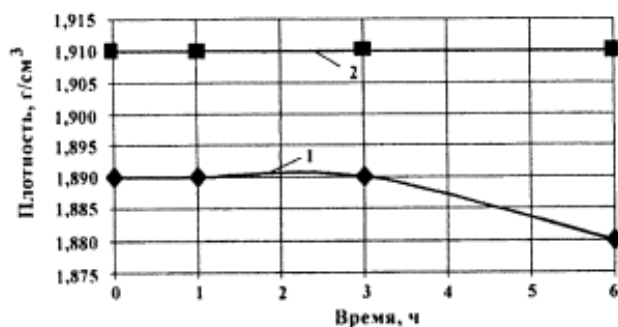


Рис. 5.1. Зависимость плотности песка, укрепленного 10 % цементом, от времени начала уплотнения: 1 - нагрузка 15 МПа; 2 - то же, 30 МПа

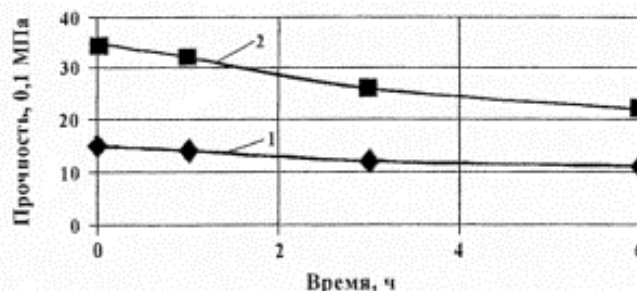


Рис. 5.3. Зависимость прочности укрепленных грунтов после 10 циклов замораживания-оттаивания от времени начала уплотнения смеси: 1 - песок; 2 - суглинок

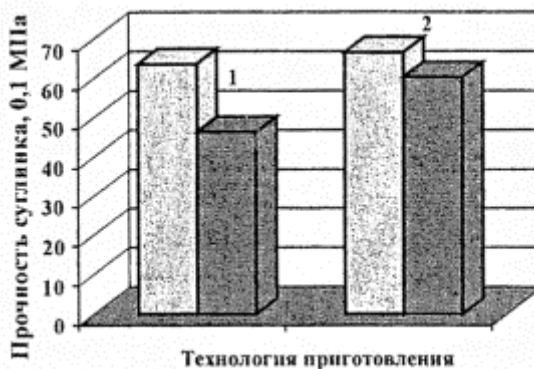


Рис. 5.4. Зависимость прочности суглинка, укрепленного цементом, от технологии приготовления: 1 - традиционная технология; 2 - предлагаемая технология; - неводонасыщенные образцы; - водонасыщенные образцы

Любое дополнительное измельчение глинистых гранул с целью увеличения площади контакта глинистых частиц с продуктами гидролиза и гидратации цемента и снижения количества центров коагуляционной структуры способствует повышению морозостойкости укрепленных грунтов. Так, если после предварительного уплотнения укрепленных грунтов их вновь перемешать и уплотнить, то в значительной степени повышается их морозостойкость (рис. 5.4), метод укрепления грунтов смешением на дороге позволяет осуществлять такие приемы. При укреплении грунтов по методу смешения на дороге, а суглинки и глины можно укрепить только таким методом, время с момента введения воды в смесь до окончания перемешивания недостаточно для того, чтобы гранулы могли впитать воду и разрушиться при перемешивании. После нескольких проходов катка гранулы (в основном непрочные и малопрочные) разрушаются и при повторном перемешивании снижается количество частиц грунта, не обработанного цементным тестом.

Поверхностно-активные вещества, в том числе и стабилизаторы глинистых грунтов, обеспечивают более высокую степень измельчения агрегатов и, соответственно, повышают прочность и морозостойкость укрепленных грунтов (рис. 5.5).

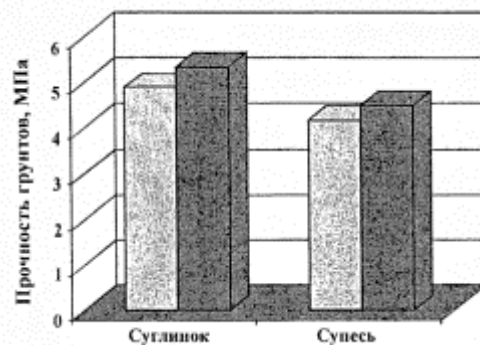


Рис. 5.5. Влияние добавки стабилизатора на прочность грунтов, укрепленных цементом: ■ - без стабилизатора; ▒ - со стабилизатором

При комплексном укреплении грунтов органическими и неорганическими вяжущими материалами последовательность и время их введения имеет немаловажное значение. В настоящее время нет однозначного мнения по последовательности введения вяжущих, некоторые исследователи первоочередность введения жидкого битума или битумной эмульсии определяют трудностью их распределения в смеси грунта и минерального вяжущего.

Однако, как показали исследования, эффективнее введение вначале цемента в укрепляемый грунт для полной реализации свойств гидравлического вяжущего, а затем - органического вяжущего (рис. 5.6). Временной разрыв между введением неорганического и органического вяжущего в укрепляемый грунт в большей степени способствует проявлению вышеотмеченного эффекта разрушения гранул и обеспечению максимальной площади обволакивания поверхности грунтовых частиц органическим вяжущим с образованием не только физической, но и химической адсорбции. При одновременном введении в укрепляемый грунт органического и неорганического вяжущего часть цемента гидрофобизируется, переходя в разряд минерального порошка (дисперсного, неактивного наполнителя).

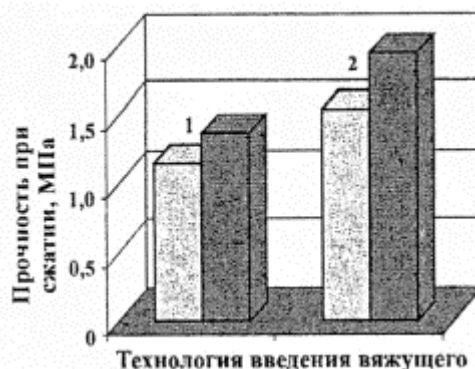


Рис. 5.6. Зависимость прочности песка, укрепленного 7 % цемента и 5 % жидкого битума от времени введения битума в смесь: 1 - в возрасте 7 сут; 2 - после 10 циклов замораживания-оттаивания; ■ - одновременно с цементом; ▒ - через 1 ч после введения цемента

Особо важно соблюдение технологии введения вяжущих (последовательности и временного разрыва) при использовании медленноотвердеющих минеральных вяжущих, таких как активные золы уноса, нефелиновые и бокситовые шламы (рис. 5.7).

По данным Т. Пауэрса и С. Брунаура, общее количество химически и физико-химически связанной воды при полной гидратации цемента (в цементном геле) составляет 47 - 52 % от массы цемента. Поэтому если при твердении укрепленных грунтов не имеется доступа воды извне, то для полной гидратации цемента необходимо, чтобы водоцементное отношение (В/Ц) было в пределах 0,5. Как правило, в укрепленных грунтах $V/C > 0,5$. С другой стороны, при $V/C > 0,5$ в укрепленных грунтах всегда будут присутствовать капиллярные поры, доступные для миграции влаги, и стойкость их при водонасыщении, а также замораживании-оттаивании будет понижаться. При отсутствии (недостаточного по времени) влажностного ухода за конструктивными слоями из укрепленных грунтов интенсивное испарение воды еще в большей степени способствует образованию капиллярных пор и, как результат, снижению их водо- и морозостойкости (рис. 5.8).

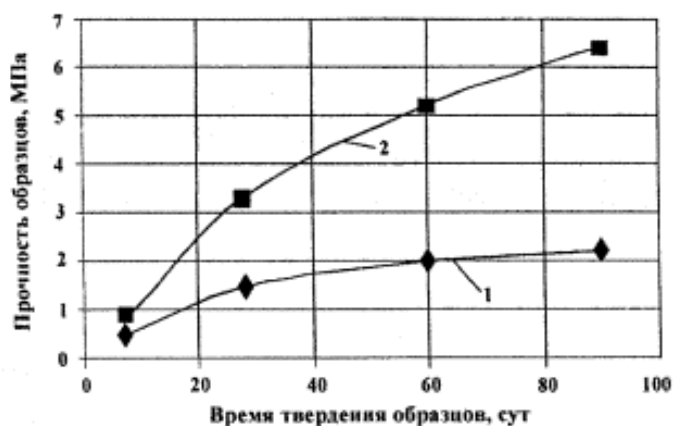


Рис. 5.7. Зависимость прочности укрепленного песка (20 % золы уноса и 4 % гудрона) от технологии введения вяжущих:

1 - одновременное введение; 2 - гудрон введен через 2 сут. после укрепления

Учитывая вышеотмеченное обстоятельство и то, что глинистые частицы грунтов подобно пуццолановым добавкам замедляют процесс набора прочности цементного теста, уходу за укрепленными грунтами следует уделять важное значение в течение длительного времени. Принимая во внимание сложность длительного ухода за конструктивным слоем из укрепленного минеральными вяжущими грунта, эффективно сразу устраивать вышележащие слои дорожной одежды.

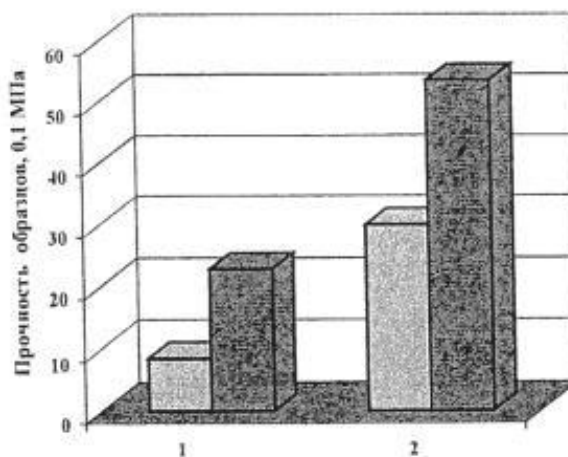


Рис. 5.8. Зависимость прочности водонасыщенных образцов из укрепленного суглинка от условий хранения: 1 - укрепление цементом в количестве 5 %; 2 - то же, 14 %; ■ - после влажного хранения образцов в течение 7 сут.; □ - то же, 28 сут

5.6. Стабилизация и силикатизация грунтов

В последнее время, помимо традиционно используемых органических и минеральных вяжущих для укрепления грунтов, широко рекламируются, а в отдельных регионах России используются отечественные и зарубежные стабилизаторы грунтов.

В 1931 г. был разработан двухрастворный способ силикатизации, сущность которого состояла в том, что в песчаный грунт любой влажности через забитую металлическую перфорированную трубу (инъектор) поочередно нагнетались раствор силиката натрия (натриевое жидкое стекло) $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ и раствор хлористого кальция CaCl_2 . В результате химической реакции между ними в порах грунта образуется гидрогель кремниевой кислоты, и грунт быстро и прочно закрепляется. Двухрастворный способ обеспечивает высокую прочность грунта (табл. 5.2) и практически его полную водонепроницаемость. Недостатками этого способа являются высокая стоимость и большая трудоемкость работ. Поэтому его преимущественно применяют при усилении оснований под сооружениями. Закрепленный грунт имеет кубиковую прочность 1,5...3,5 МПа. Прочность закрепленного грунта не снижается при воздействии на него агрессивных вод.

Для закрепления мелких и пылеватых песков с коэффициентом фильтрации от 0,0006 до 0,006 см/сек применяют однорастворный способ. В грунт нагнетают гелеобразующий раствор из жидкого стекла и фосфорной кислоты либо из жидкого стекла, серной кислоты и сернокислого аммония.

Способы закрепления грунтов

Коэффициент фильтрации грунта см/сек	Способ закрепления	Предел прочности на сжатие через 28 суток, кН/м ²
Крупные и средние пески	Двухрастворный	
0,006 – 0,012		3400 – 2900
0,012 – 0,023		2900 – 1900
0,023 – 0,092		1900 – 1500
Мелкие и пылеватые пески	Двухрастворный	
0,0006 – 0,006		390 – 490
Лёссовый грунт		
0,0001 – 0,0023		590 - 1500

Первая рецептура обеспечивает более быстрое гелеобразование. Прочность закрепленного грунта (табл.5.2) значительно ниже, чем при двухрастворном способе. Этот способ находит применение главным образом при устройстве противофильтрационных завес.

Однорастворный способ силикатизации используют и для закрепления лёссовых просадочных грунтов, имеющих коэффициент фильтрации от 0,0001 до 0,0023 см/сек. При этом в грунт нагнетают раствор одного жидкого стекла. Гелеобразование происходит за счет реакции раствора жидкого стекла с водорастворимыми солями грунта и его обменным комплексом. Роль второго раствора выполняет сам грунт. Прочность закрепленного грунта приведена в табл. 5.2.

Не рекомендуется применять силикатизацию для закрепления грунтов, пропитанных нефтяными продуктами, смолами и маслами, при наличии грунтовых вод, имеющих рН >9 при двухрастворном способе, и в случае рН>7,2 при однорастворном способе силикатизации мелких и пылеватых песков. Нецелесообразно подвергать силикатизации грунты, когда скорость грунтовых вод превышает 0,006 см/сек.

Стабилизация грунта основания - является наиболее выгодным и оперативным способом строительства грунтовых дорог внутри поселений населенных пунктов, поселков, коттеджных поселков в случае, когда в свете экономической возможности и инфраструктурно не эффективно применение полноценных асфальтовых дорог или магистралей.

Методика производства работ стабилизацией грунтов основания, является экономически и технологически оправданной основой для улучшения и повтор-

ного использования грунтов плохого качества, последующего асфальтирования, что применяется, в основном, при строительстве улиц и асфальтовых дорог внутри населенных пунктов.

Стабилизация грунтов эффективна при строительстве дорог и их ремонте, земляных работах по строительству железных дорог, возведению дамб, уплотнении дна искусственных водоемов, взлетных полос аэропортов, парковочных мест, скреплении вредных субстанций и предотвращении их вымывания из плохих грунтов и слоев основания грунтов.

Стабилизаторы разрабатывались специально для укрепления и стабилизации грунтов оснований и рабочих слоёв дорожных одежд и могут быть использованы как в повседневном строительстве, так и в случаях, когда работы необходимо проводить в короткие сроки, в тяжелых инженерно-геологических условиях при недостатке традиционных строительных материалов. Применение этих инновационных материалов при производстве дорожно-строительных работ позволяет получить высокий экономический эффект за счет использования местных, как правило, глинистых грунтов при устройстве основания дорожной одежды.

5.6.1. Стабилизаторы

Модификаторы или ионнообменные стабилизаторы делятся на органические, химические и синтетические, но принцип воздействия на грунт у всех одинаков, это молекулярное воздействие на частицы грунта - основан на замещении ионов в гидратированной оболочке на поверхности глинистых частиц грунта. В обычном состоянии частицы грунта удерживаются силами химического и электростатического взаимодействия, связующей электростатической водой. Силы электростатического взаимодействия на поверхности частиц грунта постоянно образуется слой из отрицательно заряженных ионов, определяющих ее способность к смачиванию. Принцип: замещение анионов *ОН* на поверхности частиц грунта, путем диссоциации молекулами стабилизатора в результате слой стабилизированного грунта приобретает повышенную плотность, дополнительную прочность, что де-

дает возможным улучшение несущей способности всех плотных и полуплотных грунтов.

Методика производства работ, сводится к обработке модификатором или стабилизатором имеющегося (существующего) грунта основания в предполагаемом месте строительства (реконструкции, капитального ремонта) дороги, т.е. без дополнительных издержек и затрат на грунты и материалы основания дороги по классическим технологиям (песок, щебень).

В сравнении с необработанным грунтом, уплотнение грунта стабилизированного в 3-5 раз выше! Появляется возможность получить дорожное основание, желаемой несущей способности при использовании 75-100% имеющегося на месте строительства дороги грунта.

Основными и доступными минеральными вяжущими материалами являются цемент и известь. Обычно, дозировка составляет от 3 до 10% от массы укрепляемого грунта.



При использовании извести или цемента для стабилизации или укрепления грунтов практически всегда удается обеспечить требуемый коэффициент уплотнения грунта на основе лабораторных подборов дозировки вяжущих материалов.



Для укрепления цементом наиболее пригодны пылеватые супеси и песчано-глинистые грунты оптимального состава. Специальный комплект механизмов

может иметь производительность от 5000 до 15000 м³ в смену в зависимости от глубины укрепления и возможности доставки на объект требуемого количества вяжущих материалов.

5.6.2. Внесение стабилизаторов

- Улучшение свойств грунта и его *НС* остается постоянным продолжительное время и улучшается под воздействием движущегося на поверхности транспорта. Благодаря прочности и повышению стабильности обработанного грунта становится возможной долговечность, что также сокращает дальнейшие расходы по содержанию сооружения.

- Стабилизаторы могут использоваться со всеми типами грунтов. Она активизирует связующую силу любого вида грунта и сразу сокращает вредное воздействие воды на длительный период времени.

- Надолго модифицирует грунт и поэтому может использоваться как на строительной площадке (на месте), так и на специально оборудованной для этого площади. Обработанный один раз грунт надолго сохраняет эффект.

- Более высокая *НС* обработанного грунта достигается за счет улучшенной связующей функции грунта, что также ведет к понижению риска износа поверхностного слоя грунта. При использовании обработки грунта в строительных целях сокращаются и другие расходы, в среднем на 15-20%. И это только экономия непосредственно при строительстве, не говоря об экономии средств благодаря долговечности.

- Использовать очень просто, так как главную роль при этом играет сам грунт. В большинстве случаев используются одинаковые количества добавок, чтобы достичь желаемого результата. Это означает простоту в использовании уже имеющихся технических средств, достижение желаемого результата и безопасность для окружающего мира, а эффективность исследуется при лабораторных тестах.

Система прошла многочисленные тестирования и проверки. В большинстве случаев даже стандартные количества показывают лучшую плотность грунта,

слабое проникновение воды и редуцированное разрушение под воздействием воды. Заложенный уровень НС в 3 – 5 раз больше в сравнении с неулучшенным грунтом, с учетом того, что тестируемые блоки были высушены перед контролем.

Обработанный ею грунт имеет следующие преимущества:

- более эластичный в сравнении со смешанным с цементом или известью слоем грунта;
- может использоваться повторно;
- сокращает проникновение воды и сохраняет плотность грунта;
- увеличивает прочность материала;
- сокращает эрозию и проницаемость;
- может легко быть использован при строительстве;
- сможет быть использован на имеющемся материале либо смешиваться заранее на специальном предприятии и храниться до использования.

Стабилизатор смешивается с грунтом на глубину 20-25 см, и стандартное рекомендуемое количество – 0,2 литра на 1 м. Фактическая глубина, так же, как и горизонт, где начинается улучшение, определяется качествами грунта. Однако следует принимать во внимание, что реальная плотность улучшенного грунта намного выше, чем у неулучшенного, что может значительно отразиться на экономии расходов.

Уплотнение грунтов должно быть проведено до оптимального уровня содержания влаги либо быть немного выше (или, например, в случае надвигающегося ливня, сразу после конструкции). Если уплотнение по каким-либо причинам не может быть проведено сразу, так что грунт слишком сильно высыхает, недостающая влажность должна быть восполнена с помощью воды из цистерны и затем грунт должен быть уплотнен.

5.6.3. Преимущества системы в сравнении с бетонной стабилизацией

Цемент может использоваться с целью осушения слишком влажного грунта и с целью уплотнения. Также он подходит для стабилизации некоторых видов рыхлого грунта. Однако, имея дело с плотным грунтом, который также может содер-

жать органические загрязнения, возможно возникновение проблем при использовании цемента. С другой стороны, при соединении слишком больших количеств цемента хрупкий слой слабого цемента может вздыбиться, что ведет к разлому на куски, причиной всему этому служат динамические колебания транспорта (вибрация). Это может привести к очень неприятным ситуациям в поверхностном слое грунта, как только трещины проявятся в слое покрытия. Со стабилизаторами эти недостатки могут быть полностью проигнорированы. Добавки надолго изменяют грунт и придают ему такие свойства, которых у него не было и которые он уже не потеряет.

Во всех случаях, где используется грунт в качестве материала, рекомендуется применять стабилизаторы, например:

- производство высококачественных кирпичей из грунта;
- защита склонов от почвенной эрозии;
- защита прудов и озер от просачивания воды и т.п.

Несмотря на разный механизм действия, все представленные нестандартные стабилизаторы грунта подразумевают одинаковый порядок выполнения работ:

- планировка дороги;
- рыхление грунта или завоз нового, рис. 5.9, после взятия анализа грунта производится расчет необходимых добавок в грунт, как то, цемент (1-4%), зола и песок;



Рис. 5.9. Взрыхление и измельчение существующего грунта основания

- внесение стабилизатора, рис 5.10;
- трамбовка, укатка, рис. 5.11.

Последние годы технологии стабилизаторы грунта широко используются в различных климатических районах мира. В России нестандартные стабилизаторы грунта были применены при строительстве автомобильных дорог на Урале, в Московской области.



Рис. 5.10. Пролив грунта стабилизатором



Рис. 5.11. Уплотнение грунта

В Нижегородской области в качестве экспериментального участка было выбрано место строительства межпоселковой дороги в селе Каменки, протяженностью 1 км. В ходе эксперимента осуществляется постоянный лабораторный кон

троль производства работ и сравнение результатов испытаний. По результатам тестирования будет выбрана технология строительства с наилучшими показателями.



Рис. 5.12. Устройство а/б покрытия

Новая технология позволит удешевить строительство проселочных дорог в зависимости от типов грунта от 2-х до 5 раз.

При применении жидких стабилизаторов (энзимов) средний расход стабилизатора составляет 30-50 л концентрата препарата на 1 км дороги. Препарат разводится в пропорции от 1 к 200 до 1 к 10 тыс. в зависимости от операции (этапа выполнения работ). Ориентировочная стоимость концентрата «Солидрай» 100 – 200 долларов в зависимости от марки стабилизатора.

При применении системы СОЛИДРАЙ (полимеров) средний расход стабилизатора составляет около 7 кг на кв.м дорожного покрытия и около 170 кг жидкого состава на 1 кв.м. Данный расход предполагает затраты в пределах 1,5 млн.руб. на 1 км. дороги.

При применении жидкого кремний – полимерного гидрофобизатора средний расход стабилизатора составляет 2,5 -3,5 литра на 1 куб.м. дороги, что в денежном эквиваленте составляет порядка 1-1,5 млн. руб. на 1 км.

5.7. Укрепление грунтов полимерными вяжущими (Nicoflok)

В последние годы в мировой практике проектирования и строительства автомобильных дорог, а также строительства площадных объектов (логистических

терминалов и складов, аэродромных покрытий, торговых центров и т.д.) наметились следующие основные тенденции в совершенствовании технологии:

Применение в основаниях жестких и нежестких дорожных одежд (покрытий) монолитных слоев уменьшающих давление от транспортных средств, летательных аппаратов, ричстакеров, спредеров, фронтальных погрузчиков и т.п. на подстилающий грунт, грунт земляного полотна, как наиболее "слабый" элемент дорожной конструкции (покрытия).

Использование технологий устройства дорожных одежд (покрытий), исключаящих необходимость транспортировки "каменных" материалов к месту их укладки (использования местных, строительных материалов и грунтов). Данные тенденции в полном объеме реализуются при возведении монолитных оснований и покрытий из смеси местных грунтов, цемента и полимеров Nicoflok.

Отечественная полимерно-минеральная композиция Nicoflok не является стабилизатором грунтов. Nicoflok - это полимерная добавка, работающая совместно с цементом. Полимерно-минеральная композиция на основе редиспергируемых полимерных порошков и минеральных наполнителей широко применяется в дорожном строительстве при устройстве оснований и покрытий дорожных одежд из грунтов, укрепленных цементом.

Исследования, выполненные Омским «Союздорнии» и АО «КаздорНИИ» показали, что в сравнении с другими известными добавками (Ренолит, Geosta, Perma-Zyme) применение Nicoflok обеспечивает возрастание предела прочности на сжатие, предела прочности на растяжение при изгибе, модуля упругости в сравнении с обычным цементогрунтом. Следует отметить, что испытания, проведенные Военной академией тыла и транспорта, показали, что цементогрунт с данной добавкой обладает повышенной адгезией к битуму (напряжение на отрыве составило от 0,12 МПа для низковязких битумов и до 0,25 МПа для высоковязких).

Применение полимеров Nicoflok способствует:

- улучшение физико-механических характеристик дорожных одежд (покрытий), а следовательно, и потребительских свойств;

- увеличение сроков службы дорожных одежд (покрытий);
- исключение появления колейности;
- значительное снижение появления отраженных трещин;
- получение экономического, социального, экологических эффектов за счет исключения закупок и расходов на их транспортировку, что способствует сокращению бизнес-партнеров, что в свою очередь повышает эффективность использования средств.



Рис. 5.13. Строительство оснований и покрытий из полимерцементогрунтовых смесей с применением ресайклера

Одним из методов строительства оснований и покрытий автомобильных дорог (промышленных площадок, автомобильных стоянок, тротуаров и т.п.) из полимерцементогрунтовых смесей с добавкой полимерно-минеральной композиции на основе ретиспергируемых полимерных порошков и минеральных наполнителей Nisoflok (далее по тексту ПЦГС) является метод основанный на применении грунтосмесительных машин - ресайклеров. Рекомендуется применение холодного ресайклера WR 4500 фирмы Wirtgen (Германия), рис. 5.13.

Расчет и строительство оснований и покрытий из ПЦГС, приготовленной методом смешения на месте, состоит из следующих повторяющихся технологических операций:

- Подготовка строительной площадки, оборудования, машин и механизмов, материалов для производства ПЦГС.

- Приготовление ПЦГС методом смешения на месте (холодный ресайклинг).

Укладка ПЦГС,

- Уплотнение ПЦГС с обеспечением проектных отметок и уклонов.
- Уход за созреванием смеси.

Подготовка строительной площадки, оборудования, машин и механизмов, материалов для производства ПЦГС

Не менее чем за 10 дней до начала строительства рекомендуется провести подбор состава ПЦГС. Одновременно с этим производится пробное производство смеси методом смешения на месте, пробную укладку и уплотнение слоя, с целью уточнения технологических операций.

В это же время необходимо завершить доставку и складирование полимерно-минеральной композиции и цемента на приобъектном складе.

Подготовить земляное полотно (грунтовое основание) - обеспечить проектные отметки, уклоны и плотность. Основание должно соответствовать требованиям СНиП 3.06.03-85 по ровности и прочности и быть принято по акту скрытых работ. Место производства работ оградить в соответствии с требованиями ВСН 37-84 по схеме согласованной с соответствующими органами, или исключить транзитное движение полностью.

Необходимо учитывать, что производство работ по устройству слоев ПЦГС методом смешения на месте можно начинать только после установления постоянных среднесуточных положительных температур воздуха в районе строительства, оттаивания и просушивания рабочего слоя земляного полотна (грунтового основания). Производство работ необходимо заканчивать не ранее чем за 10 суток до установления постоянных отрицательных температур. В любом случае, до замерзания укрепленный материал должен набрать 70% проектной прочности.

Подготовка полимерно-минеральной композиции Nisoflok, цемента состоит в завозе и складировании материалов на приобъектном складе. Полимерно-минеральная композиция Nisoflok завозится в таре заводского изготовления со станции, принимающей контейнеры.

Nicoflok загружается в емкость ресайклера вручную. Цемент подвозится цементовозами и загружается пневмотранспортерами. Вода завозится поливомоечной машиной из естественных водоемов и закачивается насосом в емкость.

Приготовление ПЦГС методом смешения на месте (холодный ресайклинг). Укладка ПЦГС

WR 4500 создавалась как специальная машина для холодного ресайклинга. Ее ходовая часть - с двигателем мощностью 550 кВт, четырехгусеничная, с гидроприводом на каждую тележку. Рабочая масса этого ресайклера составляет 80 т. Ширина фрезерования - от 3000 до 4500 мм. Глубина фрезерования - 0...500 мм.

Основную фрезу дополняют: приемный бункер для минеральных материалов (3 м³); бункер для цемента (8 м³); водяной бак (3200 л); вспомогательная фреза с изменяемой шириной резания; расположенный вдоль машины двухвальный смеситель длиной 2000 мм; растворный узел для получения цементно-водной суспензии; системы дозирования цемента, полимерной добавки, воды; шнек для распределения ПЦГС и раздвижная уплотняющая плита. Площадка оператора расположена над шнеком в конце машины.

Дневная производительность машины составляет около 8000 м². Запаса материалов в самом ресайклере хватает на 1000 м². Дозаправка выполняется из поливомоечной машины, цементовоза. Оптимальная скорость производства и укладки смеси составляет 4,0 м/мин.

ПЦГС укладывается в один проход. Толщины слоя обрабатываемого грунта определяется расчетом дорожной одежды, но не должна быть менее 18 см.

Укладку слоя целесообразно вести на всю ширину покрытия (основания), исключая необходимость создания продольного шва сопряжения полос покрытия.

Дозированием цемента и полимерно-минеральной композиции с учетом скорости машины управляет электронный блок, который принимает входные сигналы с датчиков скорости и расходомера, воспроизводит их значения и значение нормы добавки на экране, управляет производительностью подачи и дает световой предупреждающий сигнал в случае, когда скорость машины не соответствует

подаче. При остановке работ подача автоматически перекрывается, что исключает передозировку.

После укладки ПЩГС возможно выполнение чистовой планировки поверхности слоя автогрейдером.

Уплотнение ПЩГС с обеспечением проектных отметок и уклонов

Требуемый коэффициент уплотнения смеси определяется по СНиП 2.05.02-85 и СНиП 3.06.03-85, но во всех случаях не должен быть ниже 0,98.

Гладковальцовые катки для основного уплотнения смеси не применяются. Такие катки можно использовать для предварительной подкатки, предварительного уплотнения краевых полос.

Уплотнение смеси следует начинать непосредственно за укладчиком после распределения смеси на участке 5-10 м. Оптимальная длина захватки, на которой работают все катки в заданной очередности составляет 120-150 м.

Оптимальный отряд уплотняющей техники: легкий каток 2,5 тонны, средний каток 8 тонн (ДУ-100 без балластировки), тяжелый каток 14 тонн (ДУ-100 с балластировкой).

В любом случае, вес катков (а также состав отряда) может быть подобран соответственно подвижности смеси предварительными проходами. Катки не должны образовывать поперечные и продольные волны на поверхности слоя. Работу более легкого катка на захватке можно закончить, если идущий следом более тяжелый каток не создает волну на поверхности, подготовленной легким катком.

При уплотнении отрядом катков следует обеспечить плотность слоя, ровность поверхности, проектные уклоны и отметки.

Очередность движения уплотняющей техники: легкий, средний, тяжелый катки. Скорость продвижения отряда равна скорости движения укладчика.

Для обеспечения проектных поперечных уклонов все катки начинают уплотнение от краевых полос. Поперечное перекрытие следов - треть ширины одного пневматика.

Продольное продвижение катка по одному следу - треть длины следа пневматика. В этом случае каток не создает волны при наезде на уплотненную впереди катка смесь, а также сзади отпечатка пневматика при остановке и реверсе назад.

Предварительно следует определить количество проходов катков имеющегося отряда путем пробного уплотнения на пионерной захватке.

Уплотнение заканчивать по мере достижения требуемого коэффициента уплотнения. Для этого необходимо выполнять лабораторное сопровождение.

При перерывах в работе устройство захватки должно быть полностью закончено, а катки удалены с уплотняемой полосы. При дождливой погоде работы следует прекратить, а свежеложенный слой защитить слоем песка или грунта толщиной 5-7 см.



Рис. 5.14. Укладка ПЦГС

Уход за созреванием смеси

Уход состоит в обеспечении твердения материала при благоприятном термовлажностном режиме, в нарезке деформационных швов и их заделке для предотвращения проникновения атмосферных и поверхностных вод.

Обеспечение термовлажностного режима твердения целесообразно проводить путем покрытия уплотненного слоя нетканым материалом "Дорнит" с поливкой его водой. Материал многоразового использования, по мере продвижения строительства и окончания срока ухода за предыдущими захватками он перекладывается на последующие захватки.

Слой должен быть влажным при твердении минимум 5 суток после укладки. По достижении прочности слоя 70% от проектной, уход с поливкой водой можно прекратить.

Нарезка деформационных швов производится с целью предотвращения образования неконтролируемых усадочных трещин. Направление и форма трещин непредсказуема, в силу чего их следует провоцировать. Швы нарезают с шагом, равным ширине слоя, тем самым, создавая плиты, равнопрочные по периметру. Глубина шва может быть от 0,5 до 0,75 толщины слоя. Время нарезки швов определяется временем набора прочности на сжатие в 2.0 МПа (ориентировочно 3 суток, т.е. времени открытия движения легкого транспорта по покрытию), но не позже 10 суток со дня укладки слоя.

После набора 70% прочности проводится герметизация швов. Мастику или герметизирующий материал выбирают любой, отвечающий требованиям ГОСТ 30740-2000 "Материалы герметизирующие для швов аэродромных покрытий". Возможно применение мастик по ГОСТ 30707-95, ГОСТ 24064-80. 10296-79, 14791-79, 15836-79, ГОСТ 4.224-83 в соответствии с их классификацией по ГОСТ 25591-83.

Перед вводом герметика в шов его чистят и сушат струей воздуха из компрессора. Герметик вводится инжектором с соплом диаметром 5 мм на всю глубину шва.

Основные положения по обеспечению качества работ

Контроль качества строительных работ при расчете и устройстве оснований и покрытий из грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полимерно-минеральной композиции на основе редиспергируемых полимерных порошков и минеральных наполнителей Nicosflok, следует осуществлять в соответствии с требованиями СНиП 3.06.03-85. При этом особое внимание следует обращать на:

- контроль гранулометрического состава грунта, его насыпной плотности и естественной влажности. Испытанный и подобранный состав ПЦГС относится только для грунта определенного гранулометрического состава и не может быть распространен на другие грунты. Значения насыпной плотности и естественной влажности грунта определяют необходимое количество вводимого в грунт портландцемента и полимерно-минеральной композиции Nicosflok, необходимое количество добавляемой воды для достижения ПЦГС оптимальной влажности. Несо-

блюдение этих требований приведет к нарушению рецептуры ПЦГС, что сделает невозможным достижение проектных прочностных показателей конструктивного слоя.

- контроль качества смеси. Необходимо постоянно контролировать тщательность перемешивания и точность дозирования всех компонентов смеси: грунта, воды, портландцемента и полимерно-минеральной композиции Nisoflok. Смесь должна быть однородной. Проектные прочностные показатели конструктивного слоя обеспечиваются применением только однородной смеси и только заданной рецептуры. Не допускается выпуск смеси с влажностью не соответствующей оптимальной.

- контроль качества укладки и уплотнения ПЦГС. Необходимо контролировать толщину укладываемого слоя. Не допускается уменьшение толщины слоя ПЦГС, так как это соответственно приведет к снижению прочностных показателей конструктивного слоя. Уложенная и спрופилированная смесь должна быть сразу уплотнена при оптимальной влажности до коэффициента уплотнения не ниже 0,98. Недоуплотненная и недоувлажненная смесь не будет обладать проектными прочностными показателями.

- контроль качества ухода за уложенным слоем. Необходимо обеспечить безусловное соблюдение оптимального влажностного режима уплотненной смеси в период набора проектной прочности. Потеря влаги на протяжении первых пяти суток приведет к резкому снижению прочностных показателей конструктивного слоя. Необходимо исключить какое-либо движение по уплотненному слою ПЦГС пока им не будет набрана необходимая прочность.

Выполнение данных рекомендаций возможно только при условии непрерывного контроля качества всех технологических этапов производства, укладки, уплотнения смеси и ухода за уложенным слоем. Для этого на строительной площадке должна быть оборудована лаборатория в соответствии с требованиями "Технических спецификаций на виды работ при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений на них" (подготовлены РосдорНИИ, Утверждены распоряжением Росавтодор от 23.10.2000 г. №177-р), а

также "Положения о службе лабораторного контроля" Росавтодора, утвержденного распоряжением Минтранса № ИС 562-р от 27.06.2002 г.

Несоблюдение основных требований по контролю качества работ, равно как и нарушение технологии строительства дорог, приведут к невозможности достижения проектных прочностных показателей устраиваемого конструктивного слоя.

Сводная ведомость полученных результатов

Результаты всех лабораторных работ на отдельных участках дорог представлены в сводной ведомости, представленной в таблице 5.3.

Таблица 5.3.

Сводная ведомость прочностных и деформационных характеристик грунтов.

Добавки/Грунты		Грунт + цемент Среднее значение параметров	Грунт + цемент + Nicoflok Среднее значение параметров
Глина легкая, пылеватая, твердой консистенции, непросадочная. (а/д "Убинское - Асенкритово")	W _{опт}	C	-
		φ	41,3
		E _{впр}	115
		ε _H	<0,01
	W _{вод}	ε _{м.п.}	0,01
		C	-
		φ	40,0
		E _{впр}	115
Супесь песчанистая, твердой консистенции, непросадочная. (а/д "370 км а/д К17р - Калиновка")	W _{опт}	C	-
		φ	60,2
		E _{впр}	296
		ε _H	<0,01
	W _{вод}	ε _{м.п.}	0,027
		C	-
		φ	56,4
		E _{впр}	247
Супесь песчанистая, твердой консистенции, непросадочная. (а/д "БаганИвановка-Подольск")	W _{опт}	C	-
		φ	52,4
		E _{впр}	296
		ε _H	<0,01
	W _{вод}	ε _{м.п.}	0,02
		C	-
		φ	53,5
		E _{впр}	285
Суглинок легкий, пылеватый, полутвердой консистенции, с содержанием органики 4%. (а/д "ИнскаяБарышево-Садовод")	W _{опт}	C	-
		φ	53,0
		E _{впр}	155
		ε _H	<0,01
	W _{вод}	ε _{м.п.}	<0,01
		C	-
		φ	52,6
		E _{впр}	103
Суглинок легкий, пылеватый, полутвердой консистенции, с содержанием органики 2%. (а/д	W _{опт}	C	-
		φ	51,3
		E _{впр}	207

"109 км а/д К16 Буготак-Репьево")		ε_H	<0,01	<0,01
		$\varepsilon_{м.п.}$	<0,01	<0,01
$W_{вод}$	C	-	-	
	φ	48,7	52,4	
	$E_{впр}$	124	207	

Примечание: 1) $W_{опт}$ - оптимальная влажность; $W_{вод}$ - полное водонасыщение; 2) C - удельное сцепление (МПа); $E_{упр}$ - модуль упругости (МПа); φ - угол внут реннего трения (град); $\varepsilon_{м.п.}$ - относительная набухаемость; $\varepsilon_{м.п.}$ - относительная пучинистость.

Большинство смесей при увлажнении до оптимальной влажности и уплотнении до максимальной плотности имеют степень водонасыщения, близкую к единице ($SR \approx 1$) и при полном водонасыщении не принимают воду. К тому же в этом случае характеристики грунтов в естественном и водонасыщенном состояниях схожи и изменяются в пределах допустимого разброса в ту или иную сторону. Поэтому для таких смесей было принято решение вести дальнейшую статистическую обработку результатов испытаний совместно для естественного и водонасыщенного состояний. Это распространяется и на смеси, содержащие цемент, т.к. вода не ухудшает свойства грунта имеющего прочные цементные связи частиц.

5.8. Укрепление грунтов полимерной эмульсией М10+50

Укрепленные полимерной эмульсией М10+50, применяемые для устройства рабочего слоя земляного полотна, слоев несущего основания и дополнительных слоев оснований, а также покрытий во 2-5 дорожно-климатических зонах М10+50 – жидкое полимерное вяжущее на основе акрилового сополимера, применяется в дорожном и аэродромном строительстве для укрепления супесей, песков и крупнообломочных грунтов. Обработка грунтов эмульсией М10+50 позволяет:

- повысить плотность;
- понижить влажность (в том числе оптимальную);
- снизить степень набухания и морозного пучения;
- увеличить модуль упругости, прочностные характеристики и водонепроницаемость;
- повысить водо- и морозостойкость;
- снизить стоимость строительства.

Образование конденсационных (конденсационно-коагуляционных) связей в укрепленном эмульсией грунте происходит в результате распада эмульсии и по-

лимеризации акрилового сополимера. Оптимальными условиями для распада эмульсии и формирования структурных связей в укрепленном грунте являются высокая температура воздуха и низкая влажность

Полимерную эмульсию M10+50 можно применять совместно с полимерным стабилизатором LBS и минеральными вяжущими с целью повышения прочности и морозостойкости укрепленных грунтов.

Принцип действия. При внесении водного раствора LBS в грунт обеспечивается необратимое изменение физико-механических свойств грунта за счет химического воздействия, путем ионного замещения пленочной воды на поверхности пылеватых частиц молекулами стабилизатора, которые обладают водоотталкивающим действием. Пленочная вода, в результате уплотнения обработанного глинистого грунта, легко выводится из него, а этот слой переводится в непучинистое состояние и может быть использован в качестве рабочего слоя дорожной одежды.

Улучшенный таким образом грунт становится более прочным и практически водонепроницаемым, что делает его устойчивым к воздействию любых климатических условий и способным воспринимать увеличенную полезную нагрузку даже в условиях длительных, обильных осадков.

Опыт применения показывает, что высоко-пластичные глинистые грунты, для высушивания которых до оптимальной влажности требуется несколько суток, в результате обработки высыхают и могут быть уплотнены в течении 24 часов.

Строительство дорог с совместным применением материалов M10+50 и LBS.

В случае двух стадийного строительства или устройства технологических путей, земляное полотно с рабочим слоем из грунта, стабилизированного LBS, и имеющего покрытие из песчано- гравийной смеси (ПГС) или модифицированного грунта, укрепленных M10+50, не нуждается сразу в устройстве капитально покрытия и пригодно для эксплуатации. Кроме того, такая технология позволяет резко сократить сроки и затраты материалов на строительство таких дорог и получить высокий экономический эффект. Применение стабилизаторов

ENVIROSEAL позволяет значительно увеличить межремонтные сроки эксплуатации дорог, рис. 5.15, 5.16.

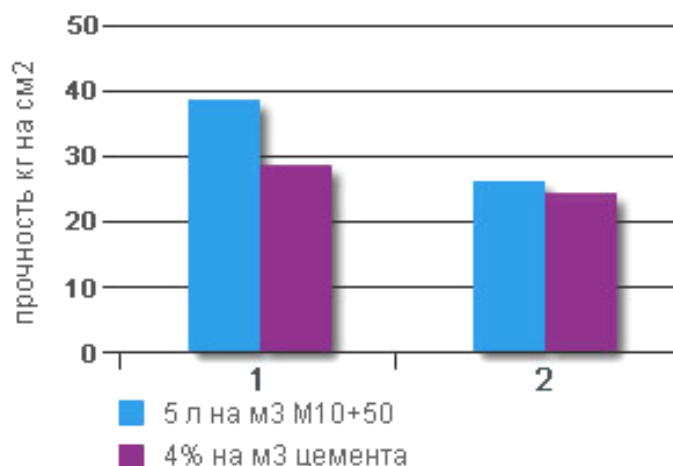


Рис 5.15. Зависимость прочности укрепленного мелкого песка от вида вяжущего 1-при оптимальной влажности; 2-после капиллярного водонасыщения

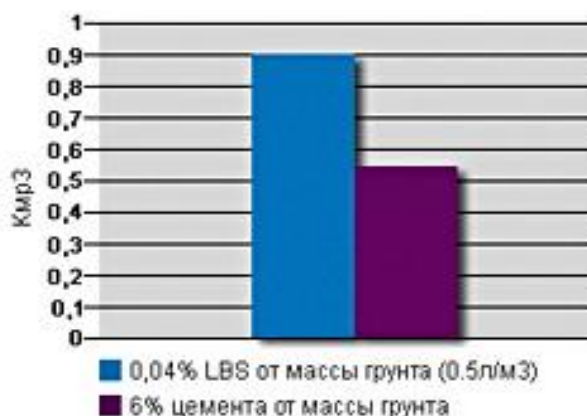


Рис. 5.16. Коэффициент морозостойкости укрепленной супеси

5.8.1. Технология строительства

Технология строительства конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, обработанных эмульсией M10+50, аналогична традиционной и не требует дополнительной техники. Обрабатывать грунты эмульсией можно как в установке (типа ДС-50), так и методом смешения на дороге, используя ресайклеры, стабилизеры, навесные фрезы, автогрейдер.

Работам по укреплению грунта должны предшествовать мероприятия по обеспечению надлежащего водоотвода с устройством водоотводных канав и люков.

Технология укрепления грунта включают следующие операции:

1. Планировка обрабатываемого слоя грунта с приданием поперечного и продольного уклонов.

2. Измельчение грунта на расчетную глубину 25-30 см фрезой.

Оптимальная влажность измельчения глинистых грунтов составляет $0,2-0,4 W_t$, где W_t – влажность грунта на границе текучести. При естественной влажности грунта ($W_{ест}$) выше оптимальной ($W_{опт}$) его следует подсушить до влажности, позволяющей ввести раствор стабилизатора ($\sim 0,8 W_{опт}$). Сухой грунт до начала измельчения следует увлажнить раствором стабилизатора до влажности равной $0,2-0,4 W_t$.

3. Распределение раствора М10+50.

Концентрацию эмульсии определяют подбором. Количество раствора М10+50 (Р) определяют по формуле: $P = W_{ест} - W_{опт}$. Раствор эмульсии распределяют равномерно по всей площади обрабатываемого грунта.

4. Перемешивание грунта с раствором эмульсии фрезой.

Количество проходов фрезы назначают из условия равномерного распределения раствора полимерной эмульсии и отсутствие сухих агрегатов грунта.

5. Планировка обработанного слоя грунта.

6. Уплотнение конструктивного слоя дорожной одежды.

7. Чистовая планировка.

8. Устройство вышележащего слоя дорожной одежды.

ПРИМЕЧАНИЯ:

1. Для равномерности распределения раствора М10+50 в слое измельченного грунта и снижения вероятности его потери (пропитка слоя на глубину более проектной) рекомендуется раствор эмульсии распределять в два приема, в данном случае операции 3 и 4 следует повторить дважды.

2. При приближающихся осадках обработанный грунт следует уплотнить и придать поперечный уклон, при возможности укрыть полиэтиленовой пленкой, после выпадения осадков работы продолжить, а при необходимости грунт подсушить до оптимальной влажности.

3. Для защиты укрепленного слоя грунта от осадков необходимо сразу устраивать вышележащие слои дорожной одежды или нанести пленкообразующие материалы (например битумную эмульсию).

4. Применение при производстве работ специального оборудования, такого как ресайклеры (стабилайзеры) позволяет значительно улучшить качество стабилизационных работ и сократить сроки их выполнения.

5.8.2. Транспортирование обработанных грунтов.

Обработанные грунты (приготовленные в установке) перевозят автотранспортом. Перед уплотнением обработанный грунт необходимо проверить на соответствие оптимальной влажности и, в случае ее несоответствия, выполнить работы по увлажнению или осушению грунта. Осушение грунта следует проводить только методом многократно рыхления при сухой солнечной или сухой ветреной погоде.

5.8.3. Техника безопасности

При проведении работ с применением полимерной эмульсии следует руководствоваться требованиями главы СНиП III.4-80 и «Правилами техники безопасности при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог», утвержденными Министерством транспортного строительства 29.04.77г., правил техники безопасности, изложенных в инструкциях по эксплуатации соответствующих установок и машин и настоящего стандарта.

Рабочие, занятые на работах по укреплению грунта, должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты, согласно отраслевым нормам.

При подготовке водного раствора обслуживающий персонал должен обеспечиваться защитными очками, резиновыми перчатками, брезентовой спецодеждой, непроницаемыми передниками, респираторами, резиновой обувью.

При попадании материала М10+50 на кожу, его необходимо смыть большим количеством воды с мылом.

При приготовлении раствора эмульсии, а также во время работ с применением М10+50, рабочие должны находиться с наветренной стороны, а машины перемещаться так, чтобы водители и машинисты как можно меньше находились в подветренной зоне, содержащей пыль и капли раствора.

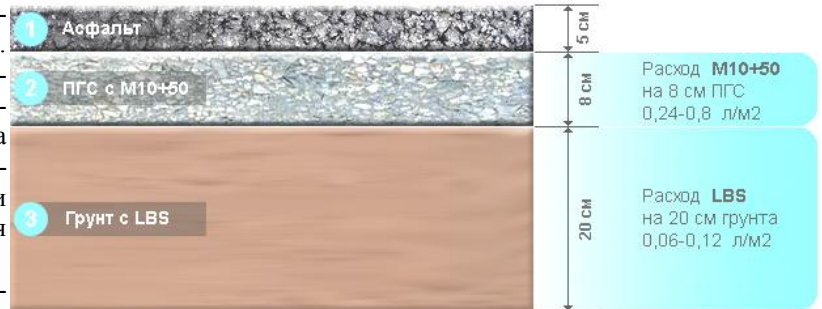
Ниже приведены варианты конструкций дорожных одежд со слоями из укрепленных грунтов и улучшенными прочностными показателями. Экономический эффект составляет до 15 % по сравнению с традиционной конструкцией дорожной одежды.

1. Вариант (для рабочего слоя земляного полотна, устроенного из глинистых грунтов)

1. верхний слой покрытия из мелкозернистой плотной **асфальтобетонной** смеси типа В (Г) 1 марки по ГОСТ 9128-97 – 5см или двойная поверхностная обработка (битум или битумная эмульсия + фракционный щебень) – 1-2 см.;

2. верхний слой основания из супеси, песка или песчано-гравийной смеси (ПГС), укрепленной полимерной эмульсией **M10+50** в количестве 0.2-0.5% от массы грунта (3-10 л/м³) в комбинации с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса и т.д.). Совместное применение полимерной эмульсии M10+50 и минеральных вяжущих увеличивает прочность укрепленного слоя на растяжение при изгибе на 30-40 %, т.е обеспечивается дополнительная эластичность и долговечность этого конструктивного слоя и дорожной одежды в целом.

3. нижний слой основания из супеси, суглинка, обработанного **LBS** в количестве 0,02-0,04% от массы грунта (0.3-0.6 л/м³) - 20см. Полимерный стабилизатор глинистых грунтов LBS также может успешно применяться совместно с минеральными вяжущими, что не только улучшает физико-механические характеристики стабилизированного слоя, но и обеспечивает выполнение требований ГОСТ 30491-97 и ГОСТ 23558-94.



2. Вариант (для рабочего слоя земляного полотна, устроенного из глинистых грунтов)

1. покрытие из песчано-гравийной или щебено-песчаной смеси, укрепленной полимерной эмульсией M10+50 в количестве 0.2-0.5% от массы грунта (3-10 л/м³) – 10 см с поверхностной пропиткой M10+50;

2. нижний слой основания из супеси, суглинка, обработанного LBS в количестве 0,02-0,04% от массы грунта (0.3-0.6 л/ м³) - 20см.



3. Вариант (когда рабочий слой земляного полотна устроен из песка, или песчано-гравийной смеси)

1. верхний слой покрытия из мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа В (Г) 1 марки по ГОСТ 9128-97 – 5см или двойная поверхностная обработка (битум или битумная эмульсия + фракционный щебень) – 1-2 см.;

2. верхний слой основания из песка или песчано-гравийной смеси, укрепленной полимерной эмульсией М10+50 в количестве 0.2-0.5% от массы грунта (3-10 л/м³) – 10 см;



4. Вариант (когда рабочий слой земляного полотна устроен из песка, или песчано-гравийной смеси)

покрытие из песчано-гравийной или щебеночно-песчаной смеси, укрепленной полимерной эмульсией М10+50 в количестве 0.2-0.5% от массы грунта (3-10 л/м³) совместно с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса и т.д.) -15 см с поверхностной (финишной) обработкой водным раствором М10+50 (250 мл/м кв).



Примечание:

1. Требования к грунтам земляного полотна (рабочего слоя) те же, что и для дорог 1-3 технических категорий.
2. Подбор составов укрепленных грунтов М10+50 для покрытия выполняют с учетом обеспечения надлежащей истираемости.
3. Расход стабилизатора и полимерной эмульсии определяют лабораторным подбором смеси в зависимости от типа, естественной влажности грунтов и требований стандартов для соответствующих конструктивных элементов дороги.
4. В целях увеличения межремонтных сроков и срока эксплуатации дорожной одежды данного вида, рекомендуется устройство слоя покрытия из асфальтобетона (5см).

Конструкции дорожных одежд с применением грунтов, укрепленных стабилизаторами enviroseal

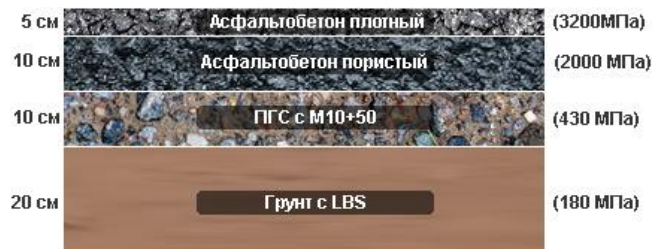
Автомобильные дороги 3 технической категории ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ

(Альбом типовых дорожных одежд для автомобильных дорог, МОДН 2-2001 «Проектирование не жестких дорожных одежд»)



- Верхний слой покрытия:**
Асфальтобетон плотный - 5см (расчетный модуль упругости 3200 МПа);
 - Нижний слой покрытия:**
Асфальтобетон пористый - 10см (2000 МПа);
 - Основание:**
Щебеночно-песчано-гравийная смесь (СЗ)* - 30 см (280 МПа)
 - Дополнительный слой основания:**
Песок средней крупности - 30см (120 МПа) .
- * Взамен смеси СЗ для основания используют щебеночный слой по методу заклинки – 30 см (80% - щебень фр. 40-70 мм и 20%

ПРЕДЛАГАЕМАЯ КОНСТРУКЦИЯ



- Верхний слой покрытия:**
Асфальтобетон плотный - 5см (расчетный модуль упругости 3200 МПа)
- Нижний слой покрытия:**
Асфальтобетон пористый - 10см (2000 МПа);
- Основание:**
Щебеночно-песчано-гравийная смесь (песчано-гравийная смесь или песок), укрепленная М10+50 в комбинации с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса)
- Рабочий слой земляного полотна:**
Местный глинистый грунт, обработанный полимерным стабилизатором LBS, который может применяться как самостоятельно, так и совместно с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса)

Автомобильные дороги 4 технической категории



- Поверхностная обработка:**
Черный щебень или асфальтобетон - 5см (расчетный модуль упругости 3200 МПа);
- Основание:**
Подобранная песчано-гравийная смесь: – 50 см (180 МПа).
Основание из ПГС можно заменить на местный грунт, укрепленный минеральными вяжущими (8-14% цемента от массы грунта) – 20см.



Вариант 2.



- Поверхностная обработка:**
Битумная эмульсия с россыпью фракционного щебня - 1-2 см;
- Основание:**
Песчано-гравийная смесь, укрепленная М10+50 в комбинации с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса) - 15 см (430 МПа)

Вариант 2.

- Поверхностная обработка: или слой покрытия (Асфальтобетон - 5 см)**
Битумная эмульсия с россыпью фракционного щебня - 1-2 см;
- Основание:**
1-ый слой
Местный глинистый грунт, обработанный LBS совместно с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса) и добавлением щебня фракции 20-40 до 50 % - 20 см
2-ой слой
Местный глинистый грунт, обработанный LBS - 20 см

5.9. Укрепление грунтов геосинтетическими материалами

Конструкций дорожных одежд обеспечивающие ровность, безопасность и непрерывность движения транспорта должны так же в какой-то мере компенсировать некачественное уплотнение грунтов земляного полотна, изменения их де-

формационных и прочностных характеристик в период эксплуатации автомобильных дорог. Роль геосинтетических материалов в устройстве конструкций дорожных одежд и земляного полотна заключается в том, что эти материалы могут выполнять функции арматуры, дренажа или фильтра.

Без качественного и прочного основания покрытие любой толщины не гарантирует хорошее транспортно-эксплуатационное состояние дороги.

Одним из наиболее эффективных путей повышения прочности и долговечности дорожных одежд может служить армирование несущего слоя основания из щебня. Армирование щебня позволяет значительно улучшить качество его уплотнения в ходе строительства.

Армирующий эффект основан на способности синтетического материала воспринимать растягивающие напряжения, работая совместно с грунтовым массивом земляного полотна, слоями дорожной одежды (щебень, песок и др.), поскольку грунт и слои дорожной одежды практически не обладают прочностью при растяжении. Совместная работа прослойки с грунтом земляного полотна и слабосвязными слоями дорожной одежды является главной в процессе перераспределения напряжений в основании от временной нагрузки и собственного веса насыпи.

На практике эффект перераспределения напряжений в основании неоднократно подтверждался уменьшением колеиности и снижением осадка насыпи на заболоченных участках местности.

Широкая популярность геосинтетических материалов у дорожных строителей объясняется высокими физико-механическими характеристиками материалов: прочностью, устойчивостью к воздействию климатических и гидрогеологических факторов, долговечностью, экологической безопасностью. Геосинтетика служит от 40 до 120 лет при условии, если материалы были своевременно защищены от воздействия солнечной радиации и не повреждены во время транспортировки и проведения работ.

В настоящее время как в зарубежной, так и в отечественной практике для изготовления геосинтетических материалов в качестве исходного сырья используют синтетические полимеры, придающие геосинтетике водо- и морозостойкость,

коррозионную устойчивость, малый вес и высокую прочность на растяжение.

В НПО "Протэкт", например, геосинтетические материалы производятся методом экструзии. Материалы, произведенные этим же методом в странах Европы, прочно зарекомендовали себя как за рубежом, так и на российском рынке. Теперь и отечественная продукция ничем не уступает своим заграничным аналогам. Тем не менее, подобная продукция имеет преимущества для российских потребителей - это цена, сроки поставки, отсутствие проблем с таможенным оформлением, гарантированная помощь на местах строительства в процессе применения и многое другое. В настоящий момент на предприятии производится широкая гамма материалов, но уже с нашими, русскими корнями, в названиях! Среди них - геосетки двойного ориентирования "Славрос СД", геосетки моноориентированные (одноосные) "Славрос СО", дренажный композит "Славрос дренаж", а также объемные георешетки.

В нашей стране приведенная ниже классификация геосинтетических материалов находится в стадии разработки. В качестве классификационных признаков выбраны: вид исходного сырья и способ изготовления.

Сплошные геотекстильные материалы это водопроницаемые нетканые, тканые, плетеные и композиционные материалы.

Тканые сплошные геотекстильные материалы состоят из нитей, имеющих взаимно перпендикулярное направление, и различаются между собой видом волокна, числом нитей на единицу площади, а также видом плетения (холстовое плетение, панамское, диагональное и др.).

Нетканые материалы изготавливаются путем наложения волокон друг на друга. В целях их уточнения используются следующие способы: механический (например, сшивание), адгезивный (при помощи связующих материалов), когезивный (например, путем термического воздействия).

Плетеные (вязаные) сплошные материалы состоят из одной или нескольких волоконных композиций, соединенных друг с другом специальной волоконной системой.

Георешетки - изделия, изготовленные из синтетических волокон, пластмассы,

стекловолокна и других материалов, представляющие собой плоские структуры с различными узловыми соединениями и величиной ячеек 10 мм и более.

Перфорированные георешетки - это материалы, изготавливаемые из синтетических рулонных материалов, которые первоначально перфорируются и вытягиваются в одном или двух направлениях (вдоль и поперек). В результате вытягивания молекулы полимеров ориентируются в направлении растяжения. Тем самым повышается прочность по направлению растяжения и, соответственно, уменьшается их относительное удлинение.

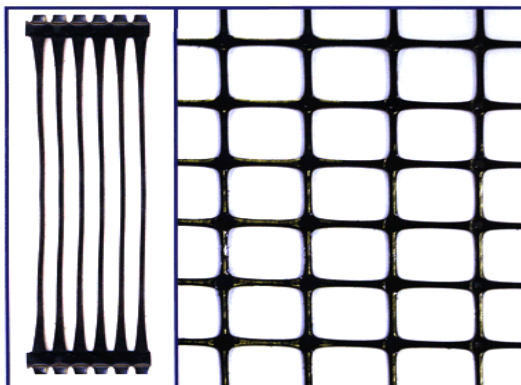
Также существуют **тканые геосетки** (тканые материалы с ячейками размерами более 10 мм); **слоистые геосетки, геосоты**(объемные структуры с различными узловыми соединениями и величиной ячеек 10 мм и более); **композиционные материалы; геомембраны** (сплошные непроницаемые рулонные материалы толщиной от 0,5 до 5 мм - применяются в основном для создания гидроизолирующих прослоек); **дискретные элементы; геоконтейнеры; геоматы; габионы; геотубы...**

Таким образом, геосинтетические материалы - это достаточно большая группа полимерных материалов, предназначенных для улучшения физических, механических и гидравлических характеристик грунтов. Зачастую геосинтетики обеспечивают единственно возможное решение при строительстве автомобильных и железных дорог, дамб, плотин, мостов и других искусственных сооружений. Использование этих материалов сокращает объемы и сроки земляных работ, помогая качественно реализовать тот или иной проект.



Надо отметить, что благодаря модельным и натурным экспериментальным исследованиям, которые были проведены специалистами кафедры "Аэродромы и

дороги (основания и фундаменты)" Военного инженерно-технического университета, удалось сделать некоторые выводы в пользу синтетических георешеток. Целью этих исследований было определение эффективности армирования нежестких дорожных одежд такими материалами. На экспериментальных участках устраивалась неармированная дорожная одежда и одежда, армированная георешетками типа "Славрос СД".



Одноосные георешетки

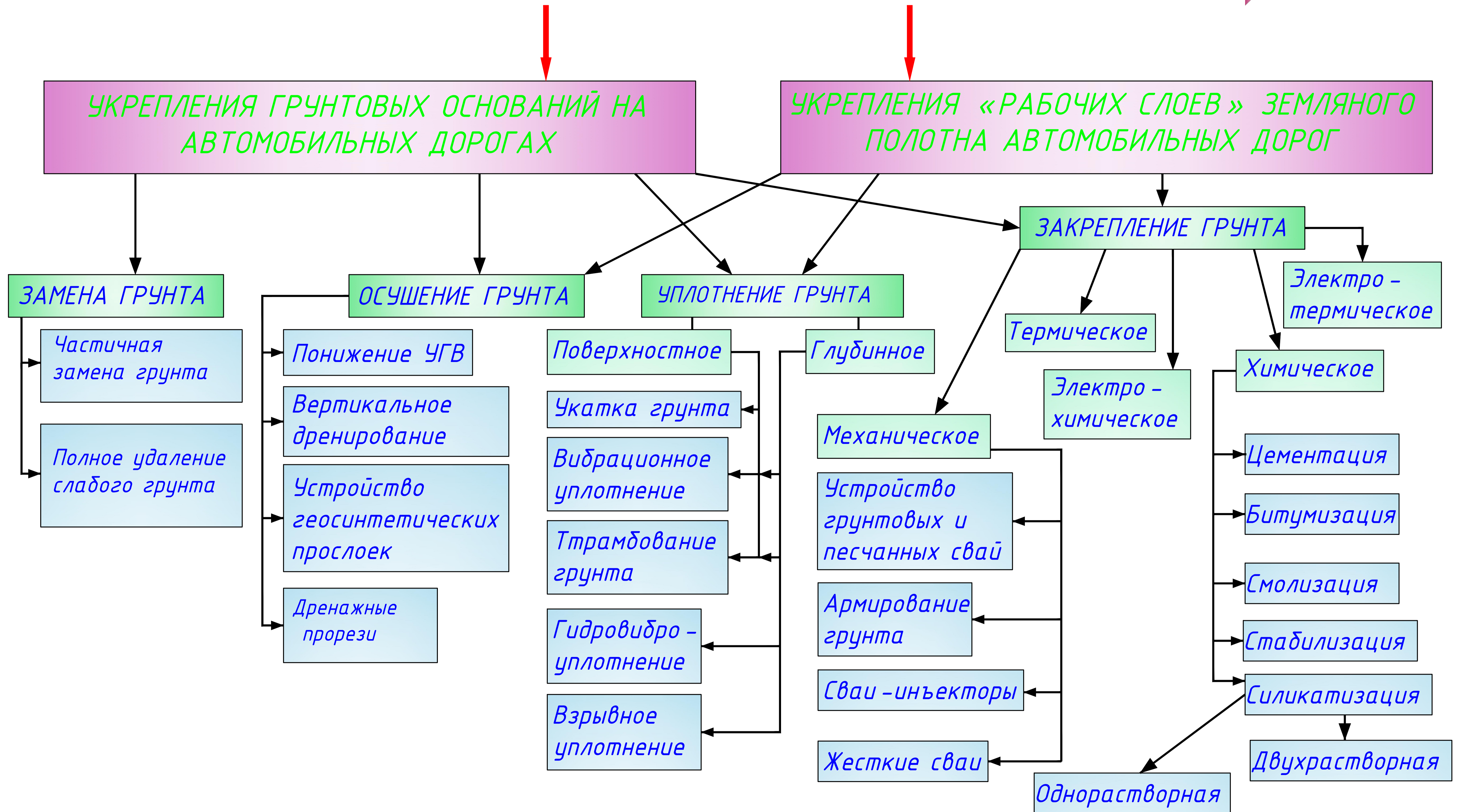
Двухосные георешетки

Список литературы

1. Безрук В.М. Основные принципы укрепления грунтов. - М.: Транспорт, 1987.
2. Пособие "Пособия по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах». Минтранса России N ОС-1067-р от 03.12.2003
3. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. - М.: Высш. шк., 1968.
4. Безрук В.М. Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. - М.: Транспорт, 1971.
5. Безрук В.М. Укрепленные грунты. - М.: Транспорт, 1982.
6. Обзорная информация . Автомобильные дороги и мосты. Строительство конструктивных слоев дорожных одежд из грунтов, укрепленных вяжущими материалами. Обзорная информация. Выпуск 3. Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам», М 2007.
7. Линцер А.В. Основы индустриального применения укрепленных грунтов в дорожном строительстве: Дис. д-ра техн. наук. - Тюмень, 1983.
8. Медведев Н.В. Использование гранулированных укрепленных связных грунтов для повышения работоспособности оснований дорожных одежд: Дис канд. техн. наук. - М., 1990.
9. Путилин Е.И. Размельчение глинистых грунтов и влияние агрегатного состава на физико-механические свойства этих грунтов, укрепленных вяжущими материалами. - М., 1968. - (Тр. / Союздорнии; Вып. 25).
10. Васильев Ю.М. Применение комплексно-укрепленных грунтов в условиях севера // Новое в разработке комплексных методов укрепления грунтов при строительстве автомобильных дорог. - М., 1984. - (Тр. / Союздорнии).
11. Добров Э.М., Емельянов С.Н., Федулов А.А. Природа формирования свойств глинистых грунтов с помощью стабилизаторов // Автомоб. дороги: Науч. техн. информ. сб. / ГП «Информавтодор». - М., 2002. - Вып. 2.
12. Кочеткова Р.Г. Улучшение свойств глинистых грунтов стабилизаторами //Автомоб. дороги. - 2006. - № 3.

13. Сасько Н.Ф., Харченко В.И. Исследование прочности грунтовых оснований под слоями из укрепленных грунтов // Стр-во и эксплуатация дорог и мостов. - Киев: Будівельник, 1972. - Вып. 1. - С. 3-7.
14. ТУ 5740-036-01393697-2000. Устройство конструктивных слоев дорожных и аэродромных одежд с использованием ангидрито-силикатного вяжущего (АСВ). - Балашиха: Союздорнии, 2000.
15. Пинус Э.Р., Коновалов СВ., Радин А.М. Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1975.
16. Львович Ю.М., Мотылев Ю.Л. Укрепление откосов земляного полотна автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 1979.
17. Перевозников Б.Ф. Защита автомобильных дорог от опасных гидрометеорологических процессов и явлений. - М., 1993. - (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 1).
18. Перевозников Б.Ф. Откосно-прибрежные укрепления автомобильных дорог. - М., 1993. - (Автомоб. дороги: Обзорн. информ. / Информавтодор; Вып. 5).
19. Методические рекомендации по применению габионных конструкций в дорожно-мостовом строительстве / ООО «Организатор», ФГУП «Союздорпроект». - М., 2001.
20. Актуальные вопросы эрозиоведения: Учеб. пособие / А.Н. Каштанов, М.Н. Заславский, М.Ю. елоцерковский и др.; Под ред. А.Н. Каштанова, М.Н. Заславского. - М.: Колосс, 1984.
21. Швевс Г.И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка. - Л.: Гидрометеиздат, 1974.
22. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. - Введ. 01.05.2006; Введ. впервые. - М.: ФГУП «Стандартинформ», 2006.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ



Зав.каф.	Ф.И.О.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-08.03.01-120869-16		
Руководит.	Глухов В.С.			Укрепление грунтов		
Н.контроль	Корняхин			Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог		
Консульт.	Корняхин			Стадия	Лист	Листов
				ВКР	1	7
Технолог.	Корняхин			Классификация методов усиления грунтов		
Студент	Неведский			ПГУАС кафедра ГДС группа Стр-44		

Комплексный подход к проектированию и строительству насыпей на слабых грунтах

На основе результатов инженерно-геологических обследований намечаются расчетные участки и устанавливаются расчетные параметры слабой толщи и характеристик слагающих ее грунтов

С учетом минимально допустимой высоты наносится красная линия и намечают расчетные поперечники

Проверяется устойчивость основания на расчетных поперечниках

Намечаются варианты конструктивно-технологических решений, обеспечивающих в случае необходимости повышение устойчивости, ускорение осадки или снижение ее величины

Даются рекомендации по наиболее рациональной технологии, механизации и организации работ

Устанавливается минимально допустимая высота насыпи на данном участке, руководствуясь условиями водно-теплового режима, снегозаносимости и исключения упругих колебаний

Определяется расчетом величина осадки на расчетных поперечниках

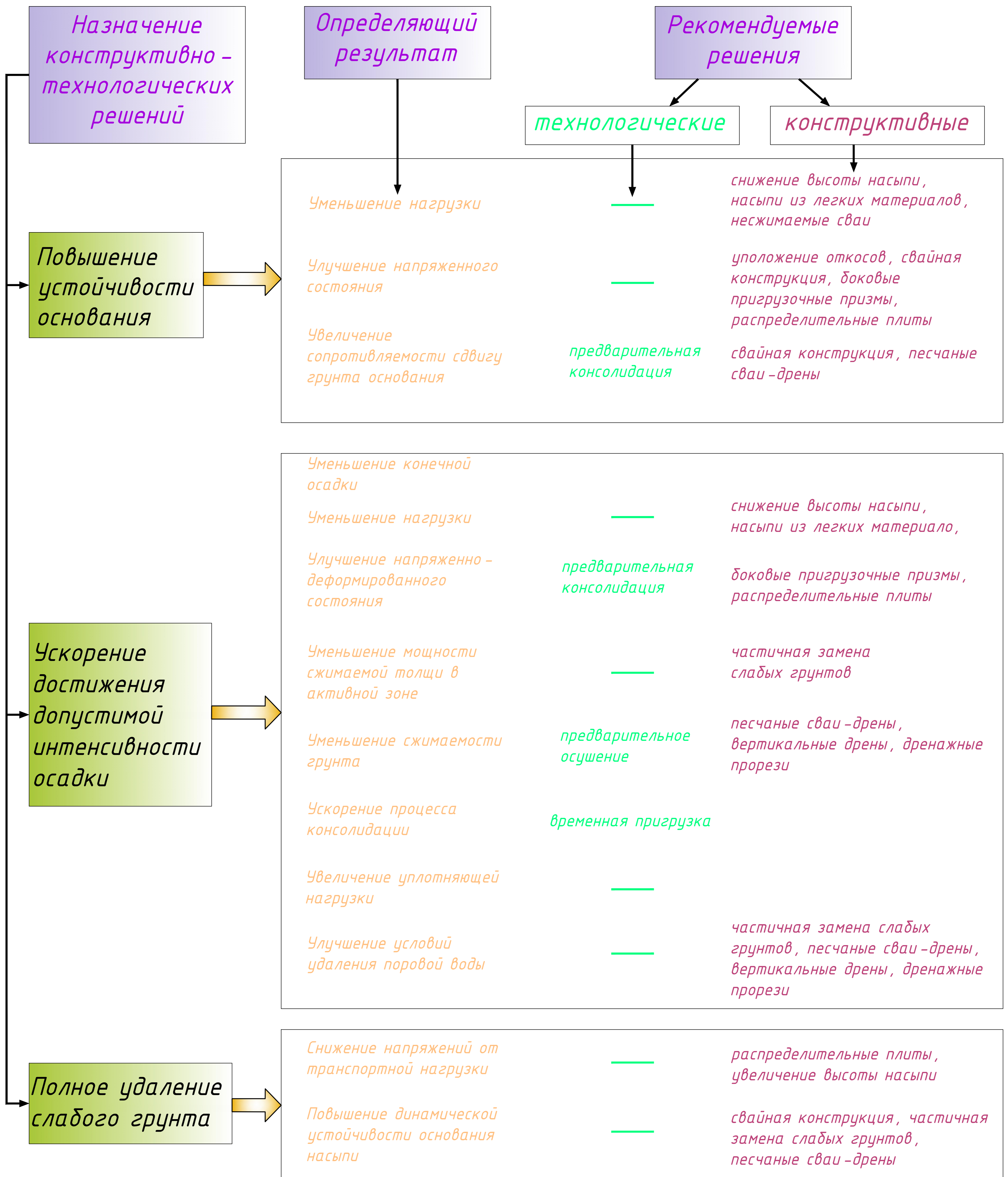
Прогнозируется длительность завершения осадки

выполняются расчеты по этим вариантам и выбирается оптимальный

Выполняются наблюдения в процессе строительства, в том числе и научно-техническое сопровождение и (в случае необходимости) вносятся коррективы в расчеты по фактическим данным с целью уточнения объемов земляных работ, режима возведения насыпи, сроков устройства дорожной одежды и т.д.

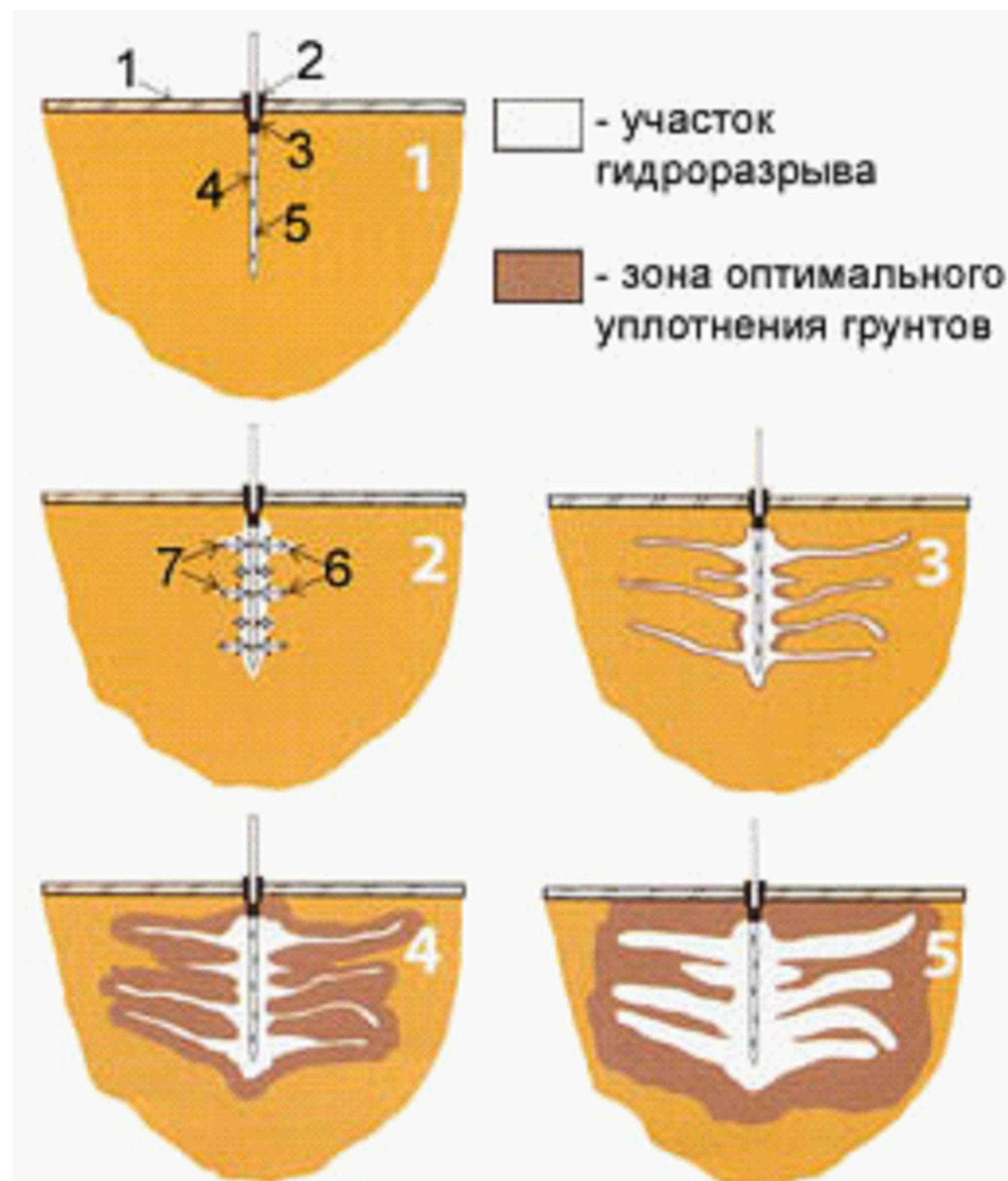
Зав.каф.	Ф.И.О.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-08.03.01-120869-16		
Руководит.	Глухов В.С.			Укрепление грунтов		
Н.контроль	Корнюхин			Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог		
Консульт.	Корнюхин			Стадия	Лист	Листов
				ВКР	2	7
Технолог.	Корнюхин			Схема комплексного подхода		
Конструк.	Корнюхин			ПГЧАС кафедра ГДС группа Стр-44		
Студент	Недведский					

Конструктивно – технологические решения, обеспечивающие возможность использования слабых грунтов в основании насыпи и условия их применения

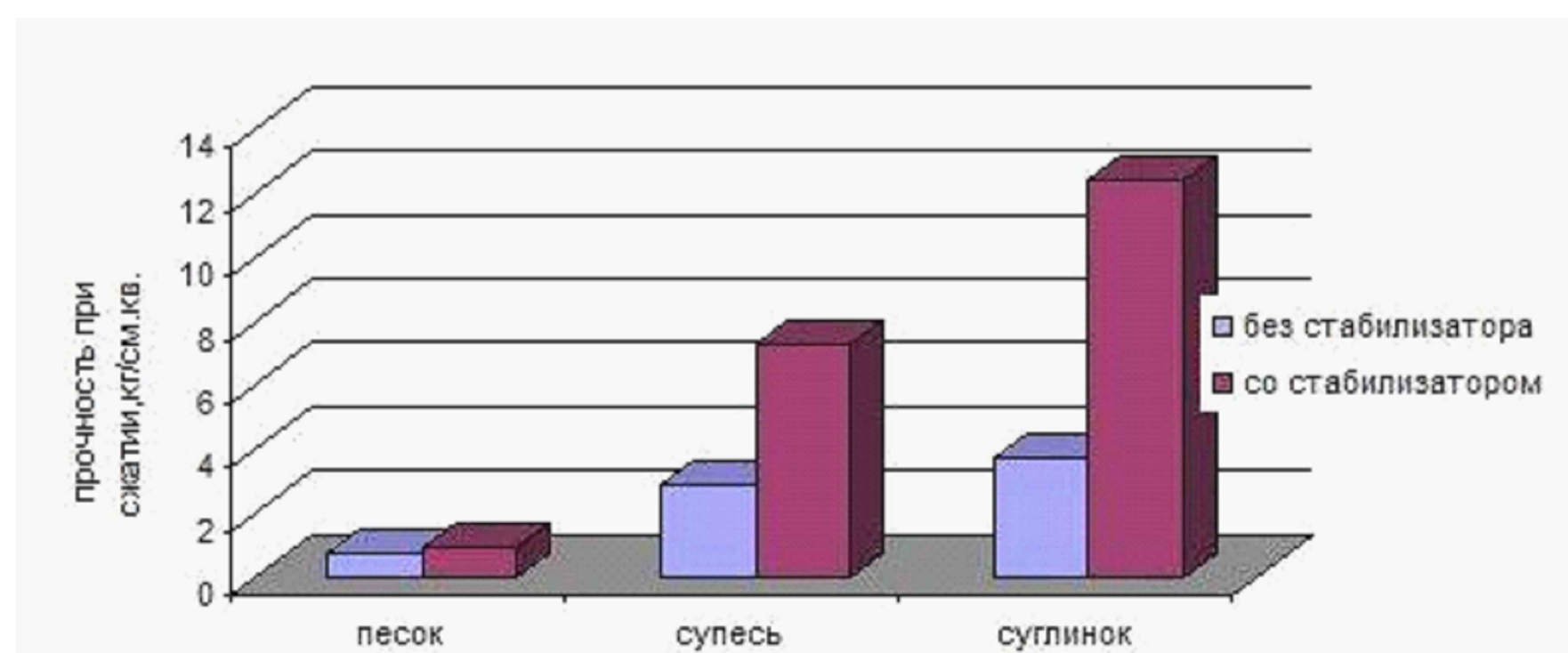


Зав.каф.	Ф.И.О.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-08.03.01-120869-16			
Руководит.	Глухов В.С.			Укрепление грунтов			
Н.контроль	Корнихин						
Консульт.	Корнихин			Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог	Стадия	Лист	Листов
				ВКР	Э	3	7
Технолог.	Корнихин			Конструктивно – технологические решения при выборе способа усиления грунта			
Конструк.	Корнихин						
Студент	Недведский						
				ПГУАС кафедра ГДС группа Спр-44			

Последовательность работ при армировании грунтового массива инъецированием



- 1 – бетонная стяжка
2 – пакер
3 – муфта
4 – инъектор
5 – сопло инъектора
6 – места инъецирования
7 – вектор силового воздействия на грунт



Зависимость прочности грунтов,
обработанных стабилизатором

Принцип силикатизации грунта

Способы закрепления грунтов

Коэффициент фильтрации грунта см/сек	Способ закрепления	Предел прочности на сжатие через 28 суток, кН/м ²
Крупные и средние пески 0,006 – 0,012 0,012 – 0,023 0,023 – 0,092	Двухрастворный	3400 – 2900
		2900 – 1900
		1900 – 1500
Мелкие и пылеватые пески 0,0006 – 0,006 Лёссовый грунт 0,0001 – 0,0023	Однорастворный	390 – 490
		590 – 1500

В 1931 г. был разработан двухрастворный способ силикатизации, сущность которого состояла в том, что в песчаный грунт любой влажности через забитую металлическую перфорированную трубу (инъектор) поочередно нагнетались раствор силиката натрия (натриевое жидкое стекло) $Na_2O \cdot nSiO_2$ и раствор хлористого кальция $CaCl_2$. В результате химической реакции между ними в порах грунта образуется гидрогель кремниевой кислоты, и грунт быстро и прочно закрепляется. Двухрастворный способ обеспечивает высокую прочность грунта (табл. 5.2) и практически его полную водонепроницаемость. Недостатками этого способа являются высокая стоимость и большая трудоемкость работ. Поэтому его преимущественно применяют при усилении оснований под сооружениями. Закрепленный грунт имеет кубиковую прочность 1,5...3,5 МПа. Прочность закрепленного грунта не снижается при воздействии на него агрессивных вод.

Для закрепления мелких и пылеватых песков с коэффициентом фильтрации от 0,0006 до 0,006 см/сек применяют однорастворный способ. В грунт нагнетают гелеобразующий раствор из жидкого стекла и фосфорной кислоты либо из жидкого стекла, серной кислоты и сернокислого аммония.

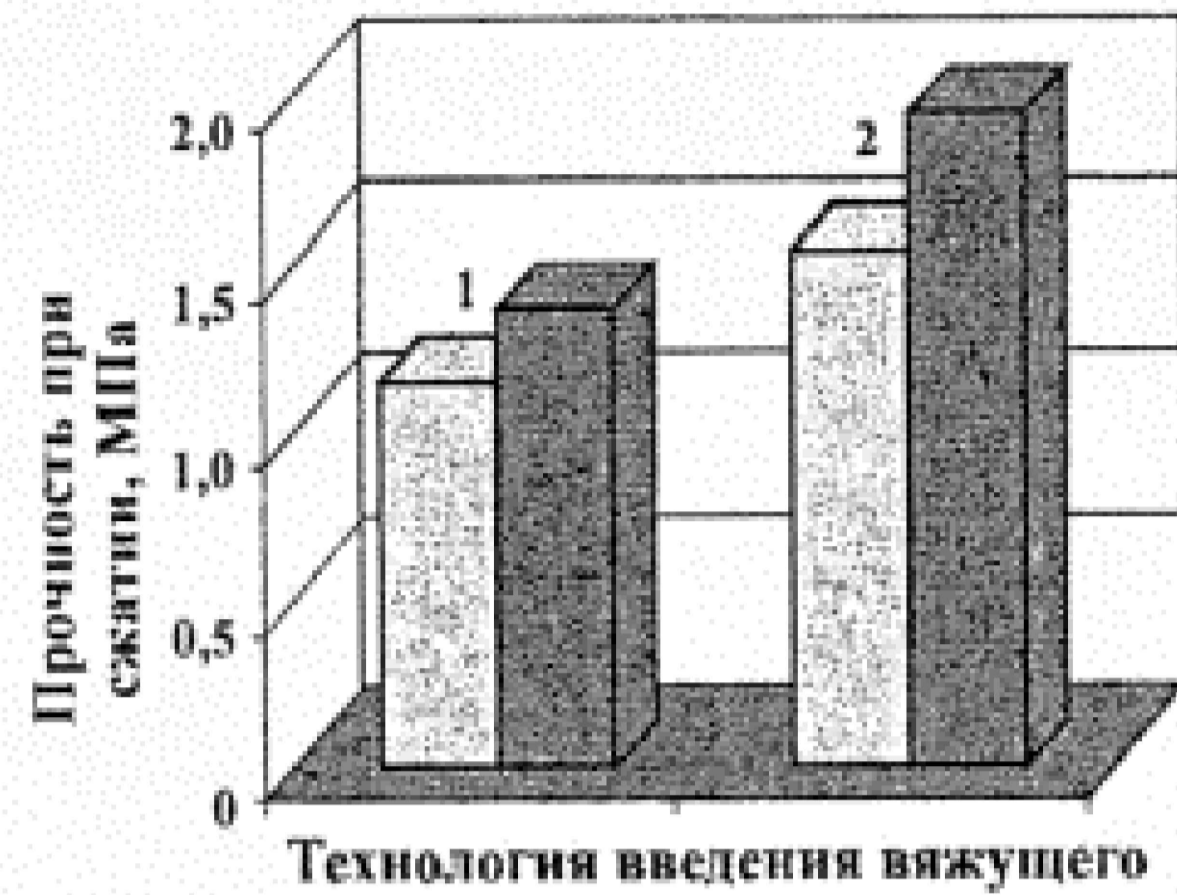
Первая рецептура обеспечивает более быстрое гелеобразование. Прочность закрепленного грунта значительно ниже, чем при двухрастворном способе. Этот способ находит применение главным образом при устройстве противofильтрационных завес.

Однорастворный способ силикатизации используют и для закрепления лёссовых просадочных грунтов, имеющих коэффициент фильтрации от 0,0001 до 0,0023 см/сек. При этом в грунт нагнетают раствор одного жидкого стекла. Гелеобразование происходит за счет реакции раствора жидкого стекла с водорастворимыми солями грунта и его обменным комплексом. Роль второго раствора выполняет сам грунт. Прочность закрепленного грунта приведена в табл. 5.2.

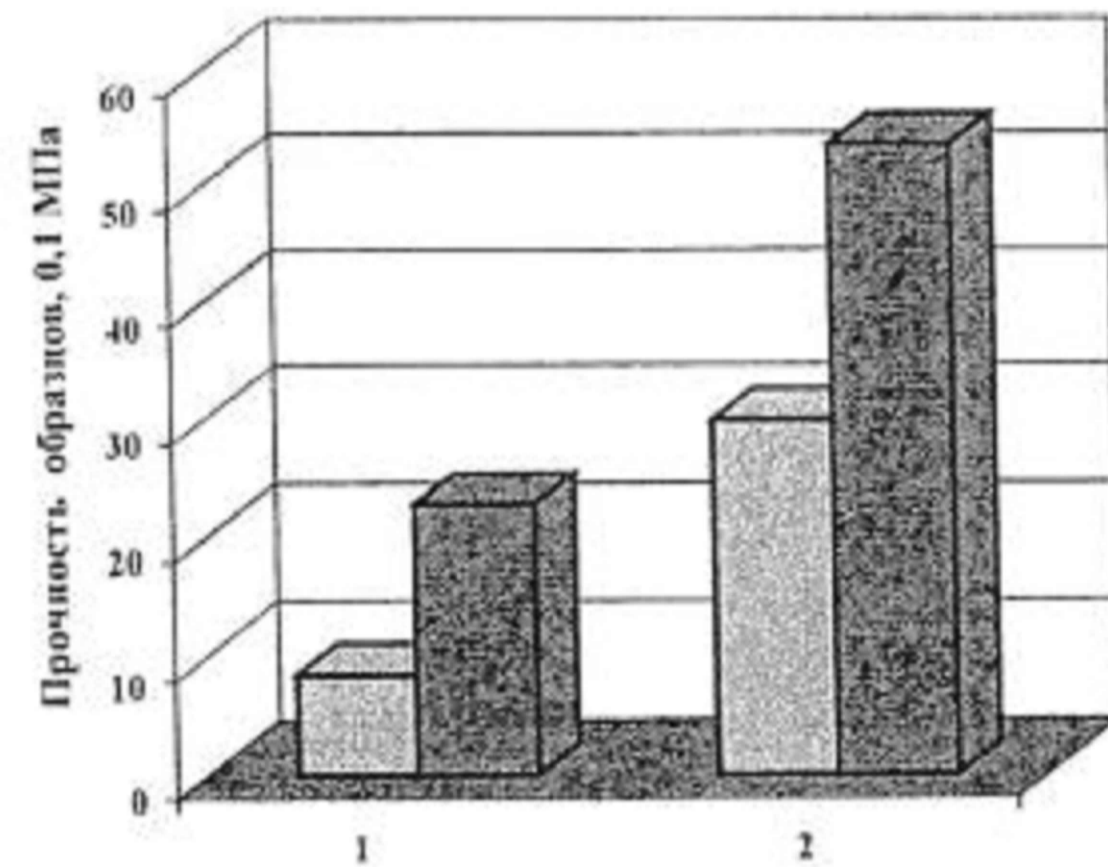
Не рекомендуется применять силикатизацию для закрепления грунтов, пропитанных нефтяными продуктами, смолами и маслами, при наличии грунтовых вод, имеющих $pH > 9$ при двухрастворном способе, и в случае $pH > 7,2$ при однорастворном способе силикатизации мелких и пылеватых песков. Нецелесообразно подвергать силикатизации грунты, когда скорость грунтовых вод превышает 0,006 см/сек.

Зав. каф.	Ф.И.О.	Подпись	Дата	VKP-2069059-08.03.01-120869-16		
Руководит.	Глухов В.С.			Укрепление грунтов		
Н. контроль	Корнюхин					
Консульт.	Корнюхин					
				Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог		
				Стадия	Лист	Листов
				VKP	4	7
Технолог.	Корнюхин			Силикатизация грунта		
Конструк.	Корнюхин					
Студент	Недведский					
				ПГУАС кафедра ГДС группа Стр-44		

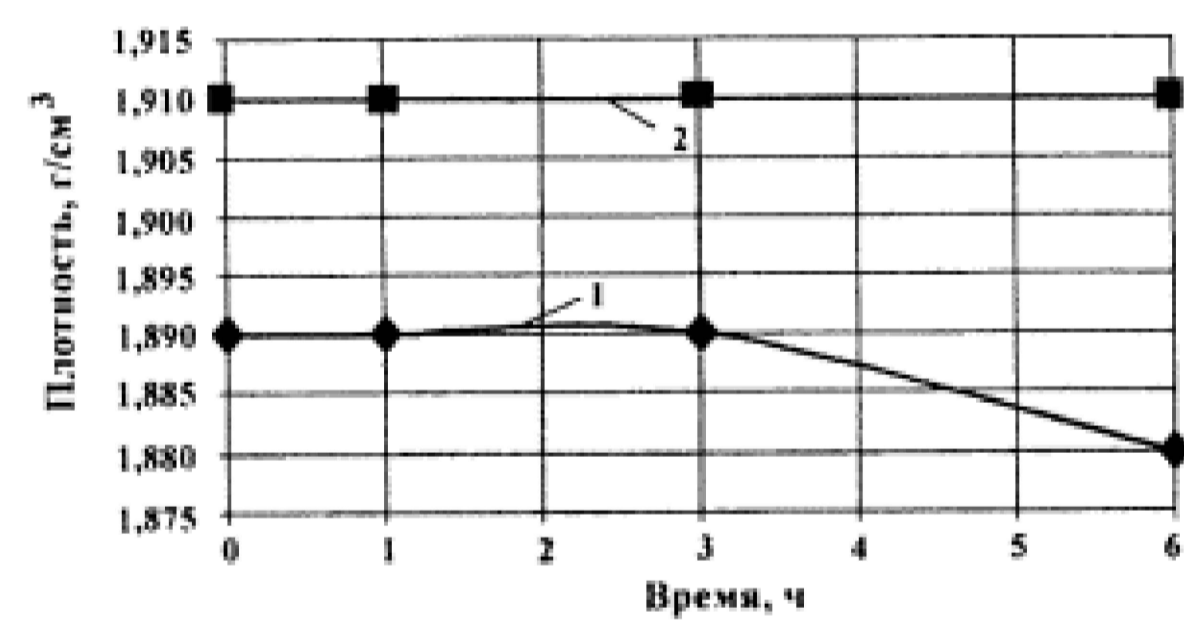
Укрепление грунтов минеральными вяжущими и стабилизаторами



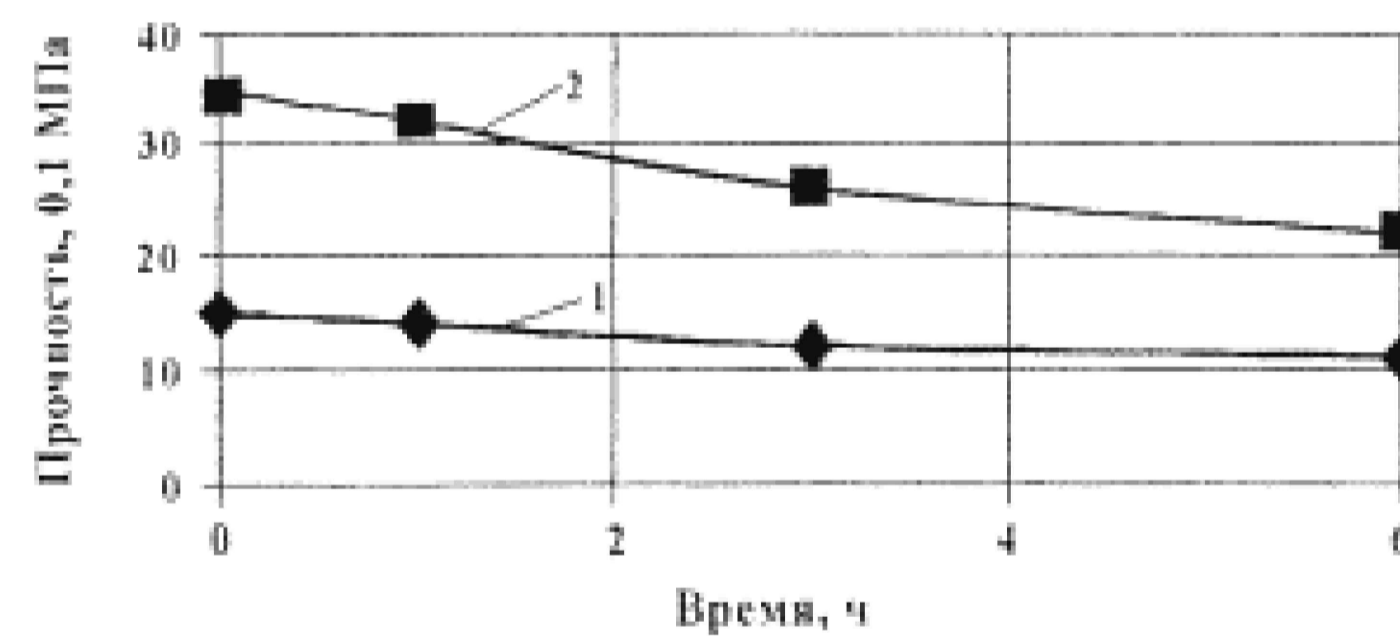
Зависимость прочности песка, укрепленного 7 % цемента и 5 % жидкого битума от времени введения битума в смесь: 1 - в возрасте 7 сут; 2 - после 10 циклов замораживания-оттаивания; - одновременно с цементом; - через 1 ч после введения цемента



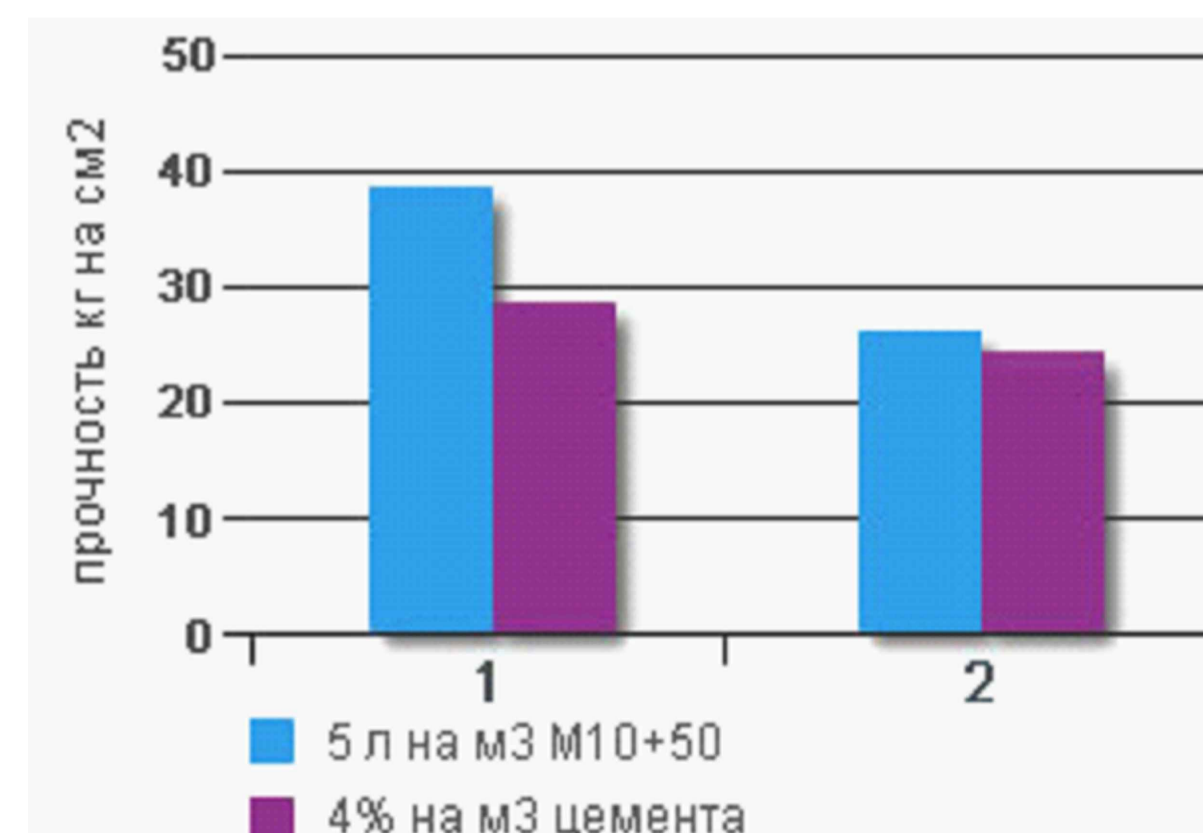
Зависимость прочности водонасыщенных образцов из укрепленного суглинка от условий хранения: 1 - укрепление цементом в количестве 5 %; 2 - то же, 14 %; - после влажного хранения образцов в течение 7 сут.; - то же, 28 сут



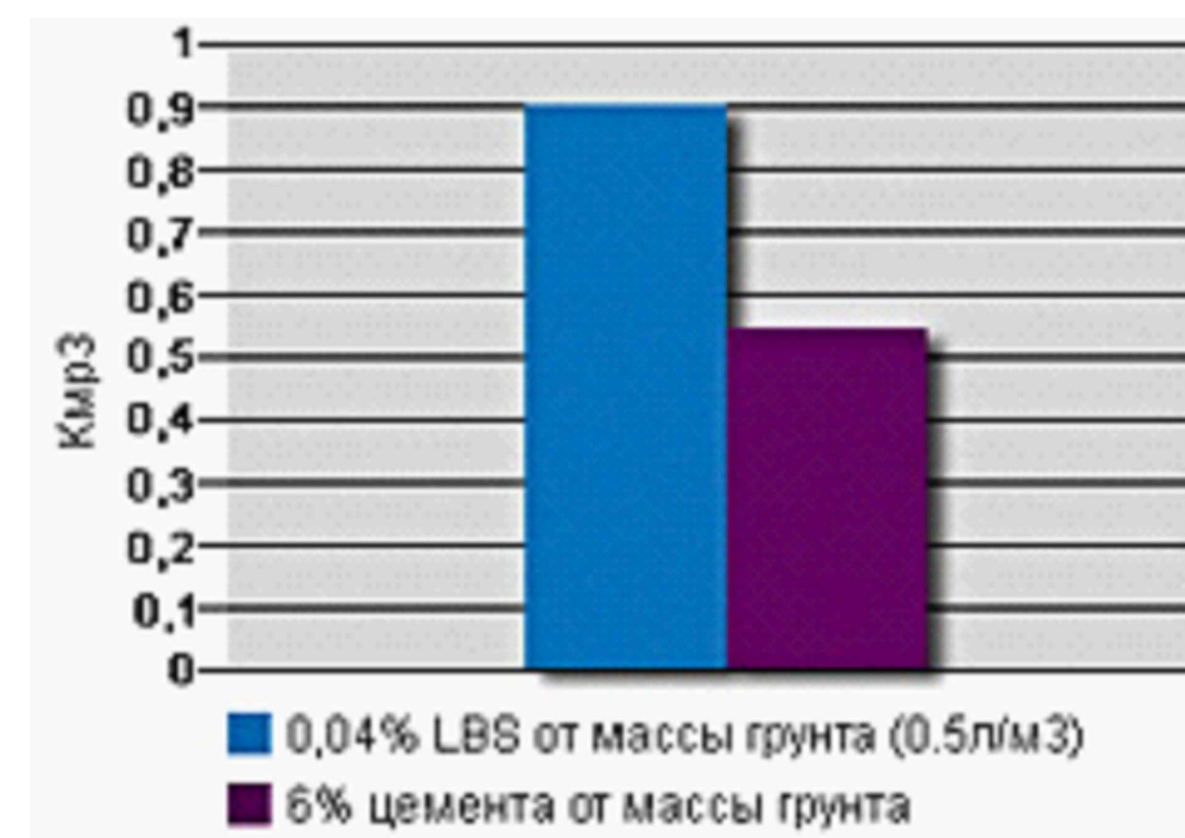
Зависимость плотности песка, укрепленного 10 % цемента, от времени начала уплотнения: 1 - нагрузка 15 МПа; 2 - то же, 30 МПа



Зависимость прочности укрепленных грунтов после 10 циклов замораживания-оттаивания от времени начала уплотнения смеси: 1 - песок; 2 - суглинок



Зависимость прочности укрепленного мелкого песка от вида вяжущего: 1- при оптимальной влажности; 2- после капиллярного водонасыщения



Коэффициент морозостойкости укрепленной супеси



Заказчик:	Ф.И.О.	Подпись	Дата	VKP-2069059-08.03.01-120869-16		
Руководит.:	Глухов В.С.			Укрепление грунтов		
Н.контроль:	Корнюхин			Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог		
Консульт.	Корнюхин			Стадия	Лист	Листов
				VKP	5	7
Технолог.	Корнюхин			Укрепление грунтов минеральными вяжущими и стабилизаторами		
Конструк.	Корнюхин			ПГУАС кафедра ГДС группа Стр-44		
Студент	Недведский					

Последовательность работ при стабилизации грунтов простейшим методом



Взрыхление и измельчение существующего грунта основания



Устройство асфальтобетонного покрытия

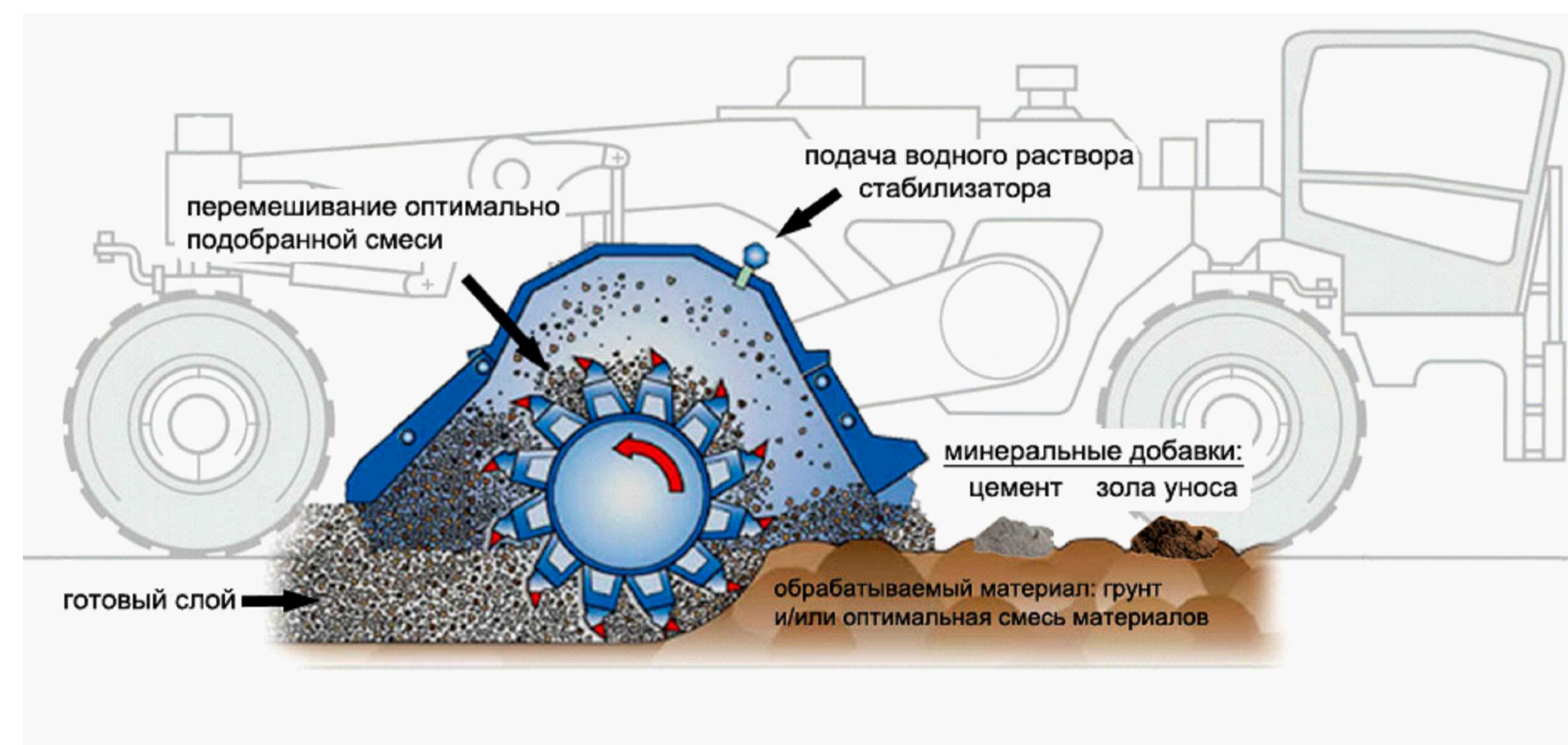


Пролив грунта стабилизатором



Уплотнение грунта

Выполнение работ по закреплению грунта с помощью спецмашин



Специальный комплект механизмов может иметь производительность от 5000 до 15000 м³ в смену в зависимости от глубины укрепления и возможности доставки на объект требуемого количества вяжущих материалов

При применении жидких стабилизаторов (энзимов) средний расход стабилизатора составляет 30–50 л концентрата препарата на 1 км дороги. Препарат разводится в пропорции от 1 к 200 до 1 к 10 тыс. в зависимости от операции (этапа выполнения работ). Ориентировочная стоимость концентрата «Солидрай» 100 – 200 долларов в зависимости от марки стабилизатора.

При применении системы СОЛИДРАЙ (полимеров) средний расход стабилизатора составляет около 7 кг на кв.м дорожного покрытия и около 170 кг жидкого состава на 1 кв.м. Данный расход предполагает затраты в пределах 1,5 млн.руб. на 1 км. дороги.

При применении жидкого кремний – полимерного гидрофобизатора средний расход стабилизатора составляет 2,5 –3,5 литра на 1 куб.м. дороги, что в денежном эквиваленте составляет порядка 1–1,5 млн. руб. на 1 км.

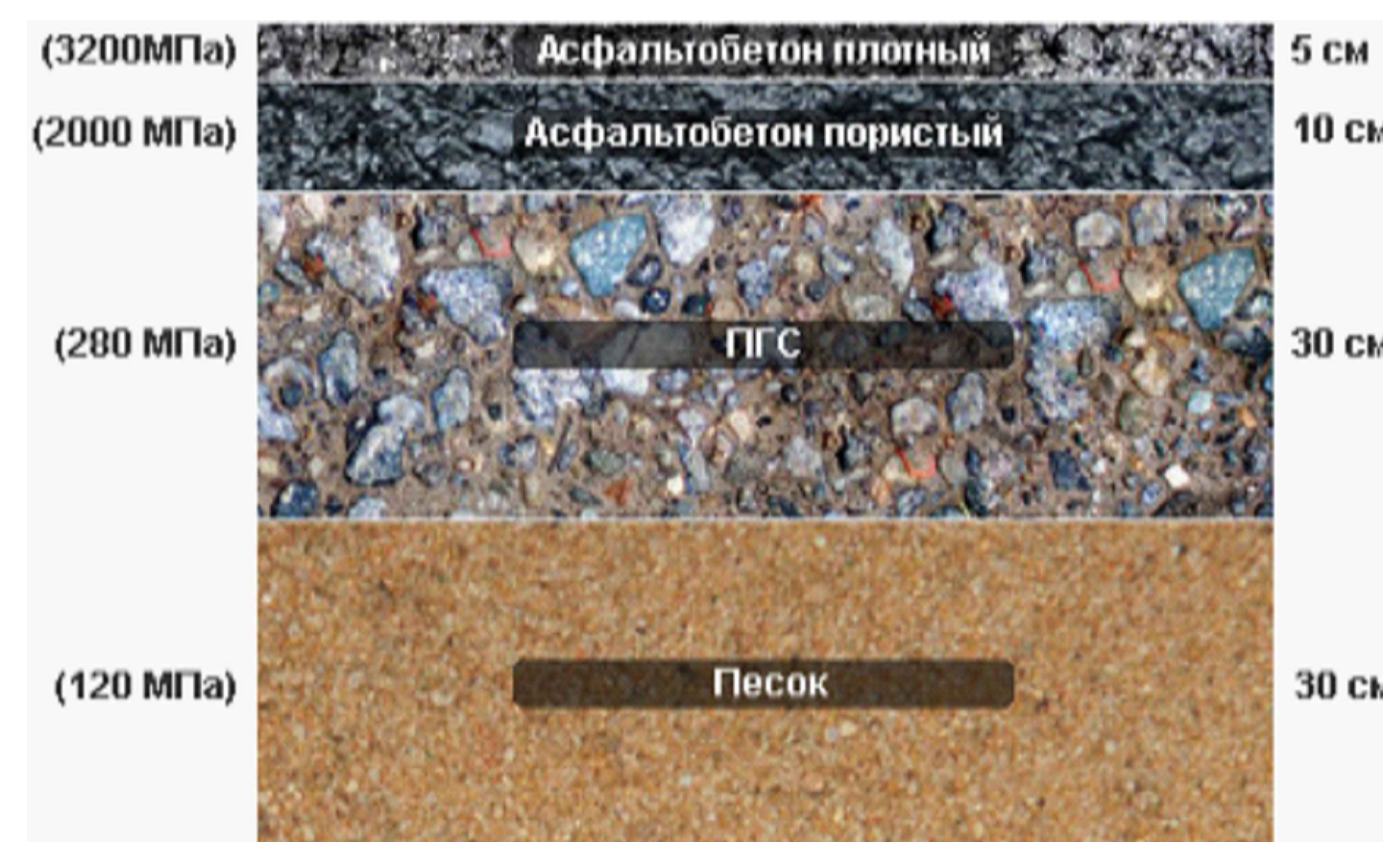
Зав.каф.	Ф.И.О.	Подпись	Дата	ВКР-2069059-08.03.01-120869-16		
Руководит.	Глухов В.С.			Укрепление грунтов		
Н.контроль	Корнюхин			Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог		
Консульт.	Корнюхин			Этадия	Лист	Листов
				ВКР	6	7
Технолог.	Корнюхин			Стабилизация грунта		
Конструк.	Корнюхин			Способы регенерации		
Студент	Недведский			ПГУАС кафедра ГДС группа Стр-44		

Проектирование дорожных одежд с применением стабилизаторов M10+50 и LBS.

Автомобильные дороги 3 технической категории

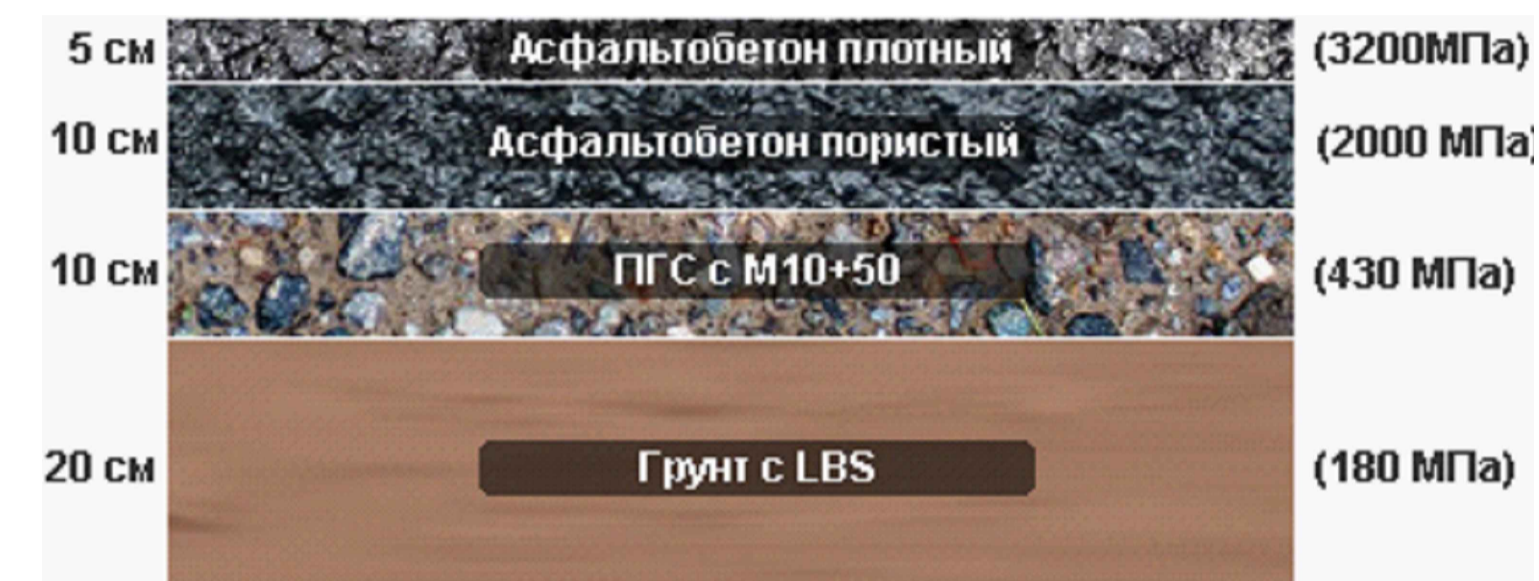
ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ

(Альбом типовых дорожных одежд для автомобильных дорог, МОДН 2-2001 «Проектирование не жестких дорожных одежд»)



- Верхний слой покрытия:**
Асфальтобетон плотный -5см (расчетный модуль упругости 3200 МПа);
- Нижний слой покрытия:**
Асфальтобетон пористый - 10см (2000 МПа);
- Основание:**
Щебеночно-песчано-гравийная смесь (СЗ)* - 30 см (280 МПа)
- Дополнительный слой основания:**
Песок средней крупности -30см (120 МПа) .
- * Взамен смеси СЗ для основания используют щебеночный слой по методу заклинки – 30 см (80% - щебень фр.40-70 мм и 20%

ПРЕДЛАГАЕМАЯ КОНСТРУКЦИЯ



- Верхний слой покрытия:**
Асфальтобетон плотный - 5см (расчетный модуль упругости 3200 МПа)
- Нижний слой покрытия:**
Асфальтобетон пористый - 10см (2000 МПа);
- Основание:**
Щебеночно-песчано-гравийная смесь (песчано-гравийная смесь или песок), укрепленная M10+50 в комбинации с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса)
- Рабочий слой земляного полотна:**
Местный глинистый грунт, обработанный полимерным стабилизатором LBS, который может применяться как самостоятельно, так и совместно с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса)

Автомобильные дороги 4 технической категории

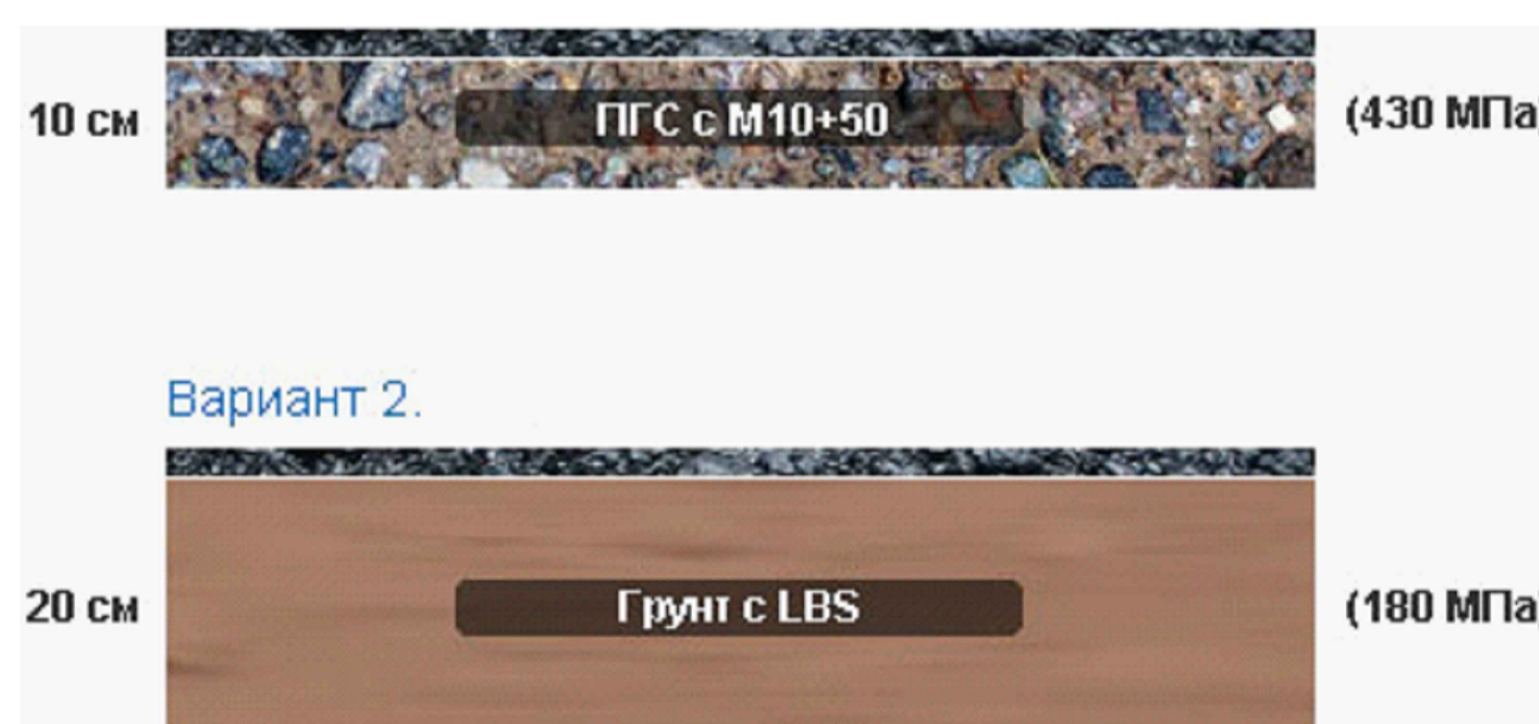
ТИПОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ

(Альбом типовых дорожных одежд для автомобильных дорог, МОДН 2-2001 «Проектирование не жестких дорожных одежд»)



- Поверхностная обработка:**
Черный щебень или асфальтобетон - 5см (расчетный модуль упругости 3200 МПа);
- Основание:**
Подобранная песчано-гравийная смесь: – 50 см (180 МПа).
Основание из ПГС можно заменить на местный грунт, укрепленный минеральными вяжущими (8-14% цемента от массы грунта) – 20см.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ КОНСТРУКЦИЯ



- Поверхностная обработка:**
Битумная эмульсия с россыпью фракционного щебня - 1-2 см;
- Основание:**
Песчано-гравийная смесь, укрепленная M10+50 в комбинации с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса) -15 см (430 МПа)
- Вариант 2.**
- Поверхностная обработка: или слой покрытия (Асфальтобетон -5 см)**
Битумная эмульсия с россыпью фракционного щебня - 1-2 см;
- Основание:**
1-ый слой
Местный глинистый грунт, обработанный LBS совместно с минеральным вяжущим (цемент, известь, зола уноса) и добавлением щебня фракции 20-40 до 50 % - 20 см
2-ой слой
Местный глинистый грунт, обработанный LBS - 20 см

Зав.каф.	Ф.И.О.	Подпись	Дата	VKP-2069059-08.03.01-120869-16			
Руководит.	Глухов В.С.			Укрепление грунтов			
Н.контроль	Корнюхин						
Консульт.	Корнюхин						
				Методы повышения несущей способности грунтовых оснований автомобильных дорог	Стандия	Лист	Листов
					VKP	7	7
Технолог.	Корнюхин			Варианты конструкций дорожных одежд при усилении грунтов			
Конструк.	Корнюхин						
Студент	Недведский						
				ПГУАС кафедра ГДС группа Стр-44			