

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет**

**С. В. Алексиков, И. С. Алексиков,
Д. Н. Симончук**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ
ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ЮГА РФ**

Учебное пособие

Волгоград. ВолгГАСУ. 2015



**© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2015**

УДК 625.731(075.8)
ББК 39.311-044я73
А48

Рецензенты:

доктор технических наук *В. С. Боровик*,
заведующий кафедрой экономики и управления дорожным хозяйством
Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета;
кандидат технических наук *С. Н. Белоусов*,
заместитель директора МУ «Комдорстрой»

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Алексиков, С. В.

А48

Проектирование оптимальных дорожных одежд из местных материалов в условиях юга РФ [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Алексиков, И. С. Алексиков, Д. Н. Симончук; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Электронные текстовые и графические данные (20 Мбайт). — Волгоград : ВолГАСУ, 2015. — Учебное электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Adobe Reader 6.0; Internet Explorer 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-98276-719-6

Изложены особенности проектирования и строительства, обобщен опыт строительства дорожных одежд нежесткого типа из местных материалов в условиях Нижнего Поволжья. Приведена методика обоснования региональной расчетной влажности грунтов земляного полотна. Показано влияние влажности и плотности глинистых грунтов на прочностные и деформационные характеристики рабочего слоя земляного полотна. Приведена методика оптимизации дорожных конструкций по одновременным и приведенным затратам. Рассмотрена структура компьютерной базы данных по оптимальным конструкциям дорожных одежд.

Для студентов очной, заочной, заочной сокращенной форм обучения направлений «Технология транспортных процессов», «Строительство», преподавателей вузов и инженерно-технических работников производственных предприятий.

Для удобства работы с изданием рекомендуется пользоваться функцией Bookmarks (Закладки) в боковом меню программы Adobe Reader.

УДК 625.731(075.8)
ББК 39.311-044я73

ISBN 978-5-98276-719-6



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Опыт проектирования и строительства оптимальных дорожных одежд нежесткого типа из местных материалов.....	7
1.1. Применение местных материалов в конструкциях дорожных одежд.....	7
1.2. Каталоги и атласы конструкций дорожных одежд с использованием местных материалов.....	21
1.3. Обзор и анализ методов проектирования дорожных одежд из местных материалов.....	23
1.4. Оптимизация при проектировании дорожных одежд.....	26
2. Основы проектирования оптимальных дорожных одежд из местных материалов....	29
2.1. Зависимость физико-механических свойств глинистых грунтов от их плотности и влажности.....	29
2.2. Методика обоснования расчетной влажности грунтов земляного полотна.....	36
2.3. Экономико-математическая модель оптимизации конструкции дорожной одежды.....	43
2.3.1. Оптимизация конструкции дорожной одежды по единовременным затратам.....	43
2.3.2. Оптимизация конструкции дорожной одежды по приведенным затратам.....	54
2.4. Информационная база данных для проектирования дорожных одежд на основе местных материалов.....	57
3. Использование местных материалов при строительстве дорожных одежд в Волгоградской области.....	63
3.1. Анализ месторождений каменных материалов Волгоградской области и оценка возможности их использования.....	63
3.2. Обоснование расчетной влажности грунтов земляного полотна.....	74
3.3. Опытное-экспериментальное строительство дорожных одежд из местных материалов в условиях Волгоградской области.....	80
3.3.1. Строительство дорожных одежд на основании из мела по типу минерального бетона.....	80
3.3.2. Строительство дорожных одежд на основании из грунтов повышенной плотности.....	88
3.3.3. Строительство дорожных одежд с использованием в основании геотекстиля.....	95
4. Рекомендации по проектированию оптимальных дорожных одежд нежесткого типа из местных материалов.....	98
4.1. Районирование территории Волгоградской области по условиям строительства.....	98
4.2. Оптимальные конструкции дорожных одежд из местных материалов для региональных условий Нижнего Поволжья.....	107
Заключение.....	109
Библиографический список.....	110
Приложение. Конструкции и стоимость дорожной одежды.....	111

ВВЕДЕНИЕ

За последние 10 лет при увеличении протяженности автомобильных дорог всего на 15 % автомобильный парк России вырос почти в два раза и составил более 27 млн автомобилей. Прирост количества автотранспортных средств достигает 13,4 % в год (табл.).

Рост уровня автомобилизации населения крупнейших городов России

№	Города РФ	Уровень автомобилизации, АТС на 1000 жителей		
		2006 г.	2010 г.	Прирост в год, %
1	Москва	265	320	5,2
2	Санкт-Петербург	253	324	7,0
3	Новосибирск	160	285	19,5
4	Нижний Новгород	164	234	10,7
5	Самара	206	279	8,9
6	Ростов-на-Дону	191	275	11,0
7	Волгоград	132	203	13,4
8	Пермь	178	187	1,3
9	Хабаровск	249	284	3,5
10	Саратов	198	219	2,7

Опережающий, по сравнению с ростом протяженности дорог, рост численности парка автотранспортных средств привел к увеличению интенсивности движения. В летний период, когда интенсивность превышает среднегодовую суточную на 20...30 %, многие участки дорог, в первую очередь на подходах к крупным городам, работают в режиме перегрузки. В составе транспортных потоков появились современные большегрузные автомобили с нагрузкой на ось 8...10 и более т. Дорожные одежды, рассчитанные на осевую нагрузку 6 т на ось, плохо воспринимают нагрузки от тяжелых автомобилей. Как следствие, состояние большинства автомобильных дорог (около 70 %) не отвечает возросшим требованиям по интенсивности движения и грузонапряженности из-за недостаточной прочности покрытия. Дороги, особенно местного значения, находятся в стадии постепенного износа, на полосе наката возникает сильное колееобразование. Потребность в усовер-

шенствованных автомобильных дорогах ежегодно возрастает. Согласно Концепции национальной программы модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 г., общая протяженность дорог с твердым покрытием должна возрасти в 1,3 раза.

Дорожная одежда — один из наиболее дорогостоящих элементов дороги, и ее оптимальное проектирование имеет очень большое значение. Регрессионный анализ показывает, что стоимость строительства дорог $S_{стр}$ в основном определяется общим модулем упругости дорожной одежды E и шириной проезжей части $П$. Уравнение множественной регрессии имеет вид

$$S_{стр} = 0,701 П^{1,198} E^{1,213}, \text{ тыс. р/км.}$$

Структура уравнения позволяет сделать вывод о том, что на сметную стоимость объекта наибольшее влияние оказывает проектная прочность, а следовательно, и толщина дорожной одежды (коэффициент весомости 1,213). Вторым по значимости фактором является ширина проезжей части (коэффициент весомости 1,198).

Анализ проектных решений показывает, что в связи с вводом в действие ОДН 218.046—01 толщина конструкций увеличилась в 1,4...1,6 раза, а затраты на строительство дорожной одежды возросли на 30...40 %.

Процесс проектирования включает в себя несколько этапов: конструирование, расчет на прочность, технико-экономические расчеты и поиск оптимального варианта дорожной одежды в соответствии с выбранным критерием.

Дорога должна быть прочной, надежной и экономичной. Эти качества обеспечиваются еще на стадии конструирования. Рациональное конструирование с учетом всех выработанных практикой принципов позволяет получить конструкцию без излишнего запаса прочности по какому-либо критерию. В настоящее время конструирование, как правило, ограничивается принятием единственной, проверенной длительной практикой строительства и эксплуатации типовой конструкции дорожной одежды. При этом не учитывается, что с распадом СССР произошел разрыв налаженных связей с традиционными поставщиками дорожно-строительных материалов. Кроме того, в связи с изменением состава и интенсивности движения существенно модифицировались условия эксплуатации. Существующие типовые конструкции, рассчитанные 15...20 лет назад по отмененной инструкции ВСН 46—83, безнадежно устарели и не могут быть использованы в проектировании. В связи с вводом в действие ОДН 218.046—01 назрела необходимость в разработке новых рациональных конструкций дорожных одежд в структуре САПР в виде электронного банка данных с учетом новых прогрессивных строительных материалов и технологий.

До настоящего времени процедура расчета дорожной одежды сводилась к прочностным расчетам, принимаемым на первой стадии проектирования типовых конструкций дорожной одежды, выбранных проектировщиком из традиционно применяемых в данном регионе и хорошо зарекомендовавших себя в процессе эксплуатации конструкций. При этом обычно не учитывают-

ся мероприятия по снижению расчетной влажности и повышению прочности грунтового основания (переуплотнение грунтового основания, использование синтетических материалов и геосеток, укрепление обочин). Следует отметить, что при расчете дорожной одежды по ОДН 218.046—01 особое внимание следует уделять именно повышению прочности грунтового основания, так как увеличение толщины конструкции в основном вызвано обеспечением условия сдвигоустойчивости грунта земляного полотна и подстилающих конструктивных слоев основания из малосвязных материалов. Для обоснованного назначения расчетных характеристик грунтов и оценки эффективности мероприятий по повышению прочности грунтового основания целесообразно уточнение расчетной влажности земляного полотна с учетом региональных дорожно-климатических условий Юга РФ. Обеспечение сдвиговой прочности представительных для территории Нижнего Поволжья грунтов проблематично без учета их физико-механических свойств, зависящих от плотности и влажности.

Просчитав выбранные конструкции с помощью компьютерных программ (ROAD, CREDO), в дальнейшем выполняют технико-экономические расчеты и поиск оптимального варианта дорожной одежды в соответствии с выбранным критерием.

В качестве критерия оптимальности используются приведенные затраты или сметная стоимость строительства. Однако расчеты сметной стоимости строительства в проектных организациях проводятся не всегда, что объясняется следующими причинами:

в связи с существенным увеличением сметных нормативов прямое использование укрупненных показателей сметной стоимости (УПСС) на устройство дорожной одежды, составленных в ценах 1984 г. и 1991 г., неправомерно;

расчет сметной стоимости строительства в базовых ценах отменен, а процедура составления локальных смет ресурсным методом на устройство дорожной одежды достаточно трудоемка, обеспечивает точность расчета 87...92 %.

Существующие экономико-математические методы оптимизации конструкций дорожных одежд по приведенным затратам не учитывают возможность снижения стоимости строительства и эксплуатационных затрат на их содержание, связанную с укреплением обочин, повышением прочности грунтов земляного полотна. Кроме того, неустойчивый характер цен на строительные материалы и работы требуют пересмотра критериев оптимизации дорожных одежд.

В связи со сложностью каждого этапа проектирования, а также потребностью включения в процесс автоматизированного проектирования больших информационных массивов данных необходим подход к проектированию дорожных одежд на основе системы управления базами данных (СУБД) рациональных дорожных одежд из местных материалов.

1. ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ОПТИМАЛЬНЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

1.1. ПРИМЕНЕНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Дефицит прочного щебня, а также возрастающий из года в год спрос на него делают актуальной задачу поиска новых местных материалов, которые могли бы использоваться в конструкциях дорожных одежд. Первые работы в этом направлении были начаты еще в 30-е гг. XX в. Сотрудниками СоюздорНИИ были проведены исследования местных материалов и побочных продуктов промышленности, пригодных для дорожного строительства.

Проведившиеся впоследствии исследования позволили оценить запасы местных материалов в различных регионах страны, их физико-механические свойства и прочностные показатели и выработать рекомендации по их использованию.

Для устройства неукрепленных щебеночных оснований были предложены гравий, известняковый щебень повышенной крупности, отходы дробления горных пород, железистые кварциты, золы и шлаки металлургические, отходы от производства асбеста.

Для устройства подстилающих слоев наряду с природными были рекомендованы и пески, получаемые из отходов дробления изверженных и осадочных пород, металлургических шлаков. Исследования показали, что для устройства подстилающих слоев также могут применяться отходы от производства асбеста.

Однако не все местные материалы имеют достаточную прочность для применения в конструкциях дорожных одежд, поэтому по степени применимости местные материалы делятся на кондиционные и некондиционные. Кондиционные материалы могут использоваться в конструкциях дорожных одежд в чистом виде. Некондиционные материалы не могут применяться в дорожном строительстве без соответствующей обработки. Как правило, местное сырье является некондиционным.

Потребность в прочных материалах привела к необходимости проведения исследовательских работ по улучшению свойств местных материалов и отходов промышленности. Результаты научных исследований показали, что большинство некондиционных материалов при обработке их минеральными и органическими вяжущими можно использовать для строительства оснований дорожных одежд.

Для систематизации таких работ В. А. Кейльман предложил разделить все материалы, используемые в дорожном строительстве, на три группы: кондиционные, условно кондиционные и некондиционные. Ко второй группе отнесены некондиционные в естественном состоянии материалы, которые после их обогащения или укрепления могут применяться для устройства конструктивных слоев дорожных одежд. Такое деление является более четким, динамичным и стимулирует дальнейший поиск путей и способов применения в дорожном строительстве местных материалов и побочных продуктов промышленности.

Исследования прочностных характеристик показали, что местные материалы можно также применять и для асфальтобетонных смесей. В качестве щебня и песка были рекомендованы гравий, железистые кварциты, шлаки металлургические, отходы дробления горных пород, известняк-ракушечник, фосфорный шлак.

Учитывая дефицит стандартных известняковых минеральных порошков, большие трудовые затраты на его производство и то, что спрос на них удовлетворяется не полностью, большое внимание уделялось поиску заменителей. Проводились исследования по получению минерального порошка из цементной и доломитовой пыли, металлургических шлаков, фосфорных шлаков, пылевидной золы ТЭЦ, золы-уноса, шламов, фильтрационных отходов сахарной промышленности, отходов от производства асбеста.

В качестве поверхностно-активных добавок в асфальтобетонные и битумо-минеральные смеси рассматривались каменноугольные масла и смолы, каменноугольный сырой деготь, которые получают в процессе коксования углей, кубовые остатки, являющиеся отходами при производстве синтетических жирных кислот и жирных спиртов.

Исследования показали, что при производстве асфальтобетонов в качестве добавок, улучшающих их свойства, могут использоваться побочные продукты жиркомбинатов, отходы резины, кубовые остатки ректификации стирола.

Особое внимание было уделено поиску вяжущих, а также добавок, улучшающих свойства или частично заменяющих вяжущее, в качестве которых рассматривались отходы различных отраслей промышленности: металлургические шлаки, золы и шлаки тепловых электростанций, белитовые шламы, фильтрационные отходы сахарной промышленности, цементная и доломитовая пыль, асбестовые отходы. Для укрепления грунтов в дорожном строительстве рекомендованы цементы с добавкой золы-уноса или золошлаковой смеси, сланцеполимерное композиционное вяжущее, кубовые остатки ректификации стирола.

В результате исследований были созданы новые искусственные каменные материалы: термолит, дорожный клинкер, керамдор, которые также нашли применение в дорожном строительстве.

Работы по изучению свойств местных каменных материалов и побочных продуктов промышленности с целью их использования в дорожном строительстве являются важными, ведутся и в настоящее время. Решение этой задачи для Волгоградской области не только не потеряло своей актуальности, но приобрело еще большую значимость в связи с развитием рыночной экономики и потерей многих традиционных источников кондиционных дорожно-строительных материалов (Саратовская, Ростовская, Воронежская области и республика Дагестан). Доброкачественный высокопрочный камень для многих районов Волгоградской области является дефицитным и дорогостоящим привозным материалом. Дальность транспортировки привозного щебня и гравия достигает 300 км. В то же время большинство районов располагает местными запасами разнородных по прочности каменных материалов, высокопористых и низкоморозостойких. Поэтому эффективное использование местных малопрочных каменных материалов в конструкциях дорожной одежды в настоящее время приобрело особую актуальность.

На территории Волгоградской области из местных минеральных материалов наиболее распространены песчаники, известняки, мел. В Палласовском районе имеются значительные залежи мергеля, в Камышинском — расположены месторождения различных видов опоки и песчаника как в виде песчано-гравийной смеси, так и в виде обломочного материала. Кроме Камышинского района, значительные залежи песчаника имеются в Дубовском, Нехаевском, Руднянском районах. Меловые отложения расположены в Дубовском, Руднянском, Калаческом, Кумылженском, Ольховском районах. В отвалах производственных предприятий ПО «Баррикады» и ЗАО ВМЗ «Красный Октябрь» г. Волгограда скопилось около 2600 тыс. т металлургического шлака, который может быть использован в качестве щебня в основании дорожных одежд и производстве асфальтобетонных смесей.

Накопленный опыт строительства и выполненные исследования показывают, что использование местных материалов предпочтительно при строительстве местных автомобильных дорог с интенсивностью не более 300 авт./сут. Основные особенности работы материалов в конструкциях одежд местных дорог связаны с меньшей интенсивностью движения на них, так как сезонный максимум автомобильного движения не совпадает с расчетным периодом, когда прочность дорожных одежд минимальна. Структура местных материалов дорожных одежд при большой интенсивности формируется под влиянием движения, которое несколько доуплотняет конструкцию. При малой интенсивности движения формируется менее прочная структура материала слоев дорожных одежд и земляного полотна.

Одним из важнейших источников сырьевой базы Волгоградской области при строительстве местных автомобильных дорог может быть массовое применение малопрочных известняков. Имеющийся опыт дорожного строитель-

ства доказывает целесообразность использования этого материала в основании дорожных одежд. В 2002—2003 гг. годовой объем добычи малопрочного щебня достиг 520 тыс. м³ в год, в два раза больше, чем в 1998 г. В последующий период использование щебня снизилось в два-три раза из-за сокращения объемов дорожного строительства. В исследованиях, выполненных для регионов Юга России и Украины, отмечено, что малопрочные известняки с течением времени увеличивают свою прочность за счет сил самоцементации. По данным исследований профессора А. А. Славуцкого, до 30 % экономии щебня и до 25 % снижения стоимости дорожной одежды может быть получено при условии использования самоцементирующихся малопрочных известняков, укладываемых в конструктивные слои основания дорожной одежды и обрабатываемых различными вяжущими. Использование самоцементирующихся малопрочных известняков без специальной обработки значительно снижает строительную стоимость дорожной одежды, однако достигнутая экономия средств может быть быстро утрачена при резком снижении сроков службы или увеличении эксплуатационно-ремонтных расходов. Поэтому в каждом конкретном случае следует учитывать качество получаемых конструктивных слоев, надежность их работы в дорожной одежде в различных климатических условиях с учетом роста интенсивности движения и транспортных нагрузок.

Использование вяжущих при укреплении малопрочных каменных материалов остается главной проблемой в дорожном строительстве, особенно в строительстве местных автомобильных дорог. Стоимость дорожного битума ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефтепродукт» только за 2001—2012 гг. возросла с 3329 р. до 5000 р. за тонну. Стоимость портландцемента М-500 АО «Себряковский цементный завод» — на 20 % ниже стоимости битума. Рассчитывать на снижение стоимости органического вяжущего не приходится. Кардинальное решение этой проблемы заключается в широком применении местных неорганических вяжущих, в том числе цемента и вяжущих на основе отходов промышленности. К этой группе материалов относятся известь, золы уноса ТЭС, продукты дробления слабых известняков, активные доменные шлаки, отходы мелового и гипсового производств. За счет использования таких вяжущих материалов можно создавать конструкции дорожных одежд, в которых регулируется наращивание прочности во времени в соответствии с прогнозируемым ростом интенсивности движения и нагрузок на местной дороге.

Для обеспечения требуемой прочности и долговечности дорожной одежды местных автомобильных дорог физико-механические свойства малопрочных известняков должны отвечать определенным техническим требованиям по их размещению в конструкции.

Главным условием устойчивости структуры слоя из малопрочного известняка является прочность его зерен. В качестве показателя прочности предложено принять стабильность гранулометрического состава каменного материала в слое. Это объясняется тем, что под воздействием движения ав-

томобилей в щебеночном слое дорожной одежды происходят измельчение и уплотнение каменного материала, приводящие к уменьшению контактных усилий до тех пор, пока эти усилия не уменьшатся до предела, соответствующего прочности материала. Вместе с тем прочность известнякового материала нельзя рассматривать как единственный критерий пригодности материала для дорожной одежды без учета степени его измельчения и естественной цементирующей способности конструкции вяжущих материалов. Доказано, что малопрочный известняк может быть эффективно использован для устройства дорожной одежды лишь при условии его надежной защиты от проникания влаги. Одним из методов, позволяющим эффективно применять малопрочные известняки в конструктивных слоях дорожных одежд, может быть консервирование таких материалов в замкнутой оболочке (обойме).

С целью придания слою основания из малопрочных известняков необходимых физико-механических свойств в настоящее время широко используются органические вяжущие: битумы, дегти, каменноугольные фусы, сланцы и гудроны. Следует отметить, что применение этих видов вяжущих заметно снижает природную цементирующую способность малопрочных известняков. Установлено, что при применении неорганических вяжущих известняки (по своей природе неинертные) входят в активное физико-химическое взаимодействие с цементом, положительно влияя на процессы гидролиза и твердения. Цемент в цементно-известняковых смесях является основным компонентом, обеспечивающим при определенных условиях коренное изменение природных свойств используемого известняка. При этом продукты гидролиза и гидратации цемента образуют с частицами известняка сложный и весьма разветвленный цементно-известняковый каркас, прочность которого выше прочности отдельных микроагрегатов. Слабые известняки, обладая высокой цементирующей способностью, в смеси с водой после уплотнения образуют в дорожной одежде монолитные, но недостаточно водоустойчивые слои. Введение в плотную смесь слабых известняков только 1 % цемента М-300 значительно увеличивает ее водоустойчивость.

Повышение водоустойчивости смесей при введении цемента является результатом агрегации мелких фракций материала. Прочность при сжатии образцов из слабых известняков с цементом зависит от исходного материала при содержании цемента более 3 % и не зависит от исходного материала при меньшем содержании цемента. Слои дорожных одежд из слабых известняков, укрепленных небольшой дозой цемента (1...3 %), обладают пористостью, свойственной нежестким дорожным покрытиям. Поэтому понижение температуры не приводит к трещинообразованию. Расстояние между частицами и агрегатами изменяется во всем объеме слоя, увеличивая его пористость. Слои из слабых известняков, укрепленных цементом, отличаются высокой ровностью и прочностью. Исследования показали, что увеличение прочности основания дорожной одежды из малопрочного известняка в обойме с предварительным укреплением материала малыми дозами цемента

та за 11 лет эксплуатации дороги составляет в среднем 46...48 %. Прочность конструкции с основанием из укрепленного цементом известняка возрастает на 39 %. Кроме того, замена битума цементом устраняет основной недостаток покрытий, обработанных битумом — повышенную склонность к пластическим деформациям. Вследствие более низкой стоимости цемента и меньшего его расхода по сравнению с битумом достигается значительный экономический эффект — 1,5...2 тыс. р. на 1 км в ценах 1984 г.

Как показывает опыт, применение многослойных конструкций в этом случае является нерациональным. Типовая конструкция дорожных одежд местных автомобильных дорог должна быть 3- или 4-слойной, в которой в качестве подстилающего слоя использован песок, в основание уложены малопрочные известняки, а покрытие устроено из асфальтобетона.

Рекомендуется увязывать темп роста прочности конструктивного слоя во времени с темпом роста интенсивности движения на дороге с таким расчетом, чтобы к моменту капитального ремонта дорожной одежды ее прочность соответствовала бы установившейся интенсивности движения.

Такой подход к проектированию конструкций имеет определенную степень риска, поэтому предлагается расчет дорожной одежды выполнять по традиционной методике. Возможное увеличение прочности щебеночного основания позволит повысить надежность и долговечность дорожной одежды в процессе эксплуатации.

Обзор выполненных исследований и опытное строительство дорожных одежд с основанием из малопрочных каменных материалов позволяют сделать следующие выводы:

1) использование местных малопрочных каменных материалов целесообразно на местных дорогах с интенсивностью не более 300 авт./сут;

2) для верхнего слоя одежды местных автомобильных дорог следует использовать щебень среднего и мелкого размеров из известняка прочных, невыветрившихся и морозостойких типов с хорошей цементирующей способностью. Для нижнего слоя следует применять щебень из малопрочного известняка, но при обязательном условии его достаточной водо- и морозостойкости;

3) при использовании малопрочных известняков в конструкциях дорожной одежды следует иметь в виду следующие особенности:

при уплотнении смеси в период строительства уплотняющими средствами происходит дробление зерен размером свыше 10 мм. При этом количество частиц размером 2...10 мм практически не изменяется;

в период эксплуатации под воздействием проходящих автомобилей происходит измельчение материала из-за скалывания граней в местах их контакта, за счет чего увеличивается содержание пылевидных фракций. Измельчение известняка сопровождается взаимной упаковкой мелких фракций, а сама смесь становится более плотной. Внутреннее сцепление частиц в составе смеси возрастает, однако угол трения уменьшается, что, в свою очередь, снижает распределительную способность;

у наиболее слабых известняков, особенно у содержащих глинистые примеси, при замораживании — оттаивании структура ослабевает настолько, что они начинают разрушаться без каких-либо воздействий;

известняковый материал обладает цементирующей способностью, максимальное использование которой у малопрочных известняков с защитой конструктивных слоев дорожной одежды от избыточного увлажнения — одно из важных условий эффективного применения слабых известняков при строительстве местных дорог;

цемент, внесенный в малых дозах в известняковый щебень, активизирует природную цементирующую способность материала, способствуя процессу перекристаллизации известняка и образованию между его частицами связей из кристаллов вторичного кальцита и частично цементного камня.

Существенным резервом в снижении стоимости строительства является использование в основании и подстилающих слоях дорожных одежд отсевов дробления каменных материалов. Работы по использованию отсевов щебня Каменского, Липкинского и Фроловского карьеров Волгоградской области, выполненные Волгоградским центром РосдорНИИ и учеными ВолгГАСУ, а также результаты исследований по применению малопрочных известняков в основании дорожных одежд автомобильных дорог на территориях Юга России и Украины показали, что одним из особенностей условий использования высевок является их способность к цементированию, т. е. к дополучению свойств минерального бетона.

Малопрочные известняки в виде смесей плотного зернового состава оптимальной влажности (плотные смеси) можно использовать в основании дорожных одежд на автомобильных дорогах общего пользования IV и V технических категорий. Находясь во влажных условиях, в результате процесса самоцементации минеральная смесь в течение 14...28 суток превращается в бетон. Физико-механические показатели получающегося минерального бетона должны соответствовать данным табл. 1.1.

Таблица 1.1

Физико-механические показатели минерального бетона

Физико-механические показатели минерального бетона	Группа прочности известняков			
	I	II	III	IV
Предел прочности при сжатии, МПа	1,8...2,0	1,6...1,8	1,2...1,4	0,8...1,0
Предел прочности при изгибе, МПа	0,2...0,3	0,15...0,2	0,1...0,15	0,01...0,05
Плотность материала, г/см ³	2,1...2,2	2,0...2,1	1,9...2,0	1,8...1,9

В Волгоградском центре РосдорНИИ рассматривалось два варианта подходов к использованию отсевов щебня из Липкинского, Фроловского и Каменского карьеров в основании конструкции дорожной одежды.

I вариант: по принципу плотных смесей с созданием минерального бетона из отсевов щебня в основании дорожных одежд.

Зерновой состав отсевов щебня Липкинского карьера соответствует песчано-щебеночной смеси с максимальной крупностью зерен 10 мм, отсева щебня Фроловского карьера соответствуют зерновому составу песчано-щебеночной смеси с крупностью зерен 20 мм. Отсевы щебня Каменского карьера необходимо переработать для подбора (зернового состава отвечающего требованиям ГОСТа.) Вместе с тем практическое применение отсевов Каменского карьера в Калачевском районе на автодороге Калач — Песковатка без подбора зернового состава щебня дало положительный результат. Конструкция дорожной одежды проработала 150 % межремонтного срока без единого ремонта. Деформированность покрытия не превысила допустимый процент (35 %) по площади. Штаповыми испытаниями был определен модуль упругости слоя из отсевов щебня, равный $E = 205$ МПа.

В образцах Каменского карьера, взятых в отвале и из основания автодороги Калач — Песковатка на участке Камышин — Рюмино, основу смеси составляют зерна размером от 20 до 70 мм (от 75 до 80 %). Невелик процент содержания пылеватых частиц — 2 %. В связи с этим образцы отсевов щебня Каменского карьера способностью цементироваться не обладают и используются в основании как рядовой щебень. Использование отсевов щебня как оптимальной смеси с максимальной крупностью зерен до 10 мм в конструкции дорожной одежды приведено на рис. 1.1.

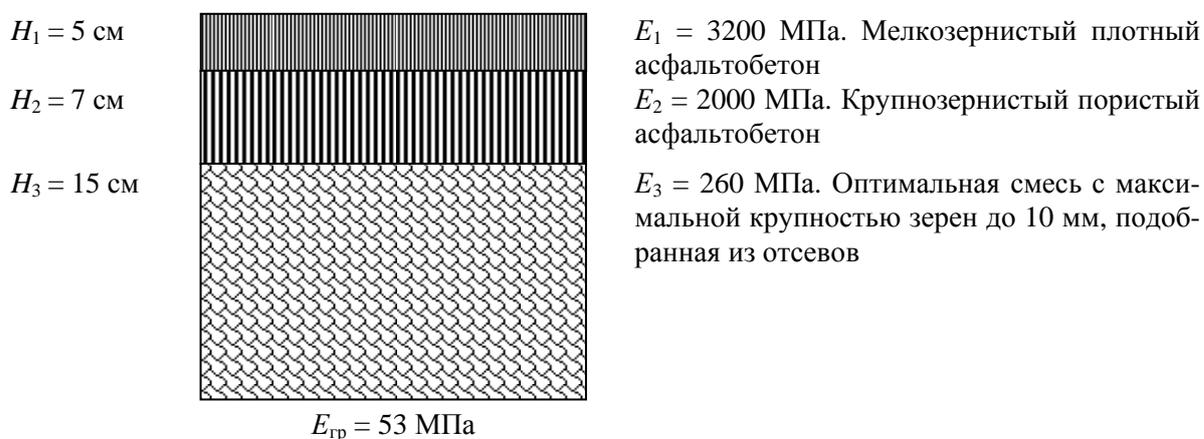


Рис. 1.1. Конструкция дорожной одежды с основанием из отсевов щебня с подобранным составом

Лабораторный анализ отсевов щебня Фроловского и Липкинского карьеров показал, что физико-механические свойства отвечают требованиям по прочности, морозостойкости, водостойкости, пластичности ГОСТ 8267—93, ГОСТ 25607—94. Содержание глины в комках соответствует требованиям ГОСТ 25607—94, гранулометрический состав соответствует требованиям ГОСТ 23558—94. Содержание пылеватых частиц находится в пределах от 10 до 21 % по весу, что является превышением норм по вышеназванным документам. Вместе с тем именно эти пылеватые частицы обладают способностью цементации, благодаря которой достигается получение минерального

бетона. Пылеватые частицы выступают в роли неорганического вяжущего. Научные исследования и опыт строительства дорожных одежд из местных материалов позволили определить требования, предъявляемые к малопрочному известняку. Содержание пылеватых частиц не должно превышать 25 %, а глины — 5 %. Для расчета конструкции дорожной одежды (I вариант) модуль упругости основания из минерального бетона был выбран в зависимости от марки прочности материала и числа пластичности частиц размером менее 0,63 мм.

II вариант: предусматривает использование типовой конструкции облегченных одежд дорог III и IV категорий с усовершенствованным покрытием, в основании которой используется отсева щебня как грунт повышенной плотности (рис. 1.2).

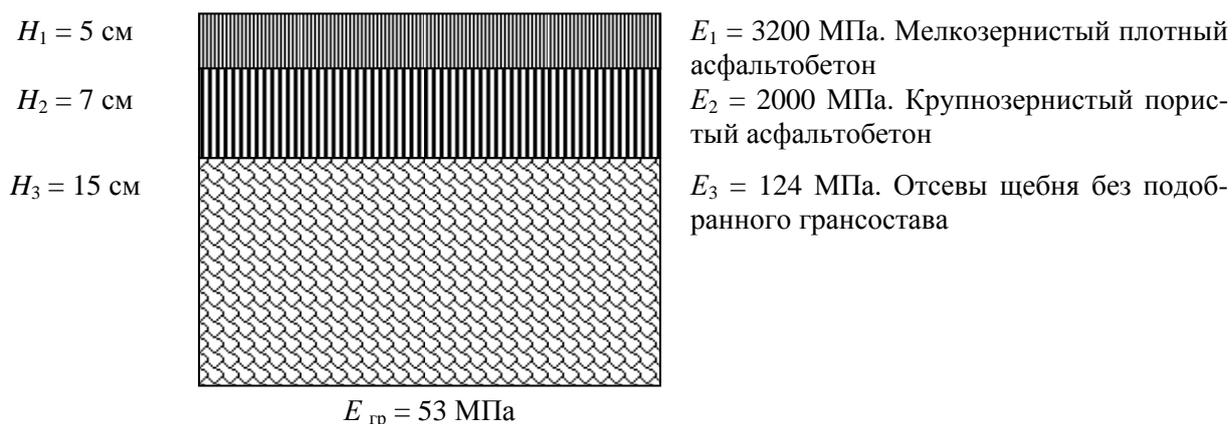


Рис. 1.2. Конструкция дорожной одежды с основанием из отсевов щебня без подобранного состава

Отсевы щебня рассматриваются как грунт-песок крупный. Все требования к материалу сохраняются в I варианте, только не рассматривается соответствие гранулометрического состава ГОСТу. Модуль упругости для основания определен $E = 124 \text{ МПа}$. Этот вариант предусматривает использование отсевов щебня в качестве основания дорожной одежды на дорогах с более низкой нагрузкой, но с различным гранулометрическим составом отсевов щебня. Рассмотренные варианты конструкции дорожной одежды рекомендованы к использованию на автомобильных дорогах IV и V технических категорий с невысокой нагрузкой на ось. Была принята минимально допустимая толщина конструктивных слоев. С увеличением толщины слоя основания из отсевов в два раза ($h_3 = 30 \text{ см}$) несущая способность дорожной одежды увеличивается на 20 %. Несущая способность I варианта конструкции дорожной одежды более высокая, чем у II варианта.

Исследования по использованию отсевов щебня Каменского, Липкинского и Фроловского карьеров, а также результаты исследований по применению малопрочных известняков без укрепления при устройстве оснований дорожных одежд на территориях России и Украины позволили сформулировать основные технические требования к этим материалам в конструировании дорожных одежд с использованием отсевов.

Хорошие результаты получены в IV и V дорожно-климатических зонах при использовании природой цементирующей способности слабопрочных известняков на принципе водосвязности, то есть самоцементации в условиях уплотнения с поливкой водой. Установлено, что по составу и номенклатуре материалов загрязненный Фроловский известняковый отсев для укрепления вяжущим можно отнести к крупнообломочным грунтам неоптимального состава, улучшенным молотым известняком. К сожалению, в нормативных документах, рассматривающих вопросы применения чистых отсевов каменных пород при устройстве основания взамен песка, не содержатся сведения об особенностях укрепления загрязненных грунтом отсевов известняка. Малопрочный известняк с большим содержанием пылеватой фракции следует обрабатывать маловязким органическим вяжущим из соображений высокой адсорбирующей способности мелких частиц известняка, повышения когезионной и адгезионной прочности вяжущего на карбонатной поверхности. В поры минерального материала избирательно впитывается масляная фракция вяжущего, что предъявляет повышенные требования к нему с точки зрения стабильности структуры. Высокой стабильностью структуры обладают гудроны атмосферно-вакуумной переработки нефти.

В последнее время широко рекламируются влажные органоминеральные смеси (ВОМС). Технология приготовления ВОМС достаточно сложна, а в случае применения известнякового минерального состава с очень большим содержанием зерен мельче 0,071 мм — неприемлема. Добиться однородной смеси, даже при использовании большого количества вяжущего с малой вязкостью, невозможно. Увлажнение карбонатного отсева, содержащего много порошка, как показывает практика, не обеспечивает равномерного распределения вяжущего; в минеральном составе остаются крупные зерна не покрытые вяжущим. Это приводит к необходимости поиска оптимальной технологии, позволяющей достигать быстрого равномерного распределения любого разумного количества органического вяжущего в минеральном материале. Такой оптимальной технологией является эмульгирование. Роль эмульгатора отводится порошкообразной фракции минерального материала. Процесс эмульгирования совмещается с обработкой материала.

Наряду с используемым чистым отсевом фракции 0,1...20 мм в Волгоградской области имеются большие запасы пока не используемого отсева известнякового камня, загрязненного примесями вскрышного грунта. С. И. Романовым проведены сопоставимые испытания исходных отсевов: чистого и загрязненного. Определены гранулометрические составы, содержание глинистых примесей, карбонатных и прочих включений, оптимальные влажности и объемные массы при стандартном уплотнении. Практика показала возможность использования слабопрочных карбонатных пород в нижних слоях без обработки вяжущим, в верхних — после обработки органическим или минеральным вяжущим. Уплотнение необработанного вяжущим слоя приводит к существенному дроблению крупных зерен: отмеченный слой в уплотненном состоянии работает как слабосцементированная плита, так как при

уплотнении с поливкой водой по мере высыхания происходит естественная самоцементация. Исследования по содержанию карбонатной породы в отсевах известняка показали их большое количество в мелких фракциях, что благотворно сказывается на сцеплении органического вяжущего при укреплении отсевов. В качестве вяжущего рассмотрен вариант использования 5...7 % гудрона. С учетом различий водно-теплового режима предложены следующие варианты конструкций дорожной одежды.

I вариант рекомендуется на 1-м типе местности и супесчаном грунте земляного полотна (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Конструкция дорожной одежды из известнякового отсева на 1-м типе местности и супесчаном грунте земляного полотна

II вариант рекомендуется в условиях возможного капиллярного водопоглощения пылеватыми известняковыми и глинистыми частицами необработанного загрязненного отсева из насыпи земляного полотна (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Конструкция дорожной одежды из известнякового отсева на 2-м типе местности с гидроизоляционным слоем

III вариант предусматривает водоотвод через песчаный слой, что снижает водопоглощение слоя из необработанного отсева (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Конструкция дорожной одежды из известнякового отсева на 2-м типе местности с песчаным дренирующим слоем

Одной из разновидностей малопрочных пористых каменных материалов, которые могут быть использованы в основании дорожных одежд, является щебень из мела. Меловые отложения Волгоградской области представляют собой слабосцементированную породу землистого сложения, состоящую из остатков скелетных образований планктонных организмов и мелких обломков кальцита. Порода полускального типа. Пористость мела — 30...80 % (чаще 40...45 %), плотность — 1,2...1,9 г/см³. Механическая прочность мела изменяется в зависимости от его влажности, пористости и минералогического состава. Примесь песка в меловых породах снижает его прочность, а глинистого вещества или кремнезема — увеличивает. Меловые породы, пропитанные кремнеземом, обладают наибольшей прочностью, их можно без специальных мероприятий использовать при строительстве оснований. Рекомендации по устройству дорожных оснований из мела типа минеральный бетон разработаны в Казфилиале СоюздорНИИ и в ТУ 5711-001-03436071—97.

Отсутствие кондиционных каменных материалов в юго-западном регионе Казахстана привело к необходимости исследовать возможности использования в дорожном строительстве ракушки и мела. В процессе самоцементации мела без его обработки вяжущим и при отсутствии избыточного увлажнения образуется минеральный бетон конструктивного слоя дорожного основания. Образование минерального бетона, выполняющего функции основания дорожной одежды, происходит при потере влаги из уплотненного при оптимальной влажности мелового слоя. Опытное дорожное строительство в Казахстане на местности 1-го типа по условиям увлажнения подтвердило целесообразность применения мела в качестве самостоятельного материала конструктивного слоя с модулем упругости 200 МПа при предотвращении водонасыщения этого материала. Рекомендации содержат основное техническое требование к мелу по массовому содержанию карбонатной породы, которое должно быть не менее 90 %, описана технология производства работ по устройству мелового основания. Аналогичные исследования для Волгоградской области представлены в ТУ 5711-001-03436071—97 и были проверены на практике.

Потребность в дефицитном каменном материале может быть удовлетворена за счет широкого использования отходов промышленности. Одним из наиболее широко известных видов отходов, которые внедрены в дорожное строительство, являются шлаки. В промышленно развитых регионах России каждый третий километр дорог построен с применением металлургических шлаков. Их утилизация является важнейшим источником получения высококачественных материалов для дорожного строительства.

В течение многих лет в городах Волгоградской области в основании дорожных одежд используется марганцовидный мартеновский шлак из старых отвалов. Шлак представляет собой смесь кусков различной крупности: щебень 25...70 мм — 40...50 %, шлаковой мелочи 5...15 мм — в среднем

20 %, шлаковых высевок 2...5 мм — 5...7 %, менее 2 мм — 3...5 %. К сожалению, такой шлак без предварительной обработки укладывался на различных улицах в основание дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием.

Для повышения качества дорожного строительства с использованием отходов промышленности учеными Белгородской государственной технологической академии строительных материалов выполнены исследования шлаков ПО «Баррикады» и ЗАО ВМЗ «Красный Октябрь» г. Волгограда. Metallургический шлак сталеплавильных печей ПО «Баррикады» образуется при варке стали в результате оплавления окислов, получающихся при окислении примесей металла, со шлакообразующимися материалами, введенными в печь, а также с окислами футеровки печи. Шлак мартеновский ВМЗ «Красный Октябрь» образуется при выплавке в мартеновских печах. Оба вида шлака относятся к 4-му классу опасности (малоопасным химическим веществам). Анализ химического состава шлака показал его состав: оксид кальция (CaO) — 41 %; диоксид кремния (SiO₂) — 20 %; оксид марганца (MnO) — 10 %; фторид кальция (CaF₂) — 12 %; оксид магния (MgO) — 6 %; триоксид хрома (Cr₂O₃) — 6 %. На полигоне ПО «Баррикады» шлак хранится с 1972 г. в пастообразном и твердом состоянии в объеме около 700 тыс. т. На полигоне ЗАО ВМЗ «Красный Октябрь» производственные отходы хранятся с 1993 г.: 17 % — в жидком состоянии; 40 % — в виде твердых отходов в общем объеме около 1900 тыс. т. Таким образом, общие запасы шлака для приготовления на их основе щебня составляют около 2600 тыс. т, что превышает существующую годовую потребность в каменном материале более чем в два раза.

Лабораторные испытания показали, что щебень из шлака имеет следующие характеристики: коэффициент формы зерен щебня — не более 2,5 d/D ; пустотность — не более 57 %; марка щебня по прочности — 1000...1200; истираемость марки М1 — 25 %, истираемость марки М2 — 25...35 %; морозостойкость — не ниже Р50; содержание слабых зерен — не более 5 %; содержание примесей пылевидных частиц — не более 3 %; содержание металлических примесей — не более 5 %; насыпная плотность — 1600 кг/м³; устойчивость структуры против распада — 3...5 %. Шлак мартеновский и шлак сталеплавильных печей прошли санитарно-токсикологическое исследование и рекомендованы для переработки в стройматериалы в виде щебня для дорожного строительства.

В 2000 г. в р. п. Городище Волгоградской области построен опытно-экспериментальный участок дорожной одежды протяженностью 200 м с асфальтобетонным покрытием на основании из шлака толщиной 20 см. Устройство шлакового основания позволило в шесть раз сократить транспортные расходы на перевозку каменного материала из Липкинского карьера. В настоящее время участок находится в хорошем состоянии, без явных провалов на асфальтобетонном покрытии.

Прочность дорожной одежды, а следовательно, и ее толщина в значительной степени определяется несущей способностью грунтового основания. Исследования доказали эффективность использования грунтов повышенной плотности в основании дорожных одежд в условиях Украины, Юга

России и Казахстана. Теоретические исследования позволили установить зависимость модуля упругости E от относительной влажности грунта W и коэффициента уплотнения k_y :

$$E = \frac{300k_y^{1,5}}{37W^{4,5} + 1}. \quad (1.1)$$

В дальнейшем зависимость (1.1) получила экспериментальное подтверждение:

для глин и суглинков

$$E = 3540,4k_y^{1,5} \exp(-15,78W - 8,36W^2); \quad (1.2)$$

для супесей легких (непылеватых)

$$E = 2094k_y^{1,5} \exp(-3,56W + 1,628W^2); \quad (1.3)$$

для крупных супесей

$$E = 82k_y^{1,5} \exp(-0,72W + 0,4W^2). \quad (1.4)$$

Зависимости угла внутреннего трения φ и сцепления C имеют вид: для суглинков, глин и супесей пылеватых

$$C = 0,034k_y^{1,5} \exp(3,94W - 6,81W^2), \quad (1.5)$$

$$\varphi = 58,6k_y(1 - W); \quad (1.6)$$

для супесей легких

$$C = 0,202k_y^{1,5} \exp(-7,58W + 4,6W^2), \quad (1.7)$$

$$\varphi = 43k_y(1 - 3W). \quad (1.8)$$

Согласно ОДН 218.046—01 использование грунтов повышенной плотности позволяет снизить расчетную влажность земляного полотна на $0,05W_t$, повысить расчетные прочностные характеристики на 15...20 %. Повышенное уплотнение грунта рекомендуется выполнять до коэффициента уплотнения 1,03...1,05 слоем 0,3...0,5 м. При проектировании дорожных одежд переуплотненный грунт следует рассматривать как самостоятельный конструктивный слой. Использование грунтов повышенной плотности в основании дорожных конструкций позволяет снизить толщину и материалоемкость одежд, за счет повышения прочности грунтового основания до 23...35 %, уменьшить стоимость их строительства до 20 %.

Как показал опыт строительства на объектах Тюменской, Новосибирской, Омской, Тамбовской и др. областей, в сравнении с традиционной конструкцией с основанием из щебня, экономический эффект за счет снижения сметной стоимости строительства (в ценах 1984 г.) составляет от 9 до 21 тыс. р. на 1 км для дорог Iс, IIс и IV технических категорий. Наибольший эффект наблюдается в районах с засушливым климатом и бедными местными каменными материалами. Весьма эффективно устройство дорожной одежды с основанием из грунта в обойме под щебеночным основанием. Обойма препят-

ствуется проникновению в ядро влаги, обеспечивает стабильность физико-механических характеристик грунта и вышерасположенного слоя щебня. При этом верхняя часть обоймы может быть представлена асфальтобетонным покрытием, а нижняя — укрепленным грунтом.

Использование прослоек из нетканого синтетического материала (НСМ) типа Дорнит позволяет повысить прочность грунтового основания, исключить песчаный дренирующий слой. НСМ в данном случае работает как дренаж, служит противозаиливающей прослойкой между слоями. Применение НСМ эффективно в районах, где существует дефицит кондиционных материалов для устройства дренирующих и морозозащитных слоев. Отказ от песчаного подстилающего слоя позволяет снизить сметную стоимость строительства до 4 %.

На основании анализа выполненных исследований и практического опыта строительства сделано заключение о существенных резервах в снижении стоимости строительства дорог с невысокой интенсивностью движения (до 300 авт./сут.) за счет более широкого использования в конструктивных слоях дорожной одежды местных малопрочных каменных необработанных материалов и обработанных органическим и минеральным вяжущими, отходов дробления щебня, шлаков, синтетических материалов, укрепленных грунтов и грунтов повышенной плотности.

1.2. КАТАЛОГИ И АТЛАСЫ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Традиционно конструирование дорожной одежды основано на выборе конструкций из ряда типовых и привязки их к местным условиям с учетом рекомендаций нормативных документов. При этом учитываются только природные факторы, дорожно-строительные материалы и их физико-прочностные характеристики. Наличие местных материалов и природные условия позволяют разрабатывать на основе типовых проектов индивидуальные конструкции дорожных одежд. Дорожные конструкции, хорошо зарекомендовавшие себя в процессе эксплуатации, из индивидуальных переходят в разряд традиционно применяемых в данном регионе. Накопленный опыт применения местных материалов при проектировании и строительстве автомобильных дорог позволил со временем разработать региональные каталоги конструкций дорожных одежд. Такие перечни существуют для ряда регионов России, Дальнего Востока, Украины, Белоруссии, Средней Азии. Региональные документы предоставляют проектировщику более широкий выбор равнопрочных и экономичных конструкций дорожных одежд. За счет широкого использования в конструктивных слоях местных материалов и отходов промышленности. Разработанные ранее региональные каталоги включают в себя конструкции дорожных одежд нежесткого типа для автомобильных дорог II—IV технических категорий в III и IV дорожно-климатических зонах для 1-го и 2-го типов местности по условиям увлажнения.

Конструкции дорожных одежд запроектированы из условий пропуска автомобилей и автопоездов с нагрузкой на одиночную ось 100 кН (группа А) для автодорог II, III технических категорий (капитальный тип дорожной одежды) и 60 кН (группа Б) для автодорог IV технической категории (облегченный тип дорожной одежды).

Представленные в атласе конструкции рассчитаны в зависимости от требуемых модулей упругости дорожной одежды и упругости грунта земляного полотна. В расчетах требуемый модуль упругости дорожной одежды изменялся от минимального до максимального в зависимости от количества расчетных автомобилей для данной технической категории дороги. Расчетные характеристики грунтов приняты для наиболее часто встречающихся в Центрально-Черноземной области грунтов, используемых для возведения земляного полотна (суглинки легкие и тяжелые, суглинки легкие пылеватые, супеси легкие, супеси пылеватые, пески пылеватые), с модулями упругости, соответствующими различной расчетной влажности от 38 до 84 МПа.

Толщина покрытий дорожных одежд принимается оптимальной из условий опыта строительства и эксплуатации автодорог в Центрально-Черноземной области и соответствует рекомендациям нормативных документов. В зависимости от вида применяемых местных материалов конструкции дорожных одежд разбиты на группы, рекомендуемые в конкретных районах Центрально-Черноземной области. Для каждой конструкции назначено несколько конкурентоспособных поставщиков местных материалов, что, в свою очередь, увеличивает количество рассматриваемых подвариантов конструкции дорожной одежды.

Основными преимуществами существующих каталогов дорожных одежд являются:

- систематизация конструкций по группам в зависимости от технической категории дороги, расчетной нагрузки, требуемого модуля упругости дорожной одежды;

- учет местных материалов и их физико-прочностных характеристик при использовании их в различных конструктивных слоях;

- учет природных условий и области проектирования;

Таким образом, создание атласов и каталогов позволило в процессе проектирования конструкций дорожных одежд нежесткого типа рассматривать несколько вариантов на основе реальных данных и с учетом особенностей региона строительства. Однако, наряду с положительными моментами при работе с атласами и каталогами, в настоящее время они не могут быть использованы при проектировании дорожных одежд, так как разработаны в соответствии с отмененной инструкцией ВСН-46—83.

Кроме того, повсеместный переход на автоматизированное проектирование дорожных одежд предполагает создание электронного регионального каталога оптимальных конструкций в виде реляционной базы данных, что обеспечит автоматизированный доступ к ним в процессе проектирования.

1.3. ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Автоматизированное проектирование дорожных одежд является одной из важных задач, решаемых в рамках системы автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР-АД). Оно включает конструирование, расчет, технико-экономический анализ и выбор оптимальной конструкции, обеспечивает многовариантность проработки проектных решений и использование методов математического моделирования. Дорожная одежда является самым дорогим элементом дороги (до 55...80 % стоимости дороги), ручные методы ее расчета трудоемки, поэтому автоматизации расчетов уделяется особое внимание. Использование компьютеров позволяет исключить ошибки, обеспечить возможность проверки многих альтернативных вариантов и получения оптимальных по стоимости конструкций. Автоматизация расчетов дорожных одежд нежесткого типа позволяет в полной мере реализовать три основных принципа проектирования:

- привязка вариантов конструкций дорожных одежд к местным материалам;
- многовариантность;
- оптимизация.

Используемые в проектных организациях программы разработаны в соответствии с известным алгоритмом. Для расчета дорожных одежд на прочность используется рекуррентная формула Е. Барбера для двухслойного полупространства. Для расчета напряжений сдвига, возникающего в малосвязанных и несвязанных материалах и грунтах, а также для определения растягивающих напряжений при изгибе в монолитных слоях используются формулы, аппроксимирующие различные участки номограмм, приведенных в ОДН-216.046—01.

Существуют различные методы поиска оптимальной конструкции дорожной одежды нежесткого типа. В качестве критерия оптимальности используется минимальная строительная стоимость конструкции дорожной одежды или приведенные затраты.

На основе алгоритмов разработаны программы по проектированию дорожных одежд нежесткого типа, которые позволяют рассматривать одновременно несколько вариантов конструкций из различных материалов. Получив по каждому из вариантов решение, удовлетворяющее всем критериям прочности, и сравнив их между собой, можно делать окончательный выбор оптимальной конструкции дорожной одежды нежесткого типа. Указанные программные продукты отличаются внешним интерфейсом, объемом вводимой информации и информационной поддержкой. Часть из них имеют банки данных физико-прочностных характеристик дорожно-строительных материалов, используемых в данном регионе, и автотранспортных средств, что упрощает процедуру ввода исходных данных.

Комплекс программ для автоматизированного проектирования дорожных одежд нежесткого типа внедрен в филиалах ГипродорНИИ, Союздорпроекте и других проектных организациях. Помимо проектирования производствен-

ных объектов он был использован Союздорпроектом в разработке типовых конструкций дорожных одежд и ГипродорНИИ в разработке каталога конструкций дорожных одежд для местных дорог. Каталог разрабатывался с учетом возможности применения в конструктивных слоях местных материалов и побочных продуктов промышленности. Применение местных дорожно-строительных материалов позволяет снизить строительную стоимость дорожной одежды. В программном комплексе ГипродорНИИ и в остальных компьютерных пакетах отсутствует информационная база местных материалов, позволяющая использовать их в конкурентоспособных вариантах дорожных одежд.

Составлен алгоритм и предложена специальная программа расчета конструкций дорожных одежд местных и внутрихозяйственных дорог с использованием местных малопрочных материалов и побочных продуктов промышленности Тульской области, где, помимо нормативно-справочной базы, учтены данные о местных материалах, побочных продуктах промышленности и их стоимости. Выбор оптимальной конструкции дорожной одежды проводится путем прямого перебора всех возможных вариантов. В качестве критерия оптимизации приняты приведенные затраты, которые наряду со строительной стоимостью учитывают затраты на ремонт и содержание.

Разработана система управления базой данных, в качестве основы для создания которой используются действующие типовые проектные решения. База данных содержит два самостоятельных модуля: в первом приведены конструкции жестких дорожных одежд; во втором — конструкции нежестких дорожных одежд. Для выбора конструкции задается перечень дорожно-строительных материалов, которые рекомендуются для устройства конструктивных слоев дорожной одежды. Управление базой данных осуществляется последовательным выбором параметров: тип дорожной одежды, дорожно-климатическая зона, тип грунта земляного полотна, приведенная расчетная интенсивность движения и ряд других. В результате конструирования определяются схема дорожной одежды, материалы конструктивных слоев дорожной одежды с указанием их марок, типов и других характеристик, рекомендуемые толщины слоев. После выбора конструкции дорожной одежды предусмотрена процедура поверочного расчета на прочность. Расчет проводится по программе, в основу которой положены требования отмененной Инструкции ВСН 46—83. Если принятая конструкция дорожной одежды не удовлетворяет каким-либо требованиям ВСН, то производят корректировку толщин слоев и повторно выполняют поверочный расчет. Основным недостатком рассматриваемой задачи является использование отмененной Инструкции ВСН 46—83, отсутствие выбора оптимального варианта дорожной одежды.

Кроме отмеченных выше программных продуктов, во все известные в России пакеты САПР-АД входит подсистема проектирования дорожных одежд. Можно отметить системы ROAD (Воронежский филиал ГипродорНИИ), CREDO (СП «Диалог», г. Минск), ROAD-МАДИ, IndorCAD и др. Особенности программ состоят в том, что в них заложена возможность расчета

стоимости запроектированного варианта дорожной одежды на основе ввода данных из локальных смет. В качестве исходных данных необходимо вносить информацию о стоимости 1 м² конструктивного слоя толщиной 1 см.

Несмотря на большое количество программ для расчета дорожных одежд, они продолжают существовать отдельно, не вовлекаются в полной мере в технологическую цепочку проектирования автомобильной дороги, что сдерживает применение в конструкциях дорожных одежд местных материалов и отходов промышленности. Необходим комплексный подход и гибкий программный продукт, позволяющий без излишних затрат времени на подготовку исходных данных осуществлять выбор из электронного банка данных рациональных типовых технологичных конструкций дорожных одежд, проверку их прочности и получение оптимальных по стоимости проектных решений.

Ввод в действие инструкции по расчету дорожных одежд нежесткого типа ОДН-216.046—01 требует пересмотра технологии поиска. Оптимизация конструкции в современных условиях в основном сводится к расчету наиболее дешевого несущего слоя основания с учетом мероприятий по снижению влажности и повышению прочности грунтов рабочего слоя земляного полотна.

Конструкция дорожной одежды, обочин и земляного полотна влияет на прочность грунтового основания в IV и V дорожно-климатических зонах (ДКЗ) (табл. 1.2). При рациональном конструировании дорожной одежды, укреплении обочин, повышенном уплотнении грунтового основания можно достигнуть снижения расчетной влажности грунта до 9,3 % и, соответственно, увеличения модуля упругости до 50 %.

Таблица 1.2

Влияние конструктивных решений на расчетную влажность и прочность грунтов рабочего слоя земляного полотна в IV и V дорожно-климатических зонах

Конструктивные мероприятия	Снижение относительной влажности грунтов, %		Увеличение модуля упругости грунтового основания, %	
	Супесь	Суглинок, глина	Супесь	Суглинок, глина
Наличие основания дорожной одежды, включая слои на границе раздела с земляным полотном, из укрепленных материалов и грунтов: крупнообломочного грунта и песка, супеси, пылеватых песков и супесей, суглинка, зологрунта	5,0...10,0	4,6...9,3	5,7...12,1	16,2...50,8
Укрепление обочин (не менее 2/3 их ширины) щебнем, гравием или асфальтобетоном	3,3...5,0	3,1...4,6	3,7...5,7	10,5...30,7

Конструктивные мероприятия	Снижение относительной влажности грунтов, %		Увеличение модуля упругости грунтового основания, %	
	Супесь	Суглинок, глина	Супесь	Суглинок, глина
Устройство гидроизолирующих прослоек из полимерных материалов	5,0...5,10	4,6...4,9	5,7...5,8	16,2...37,2
Грунт, уплотненный до $K_y = 1,03...1,05$ в слое 0,3...0,5 м от низа дорожной одежды, расположенного ниже границы промерзания	8,3...8,5	7,7...8,2	9,9...10,1	28,2...50,8

Наиболее экономичным и эффективным способом увеличения надежности дорожной одежды и снижения ее толщины является повышенное уплотнение грунтов рабочего слоя насыпи. Рост коэффициента уплотнения до 1,05 позволяет увеличить модуль упругости грунтового основания на 10...50 %. Наибольший эффект от переуплотнения грунтового основания отмечен на суглинках и глинах.

Оптимизация конструкции дорожных одежд невозможна без учета региональной расчетной влажности и прочности грунтового основания в конструкциях обочин и земляного полотна, а также грунтово-гидрологических условий. Проектирование следует выполнять обязательно с учетом мероприятий по повышению прочности нижних несущих слоев дорожной одежды и грунтов земляного полотна.

1.4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Современная теория эффективности капитальных вложений различает два понятия: общую (абсолютную) и сравнительную (относительную) эффективность. Абсолютная эффективность рассчитывается по каждому отдельно взятому объекту капитальных вложений и первоначально основывается на величине прибыли, чистой продукции или приросте национального дохода. Сравнительная эффективность основывается на снижении себестоимости сопоставимой продукции при нескольких вариантах решения задач.

При назначении и проектировании конструкции дорожной одежды сравниваются несколько вариантов, поэтому выбор оптимальной конструкции целесообразно рассматривать с позиций относительной эффективности.

Существует две разновидности оценки относительной эффективности капитальных вложений:

сравнительный метод;

метод суммарных приведенных капитальных вложений.

Первый метод основан на последовательном сравнении всех вариантов по показателям капитальных вложений и дорожно-транспортных эксплуатационных расходов с расчетом коэффициентов эффективности E или сроков окупаемости сооружений T , которые определяются по формулам

$$E_{i, j} = (\mathcal{E}_i - \mathcal{E}_j) / (K_i - K_j); \quad (1.9)$$

$$T_{i, j} = (K_i - K_j) / (\mathcal{E}_i - \mathcal{E}_j). \quad (1.10)$$

Данный метод оценки экономической эффективности приемлем в том случае, когда капитальные вложения K производятся одновременно, а годовые дорожно-транспортные эксплуатационные расходы \mathcal{E} постоянны в течение срока службы дороги.

Однако дорога может строиться стадийно, с соответствующими частичными капитальными вложениями, и тогда изменение интенсивности и состава движения в процессе эксплуатации дороги приводит к непостоянству расходов на ремонт и содержание дорог. В этом случае при оценке экономической эффективности вариантов наиболее приемлемым является метод суммарных приведенных затрат. Сущность метода состоит в том, что определяется сумма капитальных вложений (с учетом стадийности строительства), дорожных и транспортных эксплуатационных затрат с учетом, что капитальные вложения и эксплуатационные расходы осуществляются в разные сроки. При этом назначают период их суммирования (срок службы дорожной одежды), чем достигают сопоставимости затрат для различных вариантов. Наилучшим из сравниваемых проектных решений признается вариант с минимальными суммарными приведенными затратами. В общем случае величину суммарных приведенных затрат для задачи поиска оптимальной конструкции дорожной одежды на 1 км дороги определяют по формуле

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{к}} + \sum_{e=1}^T \frac{C_{\text{Т}t} + C_{\text{п}t} + C_{\text{р}t}}{(1+E)^t} - \frac{C_0}{(1+E)^{T_c}}, \quad (1.11)$$

где $C_{\text{к}}$ — первоначальные капитальные затраты на строительство дорожной одежды, тыс. р.; $C_{\text{Т}t}$ — транспортно-эксплуатационные затраты на перевозку грузов и пассажиров в году t , тыс. р.; $C_{\text{п}t}$ — затраты на приобретение подвижного состава в году t , р.; $C_{\text{р}t}$ — затраты на содержание и ремонт дорожной одежды в году t , р.; t — текущий год эксплуатации автомобильной дороги; T_c — период суммирования затрат, равный сроку службы дорожной одежды, лет; $E = 0,08 \dots 0,12$ — нормативный коэффициент для приведения к одному моменту времени разновременных затрат; C_0 — остаточная стоимость дорожной одежды, тыс. р.

Сравнение вариантов конструкций дорожных одежд по суммарным приведенным затратам проводят в том случае, когда конструкции имеют различные типы дорожной одежды или покрытия. Для равнопрочных вариантов конструкций дорожных одежд с заданным требуемым модулем упругости, одинаковым типом покрытия и материалом укрепления обочин дорожно-

эксплуатационные и транспортные расходы будут одинаковыми, и тогда сравнение можно осуществлять только по первоначальным капитальным затратам (укрупненной сметной стоимости) C_k . Однако в обоих случаях необходимо определить эти первоначальные капитальные затраты. Следует отметить, что до настоящего времени в составе стоимости строительства дорожной одежды не учитывались дополнительные затраты на мероприятия, позволяющие повысить прочность грунтового основания (укрепление обочин, повышенное уплотнение грунта основания) и уменьшить толщину дорожной одежды. Кроме того, укрепление обочин позволяет увеличить скорость и повысить безопасность движения транспортных средств, снизить транспортно-эксплуатационные затраты на перевозку пассажиров и грузов.

Расчет капитальных затрат на устройство дорожной одежды выполняется на основе локальной сметы. В настоящее время в связи со значительной трудоемкостью расчета смет, реформированием и совершенствованием сметно-нормативно базы системы ценообразования, методов расчета стоимости готовой строительной продукции, механизмов формирования договорной стоимости наиболее предпочтительно использование укрупненных показателей стоимости строительства, приведенных с помощью индекса цен к текущему году. В случае длительного или стадийного строительства автомобильной дороги возможно прогнозирование индекса сметной стоимости на весь период строительства на основе экстраполяции. Так как стоимость строительства имеет случайные отклонения относительно установленного тренда, то прогнозирование индекса возможно в пределах установленного доверительного интервала с заданным уровнем надежности. Использование базисно-индексного метода определения стоимости строительных объектов с применением укрупненных показателей по конструктивным элементам обеспечивает достаточно высокую точность сметных расчетов, интервал точности с надежностью 95 % составляет $\pm 8...13$ %. При расчете суммарных приведенных затрат для вариантов дорожных одежд с укрепленными обочинами в состав текущих затрат необходимо дополнительно включать расходы на содержание и ремонт проезжей части и укрепленных обочин, снижение транспортно-эксплуатационных затрат на перевозку грузов и пассажиров в связи с повышением скорости автотранспорта и сокращением потерь от дорожно-транспортных происшествий. Кроме того, при сравнении конструкций дорожных одежд необходимо учитывать вероятностный характер единовременных и приведенных затрат, т. е. расчет укрупненной сметной стоимости строительства и транспортно-эксплуатационных затрат следует выполнять в пределах установленного доверительного интервала на основе теории риска.

2. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ОТ ИХ ПЛОТНОСТИ И ВЛАЖНОСТИ

Анализ прочности конструкций дорожных одежд усовершенствованного и капитального типов покрытия, рассчитанных согласно ОДН-216.046—01 для IV и V дорожно-климатических зон Юга РФ, показывает, что толщина конструкций в основном определяется прочностью на сдвиг в подстилающих слоях основания и грунтах земляного полотна (рис. 2.1).

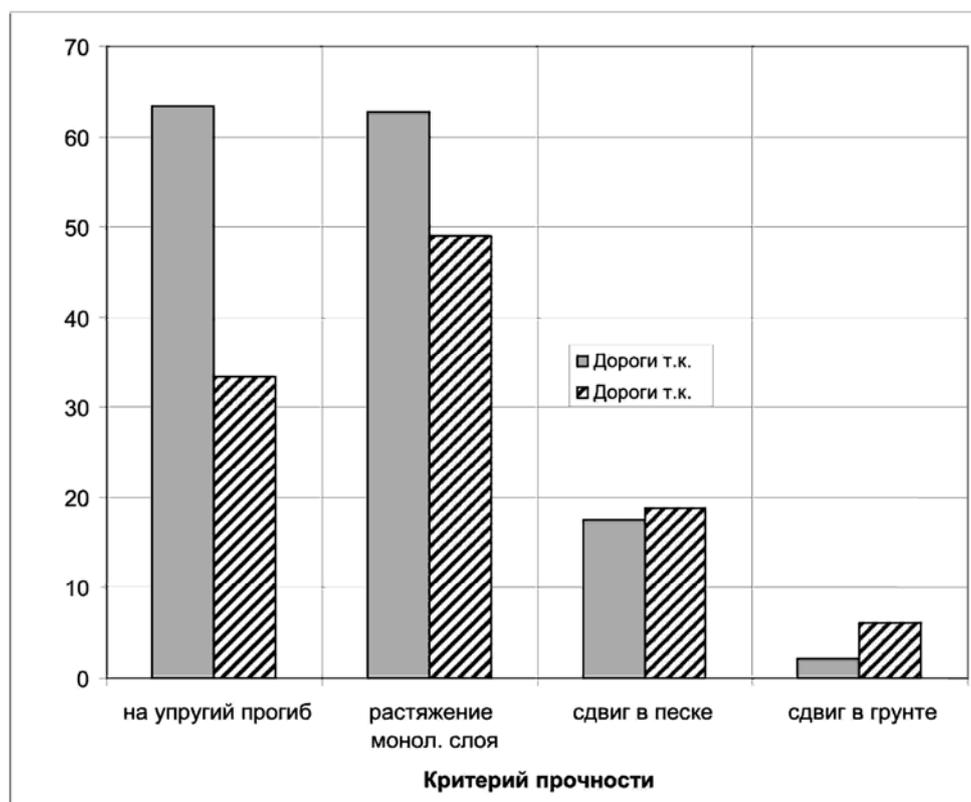


Рис. 2.1. Оценка запаса прочности дорожных одежд нежесткого типа, рассчитанных согласно ОДН 218.046—01

Выполнен регрессионный анализ зависимости толщины несущего слоя основания из щебня от его модуля упругости, прочности слоев дорожного покрытия и несущей способности грунтов земляного полотна:

$$H_{\text{осн}} = 45,8E_{\text{экв}}^{0,008}E_{\text{гр}}^{0,31}E_{\text{щ}}^{-0,24}, \quad (2.1)$$

где $E_{\text{экв}}$ — эквивалентный модуль упругости верхних конструктивных слоев дорожной одежды, обработанных органическим вяжущим; $E_{\text{гр}}$ и $E_{\text{щ}}$ — модули упругости соответственно грунта и основания из щебня.

Оценка значимости указанных факторов уравнения (2.1) по коэффициентам весомости показывает, что на толщину основания из щебня основное влияние оказывают модули упругости грунта земляного полотна (коэффициент весомости 0,31) и основания (коэффициент весомости –0,24). Влияние прочности верхних слоев дорожной одежды на толщину основания весьма незначительно, т. к. коэффициент весомости равен 0,008.

Запас прочности по упругому прогибу дорожных одежд в среднем составляет 33...63 %, запас прочности на растяжение при изгибе монолитных слоев покрытия — 49...62 %, на сдвиг в подстилающем слое песка — 17...19 %, на сдвиг в грунте земляного полотна — 2...6 % (см. рис. 2.1). Значительный запас прочности на упругий прогиб и растяжение при изгибе слоев покрытия обусловлен тем, что согласно ОДН 218.046—01 минимально допустимая толщина конструктивных слоев дорожной одежды, обработанных органическим вяжущим, увеличилась до 12...18 см. Подстилающий слой основания несет в основном функции дренажного слоя и практически не влияет на расчетную толщину дорожной одежды. Толщина подстилающего песчаного слоя назначается в зависимости от дорожно-климатической зоны, типа местности по условиям увлажнения, вида грунта земляного полотна. При расчете конструкции дорожной одежды существенно ужесточились требования к проверке на сдвиг в грунте земляного полотна. Известно, что прочностные характеристики грунтов в значительной степени определяются их гранулометрическим составом, влажностью и плотностью. В связи с этим задача исследования зависимости физико-механических характеристик глинистых грунтов Юга России от их влажности и плотности является актуальной.

В расчетах дорожных одежд в качестве параметров физико-механических свойств используются: модуль упругости $E_{\text{гр}}$, угол внутреннего трения $\varphi_{\text{гр}}$ и удельное сцепление $C_{\text{гр}}$.

Функциональные зависимости расчетных прочностных характеристик различных типов глинистых грунтов от их относительной влажности, при нормативной плотности $K_y = 0,98$, полученные в результате статистической обработки данных, представлены на рис. 2.2 и в табл. 2.1, 2.2.

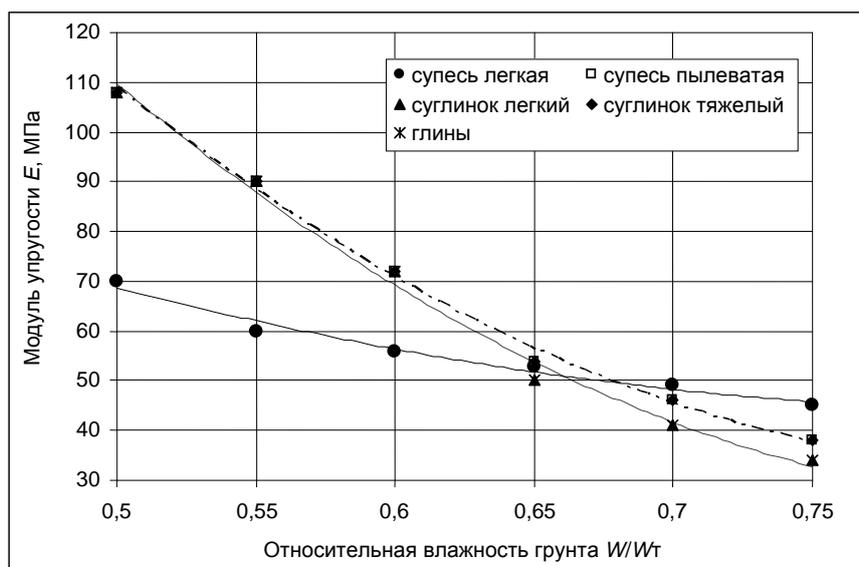


Рис. 2.2. Зависимость модуля упругости глинистого грунта от его влажности при $K_y = 0,98$

Зависимость модуля упругости глинистых грунтов от относительной влажности имеет вид

$$E_{гр} = aW_{от}^2 - bW_{от} + c, \quad (2.2)$$

где a , b , c — коэффициенты уравнения, которые зависят от типа грунта и принимаются по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Коэффициенты уравнения (2.2)

Тип грунта	Значение коэффициентов уравнения		
	a	b	c
Супесь легкая	214,29	359,86	195,14
Супесь пылеватая	642,86	1089,30	493,00
Суглинок легкий	659,00	1130,50	510,50
Суглинок тяжелый	642,86	1089,30	493,00

Сдвиговые характеристики глинистых грунтов зависят от относительной влажности грунта W и суммарного числа приложений расчетной нагрузки N_p . Зависимость угла внутреннего трения и сцепления грунтов от указанных факторов имеет вид

$$R = C_0 W^{\alpha_1} N_p^{\alpha_2}, \quad (2.3)$$

где R — сдвиговая характеристика глинистого грунта (угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$, сцепление $C_{гр}$); C_0 — коэффициент масштабирования; α_1 , α_2 — коэффициенты влияния указанных факторов на сдвиговые характеристики глинистого грунта, принимаются по табл. 2.2.

Коэффициенты уравнения (2.3)

Сдвиговые характеристика грунтов	Тип грунта	Коэффициент множественной корреляции	Значение коэффициентов уравнения		
			C_0	$\alpha 1$	$\alpha 1$
Угол внутреннего трения	Суглинки и глины	0,82	0,0045	-4,2380	-0,1034
	Супеси	0,96	0,0071	-1,6906	-0,0843
Сцепление	Суглинки и глины	0,97	5,5634	-3,4660	-0,0931
	Супеси	0,98	35,3085	-0,1021	-0,0802

Прочностные характеристики грунтов земляного полотна Юга России обуславливаются результатами полевых испытаний прочности дорожных одежд и грунтов земляного полотна автомобильных дорог Волгоградской области. Статистическая обработка результатов штамповых испытаний прочности дорожной одежды на автомобильной дороге Самара — Пугачев — Волгоград (участок дороги Волжский — Приморск, 741—773 км) показала, что коэффициент корреляции прочностных характеристик и относительной влажности глинистого грунта составляет: для модуля упругости грунта — 0,98; угла внутреннего трения — 0,97; сцепления — 0,95. Анализ показывает, что данные, полученные при обследовании дороги Волжский — Приморск подтверждают исследования В. М. Сиденко для грунтов степного и лесостепного типов почв, наиболее точно описывают зависимость прочности грунтов Юга России от его относительной влажности (рис. 2.3, 2.4, 2.5).

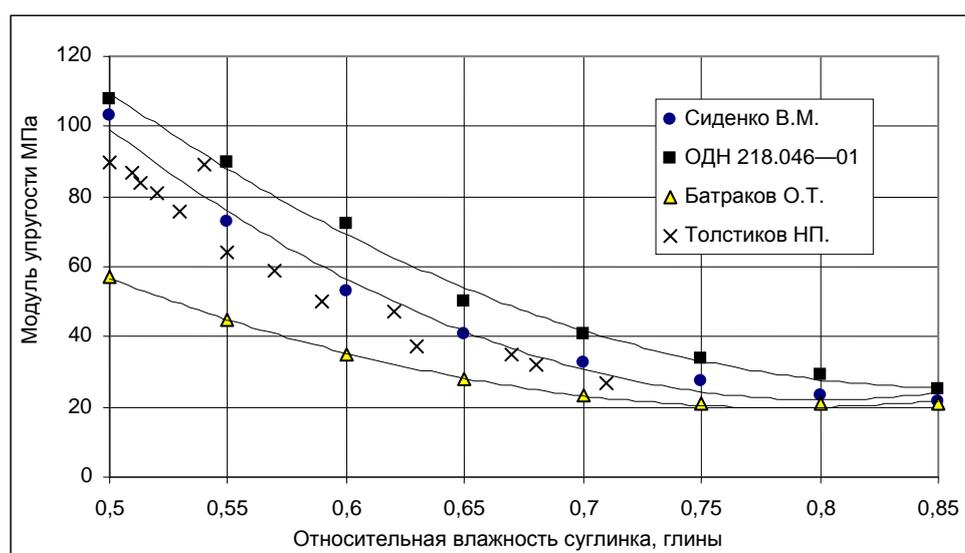


Рис 2.3. Зависимость модуля упругости грунтов от их относительной влажности

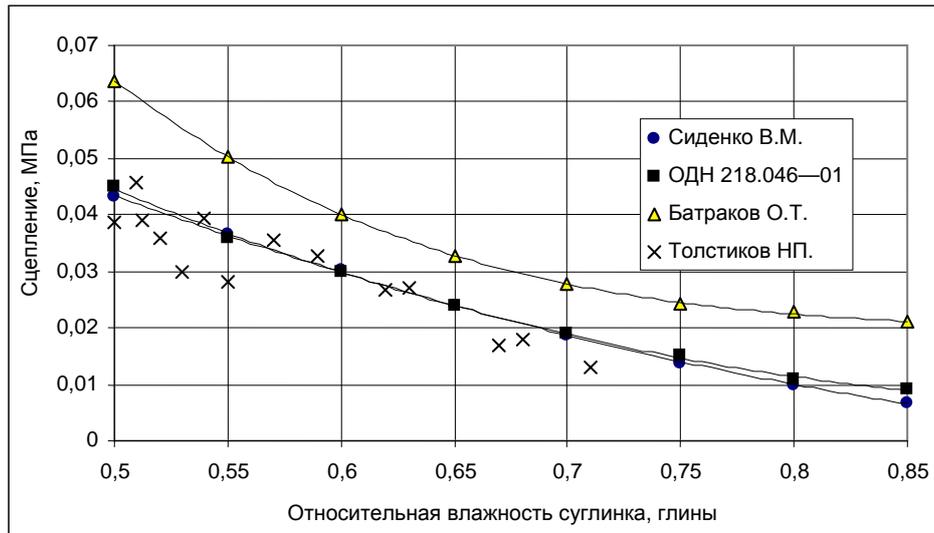


Рис 2.4. Зависимость сцепления грунтов от их относительной влажности

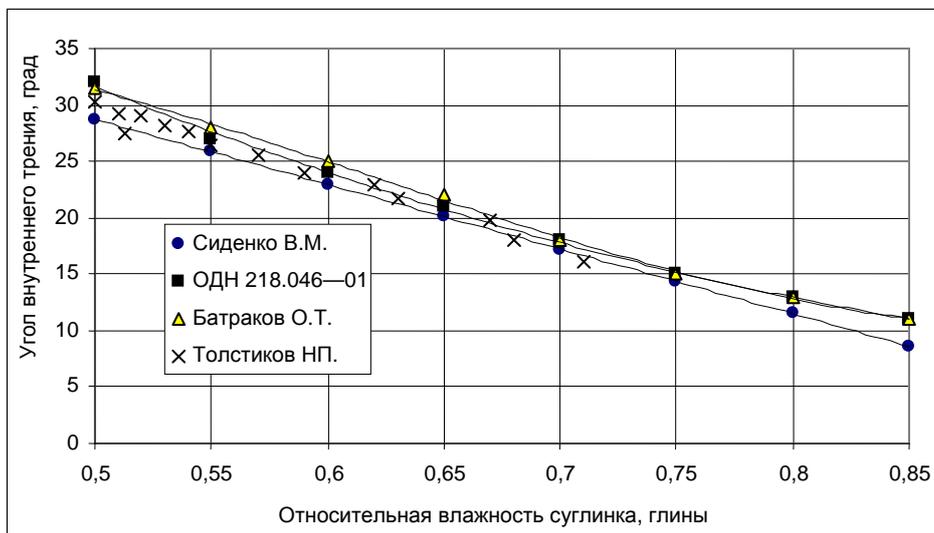


Рис 2.5. Зависимость угла внутреннего трения грунтов от относительной влажности

Одним из эффективных решений повышения надежности дорожной одежды и снижения ее толщины является повышенное уплотнения грунтов рабочего слоя насыпи.

Увеличение коэффициента уплотнения до 1,05 позволяет повысить модуль упругости грунтового основания на 10...50 % (см. табл. 1.2). При этом наибольший эффект наблюдается на суглинках тяжелых и глинах в засушливых районах Юга России, в интервале относительной влажности 0,5...0,7.

Статистическая обработка данных позволяет оценить влияние плотности грунтового основания K_y на его деформационные характеристики (рис. 2.6, 2.7, 2.8).

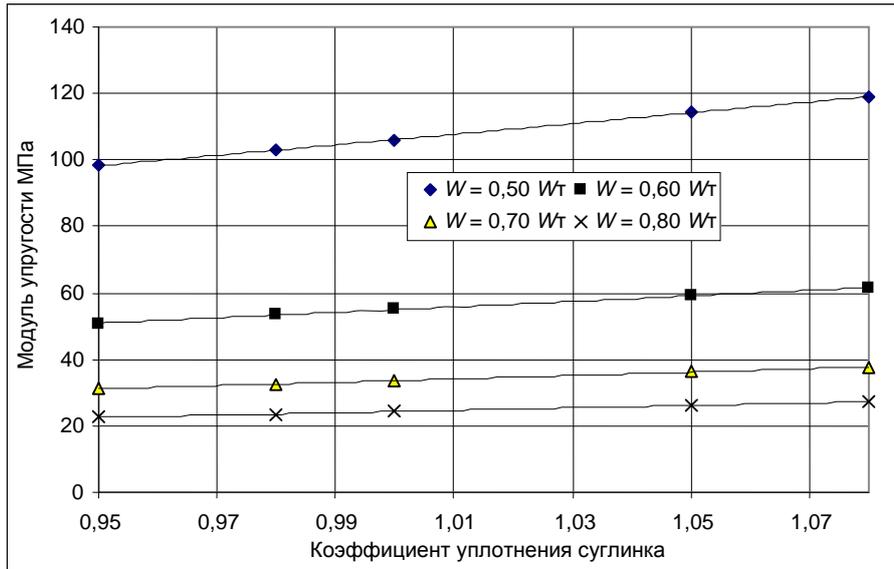


Рис 2.6. Зависимость модуля упругости грунтов от коэффициента уплотнения при различной влажности

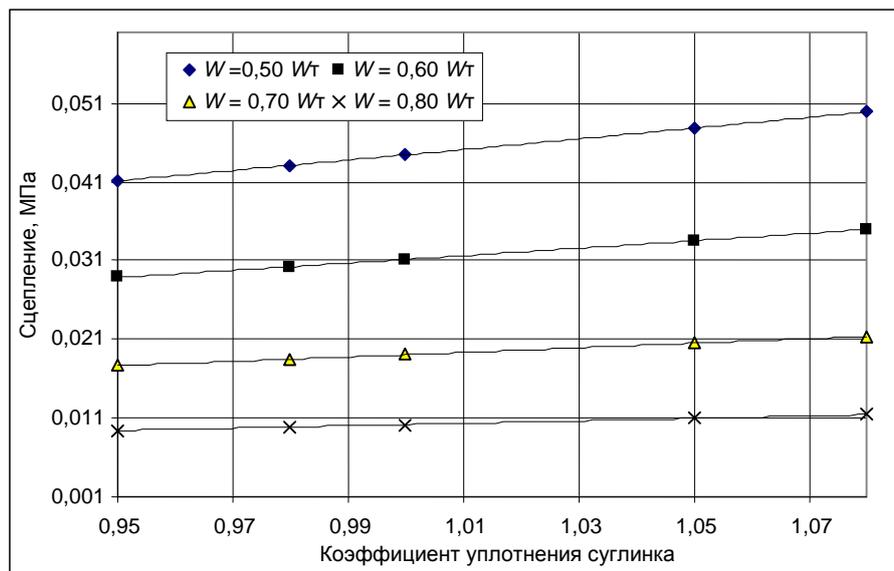


Рис 2.7. Зависимость сцепления грунтов от коэффициента уплотнения при различной влажности

Комплексное влияние относительной влажности W и плотности K_y глинистых грунтов на их прочностные характеристики описывается зависимостями:

1) модуль упругости грунта

$$E = \frac{CK_y^{1,5}}{W^a}; \quad (2.4)$$

2) сцепление в грунте

$$c = \frac{CK_y^{1,5}}{W^a}; \quad (2.5)$$

3) угол внутреннего трения грунта

$$\varphi = C + aK_y + bW. \quad (2.6)$$

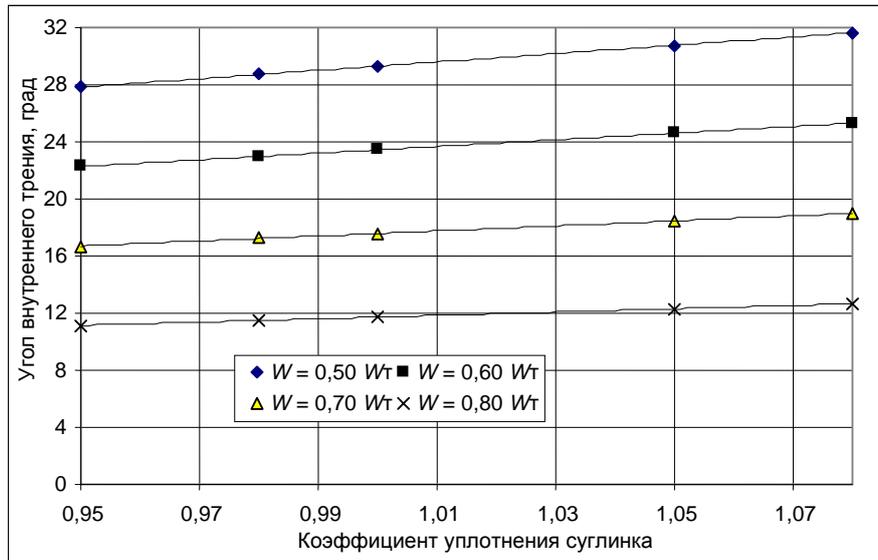


Рис 2.8. Зависимость угла внутреннего трения грунтов от коэффициента уплотнения при различной влажности

Таблица 2.3

Коэффициенты уравнений (2.4), (2.5), (2.6)

Прочностная характеристика грунтов	Тип грунта	Стандартная ошибка	Коэффициент множественной корреляции	Значение коэффициентов уравнений		
				C	a	b
Модуль упругости	Суглинки и глины	0,021	0,98	2,879	3,158	—
	Супеси	0,021	0,98	4,234	0,234	—
Угол внутреннего трения	Суглинки и глины	0,055	0,97	0,099	3,431	—
	Супеси	0,018	0,97	0,117	0,926	—
Сцепление в грунте	Суглинки и глины	0,328	0,98	40,029	19,045	-59,303
	Супеси	0,082	0,98	10,014	34,654	-14,835

Выполненные исследования позволили установить зависимость прочностных характеристик глинистых грунтов Нижнего Поволжья от их относительной влажности и плотности. Предложенные формулы (2.2)—(2.6) рекомендуется использовать в расчетах прочности дорожных одежд автомобильных дорог Юга России, при формировании каталога рациональных конструкций из местных материалов с учетом региональных дорожно-климатических особенностей Нижнего Поволжья.

2.2. МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РАСЧЕТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Для уточнения региональных значений расчетной влажности грунтов земляного полотна (ОДН 218.046—01) наиболее предпочтителен метод корреляции, основанный на использовании многолетних весенних наблюдений за влажностью почвогрунтов открытого поля, полученных на агрометеостанциях (АМС) отдельного региона по стандартной методике Гидрометеослужбы РФ. АМС, расположенные в данном регионе и имеющие близкие с проектируемой дорогой грунтовые и гидрологические условия, составляют по данным формы ТСХ-7 статистический ряд максимальных весенних влажностей почвогрунта на глубине, которая теплоэквивалентна дорожной одежде. Длительность статистического ряда принимается за период наблюдения 11...20 лет и более. Для статистического ряда влажностей находят среднеарифметическое значение влажности W_{cp} (в долях от W_T), коэффициент корреляции C_v и коэффициент асимметрии C_s . На основе зависимости влажности грунтов земляного полотна от влажности почвогрунтов открытого поля и в зависимости от принимаемой надежности (обеспеченности) вычисляется расчетная влажность полотна с учетом типа местности по условиям увлажнения и конструкции дорожной одежды по формуле

$$W_p^{cp} = \alpha\beta\gamma W_p^{op}, \quad (2.7)$$

где α — корреляционный коэффициент перехода от влажности почвогрунтов открытого поля к влажности грунтов земляного полотна; β — коэффициент, учитывающий тип местности по условиям увлажнения; γ — коэффициент, учитывающий конструкцию дорожной одежды.

Этот метод позволяет максимально учитывать региональные природно-климатические условия увлажнения типичных грунтов полотна, успешно применяется для уточнения расчетной влажности грунтов земляного полотна и дорожного районирования южной Украины, засушливых районов Туркменистана, Узбекистана, Таджикистана, Юга Западной Сибири.

Вместе с тем анализ метода АМС показал, что его эффективное использование для обоснования расчетной влажности грунтов земляного полотна в условиях Нижнего Поволжья невозможно без следующих доработок и уточнений:

в связи с отсутствием регулярных наблюдений за влажностью почвогрунтов открытого поля на АМС (по стандартной методике Гидрометеослужбы) необходима методика расчета естественной влажности почвогрунтов на основе ее зависимости от основных гидролого-климатических источников увлажнения территории (атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха);

для определения расчетной влажности почвогрунтов открытого поля необходимо исследование зависимости статистического показателя изменчивости влажности C_v ;

переход от влажности почвогрунтов к влажности земляного полотна требует уточнения значений корреляционного коэффициента α для региональных условий Нижнего Поволжья.

Для обоснования естественной расчетной влажности почвогрунтов наиболее объективными являются многолетние данные натуральных наблюдений. Однако на территории Нижнего Поволжья они не включены Гидрометеослужбой в обязательные. Данные о влажности деятельного метрового слоя грунтов в Нижнем Поволжье носят ограниченный эпизодический характер. Поэтому возникла необходимость поиска косвенных путей определения влажности на основе установленных статистических зависимостей влажности почвогрунтов от основных гидролого-климатических источников увлажнения территории.

При расчете влажности почвогрунтов открытого поля необходимо, чтобы математическая модель метода позволяла выполнять расчеты не только средней многолетней влажности грунта, но и за конкретные годы и месяцы, учитывать физические свойства грунта.

Выполненный с учетом сформулированных критериев анализ современных методов показал, что для расчетов естественной влажности грунтов в исследуемом регионе наиболее перспективен метод гидролого-климатических расчетов (ГКР). Метод ГКР позволяет рассчитать влажность грунта в естественных условиях в зависимости от гидролого-климатических условий увлажненности территории (атмосферных осадков и максимально возможного испарения). Оценка точности расчетов по предложенным формулам показала, что для агрометеостанций лесной, лесостепной и степной территорий II—IV дорожно-климатических зон среднее квадратичное отклонение фактических декадных значений влажности почвогрунтов колеблется в рамках $\pm 12\%$, максимальная ошибка не превышает пределов доверительного интервала с надежностью $P = 95\%$. Для определения статистической структуры влажности почвогрунтов выполнены расчеты относительной влажности грунтов по 17 метеостанциям, равномерно размещенным по Волгоградской области (табл. 2.4). Результаты расчетов позволяют определить влажностный режим почвогрунтов на равнинных участках местности первого и второго типов местности по условиям увлажнения, установить зависимость влажности от показателя увлажнения территории.

В качестве показателя увлажнения территории предлагается использовать коэффициент увлажнения, который был использован для гидролого-климатического районирования Восточной и Западной Сибири, Казахстана, Урала, Средней Азии и других регионов СНГ:

$$U_x = \frac{KX_{\Gamma}}{Z_{m_r}}, \quad (2.8)$$

где KX_{Γ} — сумма атмосферных осадков; Z_{m_r} — максимально возможное испарение за год.

Для расчетов Z_{m_r} за конкретные годы рекомендуется корреляционная зависимость от суммы среднемесячных температур более 0°C , $\sum t > 0$, т. е.

$$Z_{m_r} = 5,88 \sum t > 0 + 260. \quad (2.9)$$

Для определения зависимости влажности почвогрунтов области от коэффициента увлажнения в расчетный период времени дополнительно привлечены работы, позволяющие установить общую закономерность влияния гидролого-климатических факторов на влажность в пределах II—V дорожно-климатических зон.

Обработка данных работы и наблюдений агрометеослужбы Волгоградской области показала, что между коэффициентом увлажнения территории и наибольшей влажностью различных видов почвогрунта в весенний период года имеется тесная корреляционная связь (рис. 2.9, 2.10, 2.11). Следовательно, использование величины U_x для определения влажности почвогрунтов района строительства правомерно.

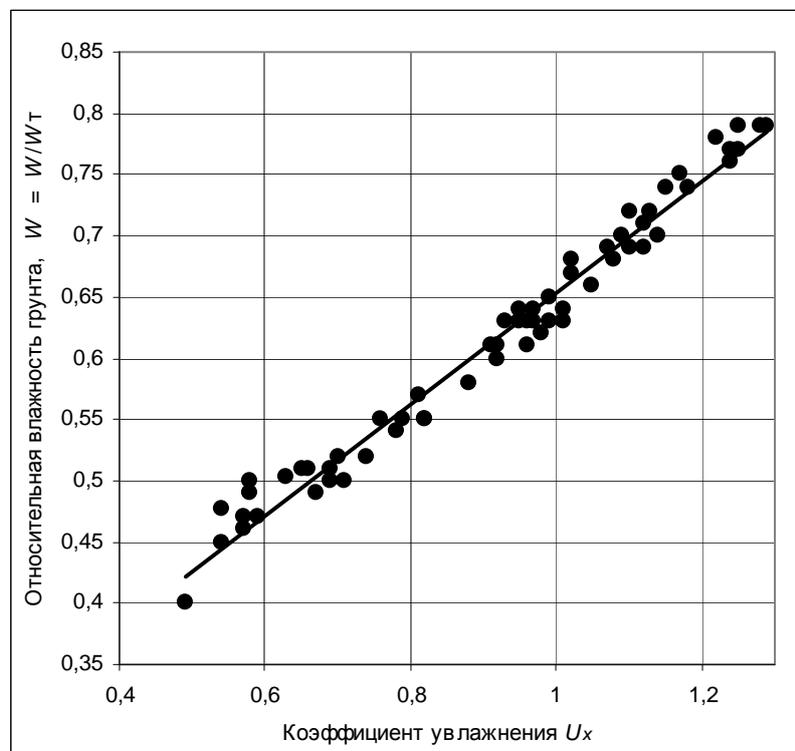


Рис. 2.9. Зависимость максимальной влажности супесчаного грунта в весенний период от коэффициента увлажнения

Таблица 2.4

Гидролого-климатические факторы увлажнения грунтов по территории Волгоградской области

Метеостанция	Годовая сумма осадков, мм	Сумма положительных среднемесячных температур воздуха, °С	Годовая сумма испарения, мм	Коэффициент увлажнения	Максимальная весенняя влажность	
					Супесь	Суглинок
Урюпинск	445	102,4	862	0,70	0,52	0,63
Елань	445	101,9	859	0,71	0,50	0,62
Рудня	607	104,6	875	0,95	0,64	0,70
Новоаннинск	450	106,6	887	0,69	0,50	0,63
Даниловка	568	105,6	881	0,88	0,58	0,67
Михайловка	450	108,1	896	0,69	0,51	0,56
Серафимович	511	112,7	923	0,76	0,55	0,60
Камышин	380	111,1	913	0,57	0,46	0,60
Ольховка	528	107,9	894	0,81	0,57	0,67
Фролово	474	108,7	899	0,72	0,55	0,66
Иловля	568	116	942	0,82	0,55	0,62
Палласовка	367	113,8	929	0,54	0,45	0,56
Эльтон	350	121,2	973	0,49	0,40	0,55
Волгоград	455	117,8	953	0,65	0,51	0,60
Калач-на-Дону	417	119,4	962	0,59	0,47	0,58
Нижний Чир	408	122,5	980	0,57	0,47	0,57
Красный Яр	409	120,3	967	0,58	0,50	0,57

Примечание: при расчете коэффициента увлажнения годовая сумма осадков принята с поправочным коэффициентом $K = 1,365$, установленным государственным гидрологическим институтом для Волгоградской области.

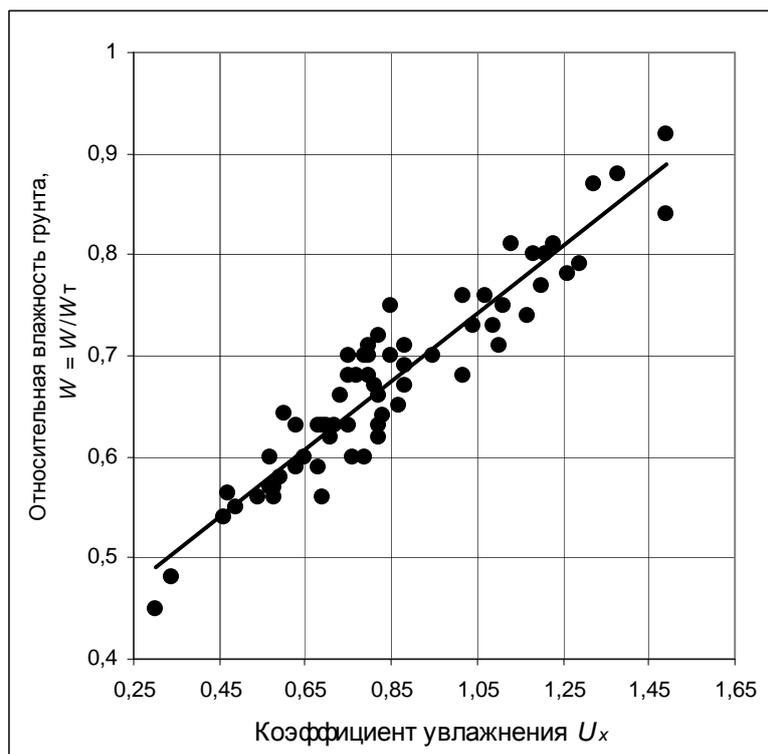


Рис. 2.10. Зависимость максимальной влажности суглинистого грунта в весенний период от коэффициента увлажнения

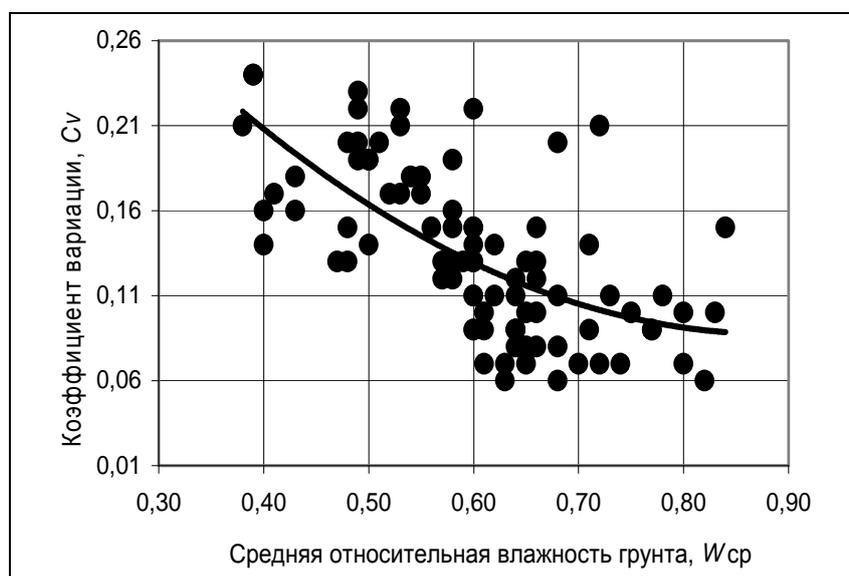


Рис. 2.11. Зависимость коэффициента вариации влажности почвогрунтов от ее математического ожидания

Уравнение множественной регрессии имеет общий вид

$$W_{cp} = W_T \left(A_i \frac{KX_{\Gamma}}{Z_{m_{\Gamma}}} + B_i \right), \quad (2.10)$$

где A_i и B_i — коэффициенты уравнения регрессии (табл. 2.5).

Параметры корреляционного уравнения (2.10)

Вид грунта	Коэффициент уравнения		Коэффициент корреляции	Ошибка R
	A	B		
Супесь пылеватая	0,451	0,199	0,99	0,020
Суглинок легкий и пылеватый	0,450	0,246	0,844	0,077
Суглинок тяжелый пылеватый	0,336	0,387	0,947	0,045
Глина пылеватая	0,336	0,430	0,937	0,049

Графики зависимости относительной влажности почвогрунтов открытого поля для территории II—V дорожно-климатических зон см. на рис. 2.9 и 2.10. С учетом выражения (2.9) зависимость (2.10) принимает вид

$$W_{cp} = \left(\frac{A_i K X_{\Gamma}}{5,88 \sum_{t > 0} t} + B_i \right) W_{\Gamma}. \quad (2.11)$$

Доказано, что влажность грунтов земляного полотна распределяется по нормальному закону. Следовательно, относительная расчетная влажность почвогрунта W_p^{on} может быть вычислена по формуле

$$W_p^{on} = W_{cp} (1 \pm t C_v), \quad (2.12)$$

где W_{cp} — среднее модальное значение относительной влажности почвогрунта, рассчитанное по формуле (2.11); t — одностороннее нормированное отклонение, зависит от принятого уровня надежности; C_v — коэффициент вариации относительной влажности почвогрунта.

Согласно ОДН 218.046—01 коэффициент вариации влажности грунта имеет постоянное значение, равное 0,1. При увеличении относительной влажности коэффициент вариации имеет тенденцию к снижению своего значения. Установлено, что показатель неоднородности влажности грунтов зависит от ее математического ожидания. С целью обоснованного назначения коэффициента вариации влажности почвогрунтов учеными ВолгГАСУ выполнены исследования влияния математического ожидания влажности грунтов естественного залегания на показатель ее изменчивости (см. рис. 2.11). Для повышения достоверности результатов привлечены данные, полученные для различных типов грунтов естественного залегания практически для всей территории России (за исключением зоны вечной мерзлоты).

Найденный результат позволил установить зависимость коэффициента вариации от средней влажности почвогрунтов при ее изменении от $0,38W_{cp}$ до $0,84W_{cp}$, которая имеет вид

$$C_v = 0,5104W_{cp}^2 - 0,9046W_{cp} + 0,4883. \quad (2.13)$$

Коэффициент корреляции равен $-0,646$ и свидетельствует о наличии достаточной обратной связи между C_v и W_{cp} .

Предложенная математическая модель влажностного режима почвогрунтов открытого поля позволяет определить расчетную влажности любого типа грунта естественного залегания в пределах деятельного слоя 1,0 м по данным наблюдений за осадками и температурой воздуха, приведенных в справочниках по климату СССР или СНиП 2.01.01—82.

Для перехода от расчетной весенней влажности почвогрунтов открытого поля к влажности грунтов активной зоны земляного полотна В. М. Сиденко предложена зависимость

$$W_p^{cp} = \alpha\beta\gamma W_p^{op}, \quad (2.14)$$

где β — коэффициент, учитывающий тип местности по условиям увлажнения, равен 1 для 1-го типа, 1,01...1,03 — для 2-го типа, 1,04...1,07 — для 3-го типа; γ — коэффициент, равный 1 для пористых граничных слоев дорожной одежды (песок, щебень, ПГС, гравий и т. п.), непосредственно укладываемых на земляное полотно, 0,85...0,95 — для плотных грунтов (укрепленные грунты); α — корреляционный коэффициент перехода от влажности грунтов открытого поля к влажности грунтов земляного полотна. Для определения коэффициента α в течение 6 лет на дорогах Волгоградской области проводились периодические наблюдения за влажностью грунтов открытого поля и грунтов земляного полотна в верхнем рабочем слое 1,0...1,2 м (рис. 2.12). Согласно выполненным исследованиям среднее значение α для региональных условий Волгоградской области равно 0,83.

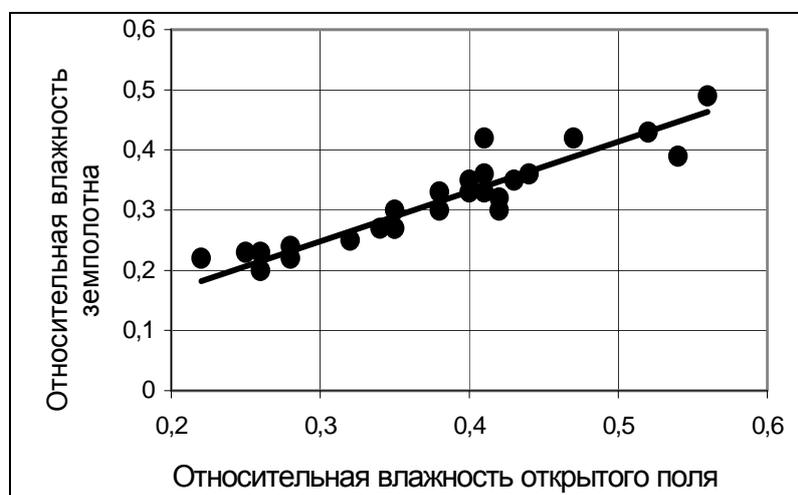


Рис. 2.12. Связь влажности грунтов земляного полотна и открытого поля

Влажность грунтов земляного полотна в активной зоне изменяется случайным образом и подчинена нормальному закону. Следовательно, расчетная влажность грунтов земляного полотна с учетом ее неоднородности рассчитывается по формуле

$$W_{зп}^p = W_p^{op} (1 \pm t C_{v,r}), \quad (2.15)$$

где W_p — среднее значение влажности в расчетный весенний период; $C_{v,r}$ — коэффициент вариации влажности в активной зоне полотна (при $W_p = 0,4 W_T$ $C_v = 0,02$; при $W_p = 0,5 W_T$ $C_v = 0,03$; при $W_p = 0,6 W_T$ $C_v = 0,04$); t — коэффициент нормированного отклонения.

Предложенная методика позволяет обосновать расчетную влажность грунтов земляного полотна по данным агрометеослужбы с учетом типа грунта, местности по условиям увлажнения и конструкции дорожной одежды.

2.3. ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

2.3.1. Оптимизация конструкции дорожной одежды по единовременным затратам

При технико-экономическом обосновании вариантов равнопрочных конструкций дорожных одежд и одинаковым типом покрытия в качестве критерия оптимальности используется стоимость единицы площади дорожной одежды $C_{до}$. Рекомендуют применять укрупненные показатели сметной стоимости строительства дорожной одежды, расчет которых можно выполнить следующими методами:

базисно-индексным методом расчета на основе базовых цен 1984, 1991 или 2000 гг. (приведенных в нормативах и сборниках укрупненных показателей стоимости строительства);

базисно-индексным методом расчета на основе показателей стоимости строительства в текущих ценах (приведенных в ежеквартальных территориальных сборниках «Индексы цен в строительстве»);

регрессионным методом расчета на основе статистической обработки проектно-сметной документации за предшествующие годы.

Преимущества и недостатки каждого из предложенных методов представлены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Рекомендации по использованию метода расчета укрупненной стоимости строительства дорожной одежды

Рекомендуемая область применения	Метод расчета стоимости строительства	Преимущества	Недостатки
Укрупненные расчеты при разработке программы развития дорог региона	Базисно-индексный метод расчета на основе базовых цен 1984, 1991, 2000 гг.	Простота расчета	Использование усредненных показателей, не учитывающих источник получения и транспортную схему поставки строительных материалов на строительный объект. Индексы цен имеют большое усреднение

Рекомендуемая область применения	Метод расчета стоимости строительства	Преимущества	Недостатки
Оптимизация проектных решений на стадии разработки инженерного проекта в условиях наличия данных о стоимости строительных материалов и услуг	Базисно-индексный метод расчета на основе текущих цен	Использование текущих цен на материалы и транспортные услуги с привязкой к транспортной схеме наставки материалов на конкретный объект строительства	Требуется достоверная информация по стоимости строительных материалов и транспортных услуг в текущем уровне цен
Оптимизация проектных решений на стадии разработки инженерного проекта в условиях отсутствия данных о стоимости строительных материалов и услуг	Регрессионный метод расчета на основе статистической обработки проектно-сметной документации за предшествующие годы	Привязка к району строительства за счет использования данных по строительным объектам за предшествующий период. Ресурсные показатели, определяются по ГЭСН—2001 (Сборник № 27) и другим действующим нормативным документам	Использование данных по строительным объектам за предшествующий период не учитывает текущий уровень цен на материалы и строительные услуги. Вследствие этого обработку данных следует производить за максимально короткий предшествующий период времени

Все методы предполагают определение стоимости строительства дорожной одежды в базовых или текущих ценах и ее прогнозирование на период строительства объекта с помощью индекса цен. Необходимость в прогнозировании стоимости объясняется постоянным ростом цен на строительные материалы и услуги в строительстве.

Анализ конструкций дорожных одежд Волгоградской области показывает, что на общую толщину дорожной одежды, а следовательно, и на ее стоимость влияет прочность грунтового основания. Коэффициент корреляции толщины дорожной одежды от модуля упругости грунтового основания составляет 0,52...0,55. При конструировании дорожных одежд в ОДН 218.046—01 предусмотрены мероприятия по повышению прочности грунтового основания: устройство слоя переуплотненного грунта в обойме и без нее; укладка прослоек из нетканого синтетического материала или георешетки; замена глинистого грунта на качественный песчаный; укрепление обочин. Поэтому в расчет укрупненной сметной стоимости строительства целесообразно включать затраты в конструктивные решения, позволяющие снизить толщины дорожной одежды.

Определение сметной стоимости строительства дорожной одежды достаточно трудоемко, требует расчета большого количества статей затрат. При этом точность расчетов составляет $\pm 8...13$ %. Поэтому необходимо на основе анализа проектно-сметной документации выделить наиболее значимые затраты для определения укрупненных показателей стоимости строитель-

ва. С этой целью выполнен анализ сметной документации на строительство дорожной одежды по 38 объектам Волгоградской области. Установлено, что стоимость конструкций в основном определяется затратами на строительные материалы и транспортные расходы (рис. 2.13).

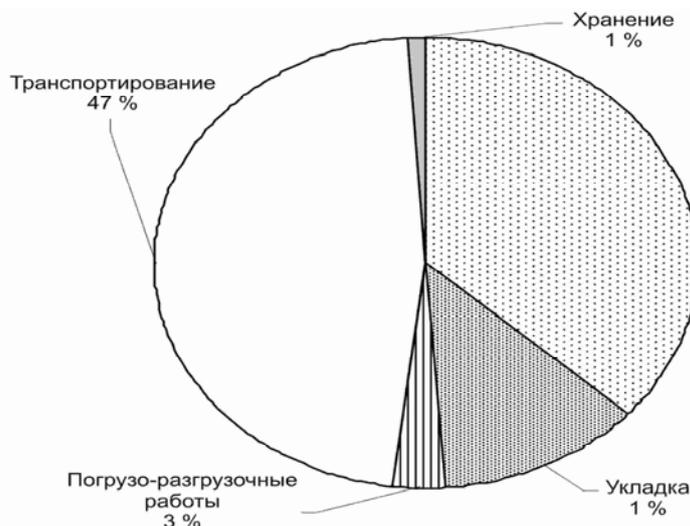


Рис. 2.13. Средняя структура затрат на строительство дорожной одежды в Волгоградской области

Их доли в общей стоимости составляют соответственно 37 % и 47 %. При этом затраты непосредственно в устройство дорожной одежды на дороге незначительны, в среднем 12 % от общих строительных затрат, а доля транспортных затрат в общей стоимости строительства может достигать 60 %. Поэтому определение укрупненной стоимости строительства 1 см толщины конструктивного слоя дорожной одежды рекомендуется выполнять по следующим формулам:

а) при оптимизации конструкции базисно-индексным методом в качестве целевой функции используется прогнозируемая на период строительства минимальная стоимость $C_{д.о}$ дорожной одежды, которая равна

$$C_{д.о} = K_j \left[\left(\sum_{i=1}^n H_i C_i \right) + H_{акт} C_{з.п} + C_{об} \right] \rightarrow \min, \quad (2.16)$$

где H_i — толщина i -го конструктивного слоя дорожной одежды, см.; C_i — стоимость единицы толщины i -го конструктивного слоя, отнесенная к единице площади этого слоя в базовых ценах, р./см; n — количество конструктивных слоев; $C_{з.п}$ — стоимость земляных работ в пределах активной зоны (рабочего слоя $H_{акт}$) земляного полотна в базовых ценах, р./м³; $C_{об}$ — затраты в укрепление обочин р./м²; K_j — индекс, рассчитывается с учетом вклада каждого из конструктивных слоев в сметную стоимость строительства по формуле

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^n K_j^i q^i}{\sum_{i=1}^n q^i}, \quad (2.17)$$

где q^i — доля или вклад i -го конструктивного слоя в общую стоимость конструкции дорожной одежды; K_j^i — индекс стоимости i -го конструктивного слоя в период времени j .

При отсутствии данных для расчета по (2.17), K_j принимается для строительной отрасли региона в целом;

б) при расчете в текущих ценах, с учетом расчет выполняется по формуле

$$C_{д.о} = 1,13 \left[\sum_{i=1}^n g_{mi} (\gamma T_i + C_{mi}) + \sum_{j=1}^m g_{пj} (\gamma T_j + C_{пj}) + \sum_{j=1}^m g_{oj} (\gamma T_j + C_{oj}) \right] + H \rightarrow \min, \quad (2.18)$$

где i — вид материала; g_{mi} — норма расхода i -го местного материала на устройство 100 м^2 ; γ — коэффициент перехода от массы нетто к массе брутто; T_i — транспортные расходы на доставку местного материала; C_{mi} — отпускная цена местного материала; g_{oi} — норма расхода i -го местного материала на устройство 100 м^2 обочины; C_{oi} — отпускная цена материала для укрепления обочин; 1,13 — поправка на затраты, связанные с работами по укладке материала на трассе; $g_{пj}$ — норма расхода j -го привозного материала на устройство 100 м^2 конструктивного слоя толщиной 1 см; γ — коэффициент перехода от массы нетто к массе брутто; T_j — транспортные расходы на доставку привозного материала; $C_{пj}$ — отпускная цена привозного материала; H — наценка организации снабжения и сбыта;

в) регрессионный метод расчета основан на регрессионной зависимости стоимости ($C_{д.о}$) от основных ресурсных показателей. Подбор регрессионных зависимостей выполнен на основе статистической обработки 44 проектов по 26 административным районам Волгоградской области, данных ГЭСН—2001 (Сборник № 27), ВСН 42—91 и ЕниР Е17 (рис. 2.14, 2.15, 2.16).

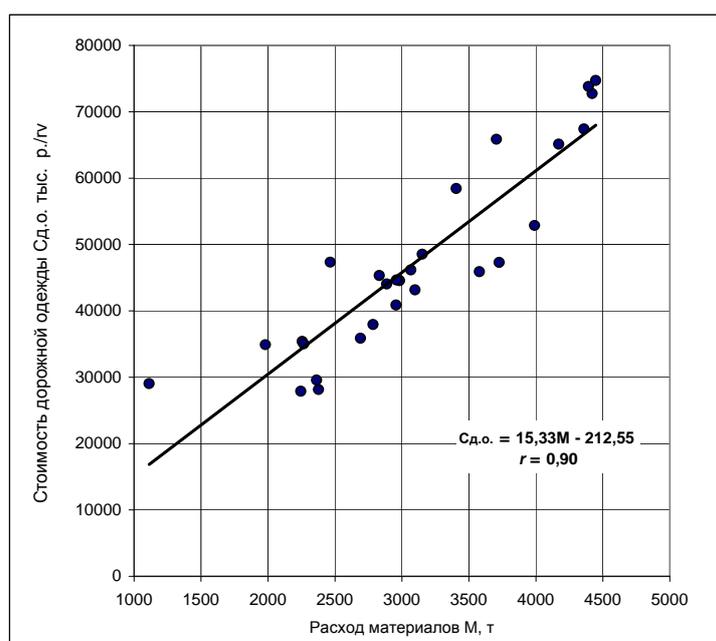


Рис. 2.14. Зависимость стоимости дорожной одежды от материалоемкости конструкции

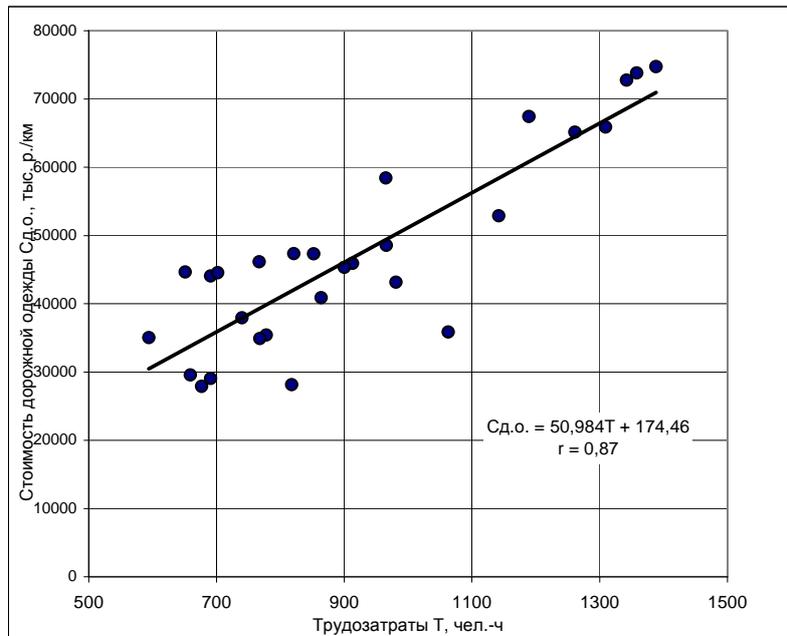


Рис. 2.15. Зависимость стоимости дорожной одежды от трудоемкости

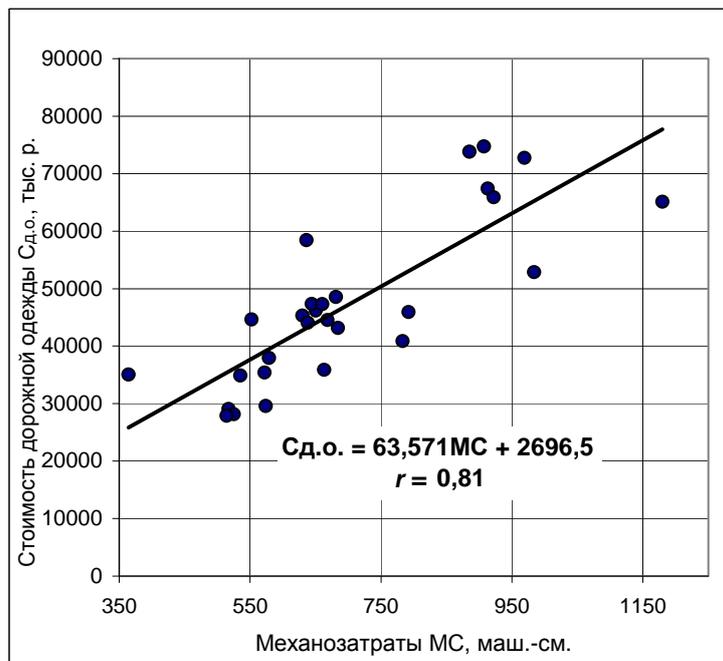


Рис. 2.16. Зависимость стоимости дорожной одежды от машинозатрат

Доля затрат в общей стоимости составляет:

материалы — 55 %;

затраты на эксплуатацию механизмов — 16 % (в том числе 10 % — расходы на ГСМ);

зарплата — 29 %.

Сметная стоимость формируется: материалоемкостью (М), затратами на эксплуатацию механизмов МС и трудозатратами Т. Между указанными ресурсными показателями и стоимостью дорожных одежд установлены линейные зависимости.

Комплексное влияние указанных ресурсных показателей на стоимость дорожной одежды для Волгоградской области представлена функцией

$$C_{до} = 384,04Q^{0,507}MC^{0,130}T^{0,390}. \quad (2.19)$$

Коэффициент множественной корреляции равен 0,89.

Ресурсные показатели рекомендуется определять по ГЭСН—2001 (Сборник № 27) или по установленным ниже зависимостям.

1. Подстилающий слой из песка:

$$Q_{п} = 1,1198h + 0,0618, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2,$$

где h — толщина конструктивного слоя, см.

2. Армирование грунтового основания синтетическим материалом:

$$Q_{с.м} = 98,869 - 19,407b + 3,309B, \text{ м}^2/100 \text{ м}^2,$$

где b — ширина полотна ($b = 1,40 \dots 2,50$ м), м; B — ширина основания, м.

3. Основание из щебня:

фракции 40...70 мм:

$$Q_{щ} = 1,3257h + 2,5182, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2,$$

в том числе расклинивающая фракция 20...5 мм — $2,5 \text{ м}^3/100 \text{ м}^2$;

фракции 70...120 мм:

$$Q_{щ} = 1,2759h + 3,0193, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2,$$

в том числе расклинивающая фракция 40...5 мм — $3 \text{ м}^3/100 \text{ м}^2$.

4. Основание из шлака:

из щебня шлакового фракции 40...70 мм:

$$Q_{щ} = 1,480h + 18,111K_y - 23,865, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2,$$

в том числе расклинивающая фракция 20...5 мм — $2,5 \text{ м}^3/100 \text{ м}^2$;

из щебня шлакового фракции 70...120 мм:

$$Q_{щ} = 1,480h + 18,111K_y - 23,365, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2,$$

в том числе расклинивающая фракция 40...5 мм — $3 \text{ м}^3/100 \text{ м}^2$,

где K_y — коэффициент уплотнения материала ($K_y = 1,4 \dots 1,5$).

5. Основание из песчано-гравийной смеси:

$$Q_{п-г.с} = 1,254h + 19,333K_y - 23,993, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2,$$

где $K_y = 1,25 \dots 1,3$.

6. Основание из щебня (гравия) методом смешения с битумом на дороге:

1) при использовании щебня или гравия фракции 0...40 мм:

$$Q_{щ} = -17,251 + 2,0944h + 6,745\gamma, \text{ т}/100 \text{ м}^2;$$

расход битума жидкого:

$$Q_б = -0,944 + 0,1166h + 0,3623\gamma, \text{ т}/100 \text{ м}^2,$$

где γ — объемная масса материала ($\gamma = 1,85 - 3,20 \text{ т}/\text{м}^3$);

2) при использовании щебня или гравия фракции 0...20 мм:

$$Q_{щ} = -17,883 + 2,212h + 6,462\gamma, \text{ т}/100 \text{ м}^2;$$

расход битума жидкого: $Q_б = -1,211 + 0,1512h + 0,4470\gamma, \text{ т}/100 \text{ м}^2$.

7. Основание из черного щебня методом пропитки на дороге:

методом полупропитки до 7 см:

щебень Ф70...5(3) мм:

$$Q_{щ} = 1,375h - 0,245, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2;$$

расход битума жидкого:

$$Q_6 = 0,11h + 0,042, \text{ т/100 м}^2;$$

методом глубокой пропитки до 10 см:

щебень $\Phi 70 \dots 5$ (3) мм:

$$Q_{\text{щ}} = 1,165h + 0,98, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2;$$

расход битума жидкого:

$$Q_6 = 0,11h + 0,022, \text{ т/100 м}^2.$$

8. Основание из грунта, укрепленного цементом, расход цемента:

$$Q_{\text{ц}} = -2,2832 + 0,2537\alpha + 0,1561h, \text{ т/100 м}^2,$$

где α — доля цемента в цементогрунте ($\alpha = 6 \dots 12$ %).

9. Укрепление обочин каменным материалом:

1) при укреплении щебнем (гравием) или ПГС:

$$Q_{\text{щ}} = -16,169 + 1,289h + 12,769K_y, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2;$$

2) при укреплении шлаком:

$$Q_{\text{щ}} = -16,271 + 1,457h + 11,306K_y, \text{ м}^3/100 \text{ м}^2.$$

10. Покрытие из черного щебня $\Phi 5 \dots 40$ мм:

черная щебенистая смесь фракции 5...40 мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -18,573 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

$$\gamma = 2,46 \dots 2,66 \text{ т/м}^3;$$

подгрунтовка основания битумом — 0,08 т/100 м².

11. Покрытие из фракционированного черного щебня:

общий расход щебня фракционированного черного 5...40 мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -13,549 + 2,086h + 5,5149\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

в том числе щебень черный фракции 10...20 мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -0,653 + 0,655\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

в том числе щебень черный фракции 5...10 мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -0,028 + 0,321\gamma, \text{ т/100 м}^2, \gamma = 2,50 \dots 3,20 \text{ т/м}^3.$$

12. Устройство асфальтобетонного покрытия из крупнозернистой асфальтобетонной смеси:

1) общий расход щебня:

$$Q_{\text{щ}} = -12,23 + 1,697h + 5,180\gamma, \text{ т/100 м}^2,$$

в том числе щебень фракции 25...40 мм:

$$Q_{\text{щ}} = -4,795 + 0,665h + 2,030\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

щебень фракции 15...20 мм:

$$Q_{\text{щ}} = -3,479 + 0,482h + 1,473\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

щебень фракции 5...10 мм:

$$Q_{\text{щ}} = -2,648 + 0,367h + 1,121\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

щебень фракции 3...5 мм:

$$Q_{\text{щ}} = -1,315 + 0,182h + 0,557\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

2) общий расход песка:

$$Q_{\text{п}} = -3,63 + 0,504h + 1,539\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

3) расход минерального порошка:

$$Q_{\text{пор}} = -0,661 + 0,092h + 0,279\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

4) общий расход битума с учетом подгрунтовки:

$$Q_6 = -0,714 + 0,110h + 0,336\gamma, \text{ т/100 м}^2.$$

13. Устройство покрытия из мелкозернистой асфальтобетонной смеси:

1) общий расход щебня:

$$Q_{\text{щ}} = -8,799 + 1,219h + 3,722\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

в том числе: щебень фракции 5...10 мм:

$$Q_{\text{щ}} = -6,837 + 0,948h + 2,894\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

щебень фракции 3...5 мм:

$$Q_{\text{щ}} = -1,956 + 0,271h + 0,828\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

2) общий расход песка:

$$Q_{\text{п}} = -5,851 + 0,811h + 2,477\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

3) расход минерального порошка:

$$Q_{\text{пор}} = -1,635 + 0,227h + 0,692\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

4) общий расход битума с учетом подгрунтовки:

$$Q_6 = -0,979 + 0,1469h + 0,448\gamma, \text{ т/100 м}^2; \gamma = 2,26...2,50 \text{ г/см}^3.$$

14. Устройство покрытия из горячего черного щебня изверженных пород:

1) при использовании щебня фракции 20(25)...40 мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -17,593 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

расход битума вязкого:

$$Q_6 = -0,4883 + 0,0792h + 0,2215\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

2) при использовании щебня фракции 10(15)...20(25) мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -17,603 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

расход битума вязкого:

$$Q_6 = -0,6778 + 0,1056h + 0,2954\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

3) при использовании щебня фракции 3(5)...10(15) мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -17,608 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

расход битума вязкого:

$$Q_6 = -0,7725 + 0,1187h + 0,3323\gamma, \text{ т/100 м}^2.$$

15. Устройство покрытия из горячего черного щебня осадочных пород:

1) при использовании щебня фракции 20(25)...40 мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -17,603 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

расход битума вязкого:

$$Q_6 = -0,2989 + 0,0528h + 0,1477\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

2) при использовании щебня фракции 10(15)...20(25) мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -17,613 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

расход битума вязкого:

$$Q_6 = -0,4883 + 0,0792h + 0,2215\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

3) при использовании щебня фракции 3(5)...10(15) мм:

$$Q_{\text{ч. щ}} = -17,618 + 2,5875h + 7,2398\gamma, \text{ т/100 м}^2;$$

расход битума вязкого:

$$Q_6 = -0,583 + 0,0924h + 0,2584\gamma, \text{ т/100 м}^2.$$

Трудозатраты T и машинозатраты MC конструкции зависят от толщины слоев h , их количества N , строительных материалов и рассчитываются по формулам

$$T = \sum_{i=1}^N a_i h_i + b_i, \text{ чел.-см.}; \quad (2.20)$$

$$M = \sum_{i=1}^N c_i h_i + d_i, \text{ маш.-см.}, \quad (2.21)$$

где a, b, c, d — коэффициенты уравнения (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Значения коэффициентов уравнений (2.20) и (2.21)

Конструктивный слой дорожной одежды	Значения коэффициентов уравнений			
	a	b	c	d
Песчаный подстилающий слой	0,045	0,225	0,044	0,220
Основание из щебня фракционированного с расклинцовкой мелким щебнем	0,105	0,525	0,126	0,630
Основание из грунтов укрепленных цементом	0,100	0,504	0,161	0,8064
Основание из смесей песка и 50 % щебня	0,158	0,792	0,129	0,645
Основание из щебня с пропиткой битумом	0,087	0,435	0,176	0,835
Покрытие из щебня с пропиткой битумом	0,099	0,495	0,15	0,75
Основание из щебня с пропиткой песко-цементной смесью	0,096	0,480	0,171	0,858
Основание из щебня или гравия, обработанного битумом методом смешения на дороге	0,106	0,531	0,128	0,639
Верхний слой основания или покрытие из черного горячего щебня или крупнозернистой пористой асфальтобетонной смеси	0,231	1,155	0,588	-2,94
Покрытие из мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси	0,245	1,224	0,618	-3,09

Укрупненные показатели стоимости слоев дорожной одежды приведены в табл. 2.8.

Так как стоимость конструкции имеет вероятностный характер, подчинена нормальному закону распределения, то индекс K_j находится в пределах доверительного интервала

$$K_j - t\sigma \leq K_j \leq K_j + t\sigma, \quad (2.22)$$

где σ — среднее квадратическое отклонение индекса цен относительно выявленного тренда. Тогда стоимость конструкции дорожной одежды в период строительства изменяется в пределах

$$C_{д.о}(K_j - t\sigma) \leq C_{д.о}K_j \leq C_{д.о}(K_j + t\sigma). \quad (2.23)$$

Стоимость сравниваемых вариантов дорожной одежды имеет законы распределения $F(C_{д.о1})$ и $F(C_{д.о2})$ (рис. 2.17).

Таблица 2.8

Стоимость строительства конструктивных слоев дорожной одежды на дорогах Волгоградской области

Район	Стоимость 1м ² конструктивных слоев дорожной одежды (при толщине 1 см) р./ м ²													
	Песок		Щебень		А/б к.з.*		А/б м.з.**		Цем. грунт		Черн. щебень		Чер. щеб. проп.	
	1984 г.	2000 г.	1984 г.	2000 г.	1984 г.	2000 г.	1984 г.	2000 г.	1984 г.	2000 г.	1984 г.	2000 г.	1984 г.	2000 г.
Алексеевский	0,08	1,31	0,12	1,97	0,42	6,88	0,43	7,04	0,10	1,71	0,30	4,91	1,34	21,87
Быковский	0,10	1,64	0,17	2,78	0,37	6,06	0,4	6,55	0,10	1,59	0,28	4,57	1,24	20,34
Городищенский	0,05	0,82	0,13	2,13	0,39	6,39	0,42	6,88	0,10	1,67	0,29	4,80	1,30	21,36
Даниловский	0,04	0,66	0,18	2,95	0,36	5,90	0,39	6,39	0,09	1,55	0,27	4,45	1,21	19,83
Жирновский	0,05	0,82	0,09	1,47	0,35	5,73	0,38	6,22	0,09	1,51	0,26	4,34	1,18	19,32
Иловлинский	0,03	0,49	0,06	0,98	0,33	5,41	0,36	5,90	0,09	1,43	0,25	4,11	1,12	18,31
Киквидзенский	0,05	0,82	0,21	3,44	0,38	6,22	0,41	6,72	0,10	1,63	0,29	4,68	1,27	20,85
Калачевский	0,05	0,82	0,15	2,46	0,37	6,06	0,4	6,55	0,10	1,59	0,28	4,57	1,24	20,34
Клетский	0,05	0,82	0,07	1,15	0,38	6,22	0,41	6,72	0,10	1,63	0,29	4,68	1,27	20,85
Котовский	0,04	0,66	0,14	2,29	0,36	5,90	0,39	6,39	0,09	1,55	0,27	4,45	1,21	19,83
Котельниковский	0,06	0,98	0,15	2,46	0,36	5,90	0,39	6,39	0,09	1,55	0,27	4,45	1,21	19,83
Кумылженский	0,05	0,82	0,16	2,62	0,41	6,72	0,44	7,21	0,11	1,75	0,31	5,02	1,37	22,38
Ленинский	0,07	1,15	0,18	2,95	0,4	6,55	0,43	7,04	0,10	1,71	0,30	4,91	1,34	21,87
Нехаевский	0,05	0,82	0,21	3,44	0,37	6,06	0,4	6,55	0,10	1,59	0,28	4,57	1,24	20,34
Николаевский	0,05	0,82	0,21	3,44	0,38	6,22	0,41	6,72	0,10	1,63	0,29	4,68	1,27	20,85
Ольховский	0,04	0,66	0,14	2,29	0,35	5,73	0,38	6,22	0,09	1,51	0,26	4,34	1,18	19,32
Палласовский	0,15	2,46	0,19	3,11	0,39	6,39	0,42	6,88	0,10	1,67	0,29	4,80	1,30	21,36
Руднянский	0,06	0,98	0,14	2,29	0,37	6,06	0,4	6,55	0,10	1,59	0,28	4,57	1,24	20,34
Светлоярский	0,04	0,66	0,15	2,46	0,4	6,55	0,43	7,04	0,10	1,71	0,30	4,91	1,34	21,87
Серафимовичский	0,04	0,66	0,21	3,44	0,39	6,39	0,43	7,04	0,10	1,71	0,30	4,91	1,34	21,87
Среднеахтубинский	0,05	0,82	0,16	2,62	0,37	6,06	0,4	6,55	0,10	1,59	0,28	4,57	1,24	20,34
Старополтавский	0,05	0,82	0,2	3,28	0,35	5,73	0,38	6,22	0,09	1,51	0,26	4,34	1,18	19,32
Суруикинский	0,04	0,66	0,25	4,10	0,39	6,39	0,42	6,88	0,10	1,67	0,29	4,80	1,30	21,36
Урюпинский	0,06	0,98	0,11	1,80	0,36	5,90	0,39	6,39	0,09	1,55	0,27	4,45	1,21	19,83
Фроловский	0,05	0,82	0,06	0,98	0,35	5,73	0,37	6,06	0,09	1,47	0,26	4,22	1,15	18,82
Чернышковский	0,03	0,49	0,21	3,44	0,39	6,39	0,42	6,88	0,10	1,67	0,29	4,80	1,30	21,36

Примечание: для перехода от цен 2000 г. к ценам 2012 г. используется индекс 5,22

* Асфальтобетон крупнозернистый

** Асфальтобетон мелкозернистый

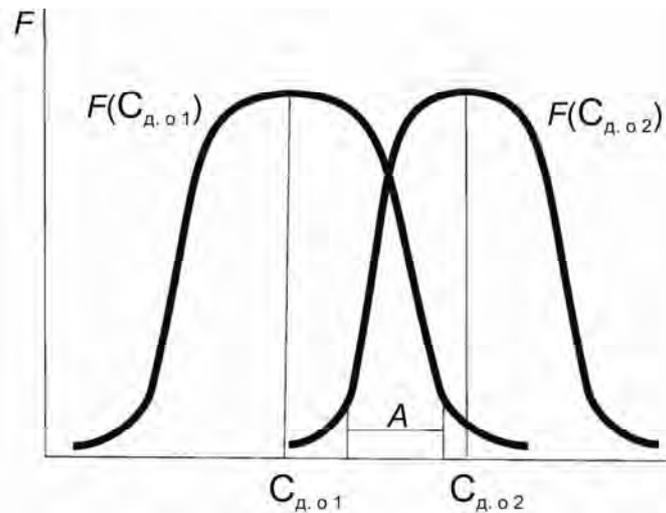


Рис. 2.17. Плотность распределения стоимости вариантов конструкции дорожной одежды: A — геометрическое представление области риска

В случае если математическое ожидание стоимости строительства первого варианта $C_{д.о1}$ незначительно превышает стоимость второго варианта $C_{д.о2}$, то при сравнении конструкций по единовременным затратам возможно наличие зоны экономического риска A , равной

$$A = C_{д.о2}^{\min} - C_{д.о1}^{\max}, \quad (2.24)$$

где $C_{д.о2}^{\min}$, $C_{д.о1}^{\max}$ — соответственно минимальная и максимальная расчетные (с заданным уровнем надежности t) стоимости 2-го и 1-го вариантов дорожной одежды, определяются по формулам

$$C_{д.о1}^{\max} = C_{д.о1} (K_j^1 + t\sigma_1); \quad (2.25)$$

$$C_{д.о2}^{\min} = \bar{C}_{д.о2} (K_j^2 - t\sigma_2). \quad (2.26)$$

При условии $A \leq 0$ можно сделать заключение с заданным уровнем надежности, что стоимость 2-го варианта превышает стоимость 1-го варианта. В обратном случае принятие окончательного проектного решения производится в условиях экономического риска. Исследования, выполненные в области оценки риска проектных решений в дорожном строительстве, позволяют оценить уровень экономического риска при сравнении вариантов конструкций дорожной одежды. Так как распределения вероятностей стоимости конструкций (см. рис. 2.17) соответствуют нормальному распределению, то анализ риска осуществляется по формуле интегрального риска, которая соответствует условию $r = 1 - P$ или

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{C_{д.о1} - C_{д.о2}}{\sqrt{\sigma_{д.о1}^2 + \sigma_{д.о2}^2}} \right), \quad (2.27)$$

где P — суммарное интегральное распределение вероятностей или надежность результатов принятия оптимально проектного решения; r — риск ре-

зультатов принятия оптимального проектного решения; $\Phi(u)$ — интеграл вероятности (функция Лапласа)

$$\Phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-\frac{u^2}{2}} du; \quad (2.28)$$

$\sqrt{\sigma_{д.о1}^2 + \sigma_{д.о2}^2}$ — среднее квадратическое отклонение суммарного распределения стоимости.

Анализ формулы показывает, что в случае принятия параметра $C_{д.о1} = C_{д.о2}$ риск нежелательного проектного решения равен 50 % ($r = 0,5$). При $C_{д.о1} > C_{д.о2}$ имеем $r < 0,5$, а когда $C_{д.о1} \gg C_{д.о2}$, риск r стремится к нулю. При $C_{д.о1} < C_{д.о2}$ имеем $r > 0,5$ и в пределе, когда $C_{д.о1} \ll C_{д.о2}$, риск r стремится к единице.

Величина риска является дополнительным показателем при сравнении конструкций дорожных одежд по единовременным затратам, позволяет учитывать вероятностный характер изменения стоимости строительства в период производства дорожно-строительных работ.

2.3.2. Оптимизация конструкции дорожной одежды по приведенным затратам

При сравнении конструкций дорожной одежды с различным типом покрытия в состав эксплуатационных затрат следует дополнительно включать затраты на ремонт и содержание дорожной одежды, обочин, снижение себестоимости перевозок и высвобождение подвижного состава (за счет увеличения скорости движения автотранспорта), уменьшение потерь от дорожно-транспортных происшествий. В общем случае величина суммарных приведенных затрат $P_{пр}$ для задачи поиска оптимальной конструкции дорожной одежды на 1 км дороги определяется по формуле

$$P_{пр} = K_j(C_{д.о} + C_{з.п} + C_{об}) + \sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_{тt} + C_{пт} + C_{дt} + C_{пт}}{(1+E)^t} - \frac{C_o}{(1+E)^{T_c}} \rightarrow \min, \quad (2.29)$$

где $C_{д.о}$ — затраты на строительство дорожной одежды, р./км; $C_{з.п}$ — затраты на устройство рабочего слоя части земляного полотна, р./км; $C_{об}$ — затраты на укрепление обочин, р./км; $C_{тt}$ — транспортные расходы на перевозку грузов и пассажиров в году t , р./км; $C_{пт}$ — затраты на приобретение подвижного состава в году t , р.; $C_{дt}$ — потери от дорожно-транспортных происшествий в году t , р.; $C_{пт}$ — затраты на содержание и ремонт проезжей части и обочин в году t , р.; t — текущий год эксплуатации автомобильной дороги; T_c — период суммирования затрат, равный межремонтному сроку службы дорожной одежды, лет; E — коэффициент дисконтирования разновременных затрат; C_o — остаточная стоимость дорожной одежды, р.

Годовые транспортные расходы на перевозку грузов и пассажиров в t году рассчитываются по формуле

$$C_{Ti}(t) = 365N(t)S(t), \quad (2.30)$$

где $N(t)$ — среднегодовая суточная интенсивность движения в t -м году, авт./сут.; $S(t)$ — себестоимость 1 авт.-км (р./авт.-км), определяемая по данным ежеквартального территориального сборника «Индексы цен в строительстве» или по формуле

$$S(t) = \frac{a + bV(t)}{V(t)}, \quad (2.31)$$

где $V(t)$ — средняя скорость транспортного потока, переменная во времени, рассчитывается по формуле

$$V(t) = K_y[V_0 - \alpha N(t)], \quad (2.32)$$

где $V_0 = 80$ км/час — средняя скорость движения в свободных условиях, км/час; α — коэффициент влияния интенсивности на скорость транспортного потока; K_y — коэффициент увеличения скорости движения потока, зависящий от типа укрепления обочины и ее ширины (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Коэффициент увеличения скорости K_y при укреплении обочин

Тип укрепления обочины	Ширина укрепления, м		
	0,75...1,00	1,50...1,75	> 2,00
Асфальтобетон, черный щебень	1,04...1,05	1,08...1,10	1,11...1,13
Цементобетон	1,035...1,040	1,07...1,08	1,10...1,12
Обработанные вяжущим каменные материалы	1,025...1,030	1,05...1,06	1,07...1,09
Необработанные вяжущими каменные материалы	1,01	1,02	1,03...1,05

Примечание: таблица составлена на основе данных [30]. При неукрепленных обочинах $K_y = 1,00$.

Потери от дорожно-транспортных происшествий в t -ом году рассчитываются по формуле

$$C_{Di}(t) = 365N(t)D(t)a, \quad (2.33)$$

где $D(t)$ — средние потери от одного дорожно-транспортного происшествия, тыс. р.; a — число дорожно-транспортных происшествий на 1 млн автомобиле-километров, рассчитывается по формулам (2.34), (2.35):

а) для укрепленных обочин:

$$a = 0,449N(t)^{-0,078} \Pi^{-0,539} O^{-0,149}, \quad (2.34)$$

б) для неукрепленных обочин:

$$a = 1,142N(t)^{-0,069} \Pi^{-0,879} O^{-0,145}, \quad (2.35)$$

где Π и O — соответственно ширина проезжей части и обочин, м.

Оценка стоимости потерь от ДТП в современных условиях весьма проблематична. Приведенные в данные не соответствуют современной действительности. Для определения ущерба от ДТП $D(t)$ на дорогах Южного федерального округа использованы данные статистической отчетности ГИБДД, исследования ВНИИАТ и данные диагностики дорог РФ:

$$D = (\eta_{г.в} \Pi_{г.в} + \eta_{р.в} \Pi_{р.в} + \eta_{г.р} \Pi_{г.р} + \eta_{р.р} \Pi_{р.р} + \Pi_d), \quad (2.36)$$

где $\eta_{г.в}$, $\eta_{р.в}$ — соответственно доля погибших и раненных взрослых в ДТП; $\eta_{г.р}$, $\eta_{р.р}$ — доля погибших и раненных детей в ДТП; $\Pi_{г.в}$, $\Pi_{р.в}$ — ущерб от гибели и ранении взрослых в ДТП; $\Pi_{г.р}$, $\Pi_{р.р}$ — ущерб от гибели и ранении ребенка в ДТП.

Результаты прогноза ущерба от ДТП по (2.36) для дорог III категории (D_{III}) приведены в табл. 2.10. При иной технической категории ущерб от ДТП определяется по формуле

$$D(t) = D_{III} K_{т.к}, \quad (2.37)$$

где $K_{т.к}$ — поправочный коэффициент, учитывающий техническую категорию дороги (для I, II категорий $K_{т.к} = 1,01$; III категории $K_{т.к} = 1,00$; IV категории $K_{т.к} = 0,86$; V категории $K_{т.к} = 0,61$).

Таблица 2.10

Прогноз потерь от ДТП на дороге III технической категории до 2015 г.

Регион	Стоимость ущерба от 1 ДТП, млн р.				
	2011	2012	2013	2014	2015
Республика Калмыкия	2,15	2,30	2,46	2,61	2,76
Астраханская область	1,63	1,75	1,86	1,98	2,09
Волгоградская область	1,72	1,84	1,96	2,08	2,20
Ростовская область	1,50	1,61	1,71	1,82	1,92
Южный Федеральный округ	1,83	1,96	2,09	2,22	2,34
Российская Федерация	1,54	1,65	1,76	1,87	1,98

Расходы на ремонт и содержание проезжей части и обочин следует определять по укрупненным показателям, в том числе рекомендованным Федеральным дорожным агентством Министерства транспорта РФ на официальном сайте <http://www.rosavtodor.ru>.

Предложенный подход к поиску оптимальной конструкции дорожной одежды по укрупненным единовременным или приведенным затратам позволяет более полно учитывать рекомендации ОДН 218.046—01 в части повышения прочности грунтового основания дорожной одежды и устройства укрепленных обочин, позволяет учитывать сложившуюся региональную динамику изменения стоимости дорожно-строительных работ с ее прогнозом на период строительства.

2.4. ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В основу проектирования системы управления базами данных (СУБД) положен принцип многоуровневого представления информационных баз, которые имеют между собой реляционные связи.

В составе базы данных предусмотрены отдельные информационные файлы по административным или территориальным районам области или региона (файл RAION.DBF), техническим параметрам автомобильных дорог (файл TITUL.DBF), грунтового-геологическим условиям административных районов области или региона (файл GGY.DBF), база данных по местным дорожно-строительным материалам региона (файл DSM.DBF), удельному расходу дорожно-строительных материалов на строительство 1 м² дорожной одежды (файл RASXOD.DBF), база данных типовых конструкций дорожных одежд из местных материалов (файл DO.DBF).

В процессе работы программного комплекса связь между отдельными файлами СУБД поддерживается постоянно с помощью кодификаторов. Управление базами данных выполняется одновременно в выделенных областях с помощью прикладной программы AD, написанной на языке FoxPro. Для упорядочивания и организации быстрого поиска данных в файлах DO.DBF, TITUL.DBF, RAION.DBF, GGY.DBF процесс загрузки программного модуля AD производится с автоматической индексацией данных и формированием в рабочей папке индексных файлов KOD_DO.IDX, KOD_T.IDX, KOD_RA.IDX, KOD_GGY.IDX.

Базы данных представлена следующими взаимосвязанными файлами: DO.DBF и KOD_DO.IDX — база данных и индексный файл конструкций дорожных одежд из местных материалов; TITUL.DBF и KOD_T.IDX — база данных и индексный файл технических параметров автомобильных дорог региона; RAION.DBF и KOD_RA.IDX — база данных и индексный файл местоположения проектируемого объекта в регионе; GGY.DBF и KOD_GGY.IDX — база данных и индексный файл грунтового-геологических условий региона; PEREM.DBF — база данных для временного хранения данных; DSM.DBF — база данных по местным дорожно-строительным материалам региона; RASXOD.DBF — удельный расход дорожно-строительных материалов на 1 м² дорожной одежды.

К основным информационным файлам СУБД относятся базы данных DSM.DBF, RASXOD.DBF, которые связаны с файлом DO.DBF системой кодификаторов. Их структура представлена на рис. 2.18, 2.19, 2.20.

Блок-схема системы управления базой данных дорожных одежд из местных материалов AD приведена на рис. 2.21.

База данных DSM.DBF — местные дорожно-строительные материалы

KOD_M	DSM	MESTO
1	Щебень Ф 40...80 $E = 350$ МПа из осадочных пород	Фроловский карьер Волгоградской области
5	Плотный мелкозернистый асфальтобетон тип Б, марки 2 $E = 3200$ МПа	АБЗ из щебня Павловского карьера Воронежской области
6	Черный щебень $E = 900$ МПа, приготовленный в установке на АБЗ	АБЗ из щебня Жирновского карьера Рос- товской области
7	Песок средней крупности без примеси глины и пылеватых частиц $E = 100$ МПа	Местный песок Орловского карьера

Код
материала

Описание
материала

Источник
получения
материала

Рис. 2.18. Структура файла базы данных местных дорожно-строительных материалов

База данных RASXOD.DBF — удельный расход материалов

KOD_DO	DSM	ED_IZM	RASXOD
3	Щебень 3 класса прочности Ф 40...80мм	м ³	1.00
3	Битум БНД 60/90	т	0.5
3	Минеральный порошок	м ³	0.88
3	Песок средней крупности	м ³	1.55

Код дорожной
одежды

Описание
материала

Удельный
расход
на 1 м²

Рис. 2.19. Структура файла базы данных удельного расхода материалов

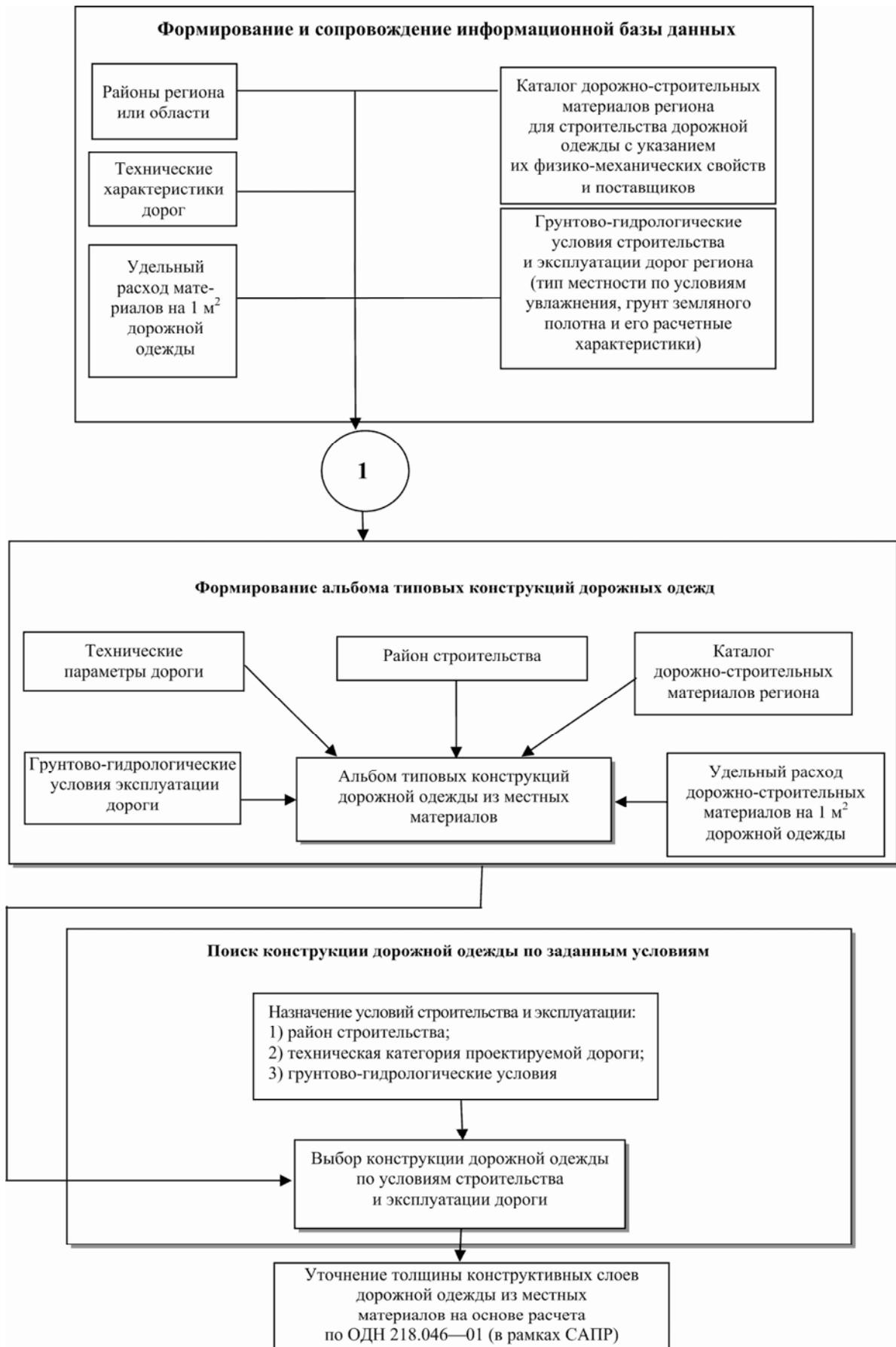


Рис. 2.20. Структура системы управления базой данных AD

База данных DO.DBF — конструкции дорожных одежд из местных материалов

KOD_T	TK	NPR	KOD_RA	RAION	KOD_DO	H1	MAT1	R_M1	ED_IZM1
3	III	3000	3	Новониколаевский район	3	5	Плотный м.з. а/б тип Б марки 1 E = 3200 МПа	2,8	т.
4	IV	1000	6	Фроловский район	2	4	Плотный м.з. а/б тип Б марки 1 E = 3200 МПа	2,7	т.
4	IV	300	12	Киквидзенский район	8	6	Черный щебень E = 900 МПа	2,4	т.

Наименования полей:

- KOD_T — код технической категории дороги
- TK — техническая категория дороги
- NPR — интенсивность движения, авт./сут.
- KOD_RA — код района строительства
- RAION — район строительства
- KOD_DO — код дорожной одежды
- H1...H5 — толщина 1... 5 слоев дорожной одежды
- MAT1...MAT5 — материалы 1...5 слоев дорожной одежды
- R_M1...R_M5 — удельный расход материала 1...5 слоев дорожной одежды
- ED_IZM1...ED_IZM5 — единицы измерения расхода материала,
максимальное количество конструктивных слоев — 5,
удельный расход приведен на 1 м² дорожной одежды

Рис. 2.21. Структура файла базы данных типовых конструкций дорожных одежд из местных материалов

Управление базой данных осуществляется с помощью меню, представленном на рис. 2.22.



Рис. 2.22. Меню системы управления базой данных конструкций дорожных одежд из местных материалов

Модуль ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА — заполнение, постоянное обновление и корректировка данных об административных или территориально-географических районах области и региона, грунтово-гидрологических условиях выделенных районов региона, технических характеристик автомобильных дорог (согласно действующих ОДН и СНИПов), местных и привозных дорожно-строительных материалах и полуфабрикатах, удельного расхода материалов для строительства конструктивных слоев дорожной одежды (согласно действующих норм расхода материалов). На основе сформированных баз данных формируется региональный альбом оптимальных конструкций дорожных одежд из местных материалов. Заполнение базы данных конструкций дорожных одежд производится на основе результатов расчетов их прочности (согласно ОДН 218.046—01).

Строка ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД предназначена для выбора из имеющейся базы данных одной или несколько конструкций дорожной одежды из местных материалов по указанным признакам поиска. В качестве признаков поиска оптимальных конструкций дорожной одежды указываются: район строительства, грунтово-гидрологические условия и техническая категория дороги. При выполнении выбора конструкции в строке «ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ» система производит фильтрацию базы данных файла DO.DBF и предлагает пользователю типовые конструкции дорожной одежды из местных материалов для указанных ранее признаков поиска (рис. 2.23).

ВЫБОР КОНСТРУКЦИЙ ТИПОВЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД						
=====						
№ п/п	Код Д/О	КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ (СОГЛАСНО СОСТАВЛЕННОГО КАТАЛОГА ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЕГИОНА)				
1	3	----- РАЙОН ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КАТЕГОРИЯ ДОРОГИ ----- Район: Новониколаевский район Тех.кат.а/д: VI Инт. а/с: 400 ----- ГРУНТОВО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ----- Тип местности: 2 Грунт зем.полотна: Супесь легкая Модель упр: 53 МПа; Сцепл. 0.01 МПа; Угол трения: 23.5 град. ----- КОНСТРУКЦИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ -----				
		№	Н, см	Материал конструктивного слоя, Е, F, C	Ед. И	Расх
		1-й	6	Черный щебень E=900 МПа	т.	2.4
		2-й	22	Щебень Ф20-40 E=350 МПа осадочных пород	т.	3.1
		3-й	15	Песок мелкий без глинистых частиц E=100 МПа	т.	1.5
		4-й				
		5-й				
[Esc] : Выход, [Ctrl]+[Home] : Выход в меню						

Рис. 2.23. Экранная форма для работы с базой данных «Конструкции дорожных одежд»

В случае отсутствия конструкций система выдает сообщение: «Конструкции дорожной одежды для указанных условий отсутствуют». После выбора конструкции дорожной одежды производится распечатка результатов для дальнейшей их проверки на прочность (согласно ОДН 218.046—01) в программе по расчету дорожных одежд нежесткого типа RODON с возможной последующей корректировкой толщины конструктивных слоев и сравнением с альтернативными вариантами по укрупненной строительной стоимости (единовременным затратам) или приведенным затратам.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

3.1. АНАЛИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Основным потребляемым материалом (82 %), определяющим стоимость строительства дорожных одежд, является щебень (рис. 3.1).

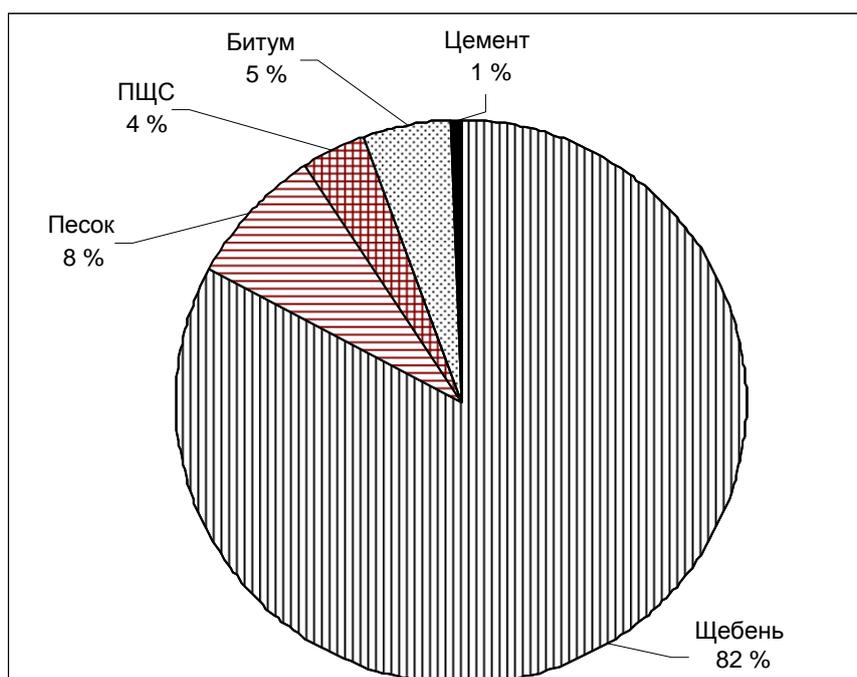


Рис. 3.1. Потребность в строительных материалах дорожной отрасли Волгоградской области

На территории области находится 119 месторождений каменных материалов. Объем запасов разведанных месторождений известняков и доломитов составляет 729227,3 тыс. м³, песчаников — 321945 тыс. м³. Особенно они многочисленны в северо-западной, центральной и западной частях области. Наиболее мощные месторождения каменных материалов общим объемом 551578,6 тыс. м³ расположены во Фроловском и Клетском районах области.

В настоящее время поставка щебня в основном производится из Фроловского месторождения (объем запасов щебня 118536 тыс. м³), которое представлено Арчединским, Липкинским и Зимовским карьерами. Общие запасы каменного материала области обеспечивают потребности строительной отрасли на многие годы. Запасы разведанных, но неиспользуемых карьеров незначительны, составляют всего 16809,8 тыс. м³ (рис. 3.2).

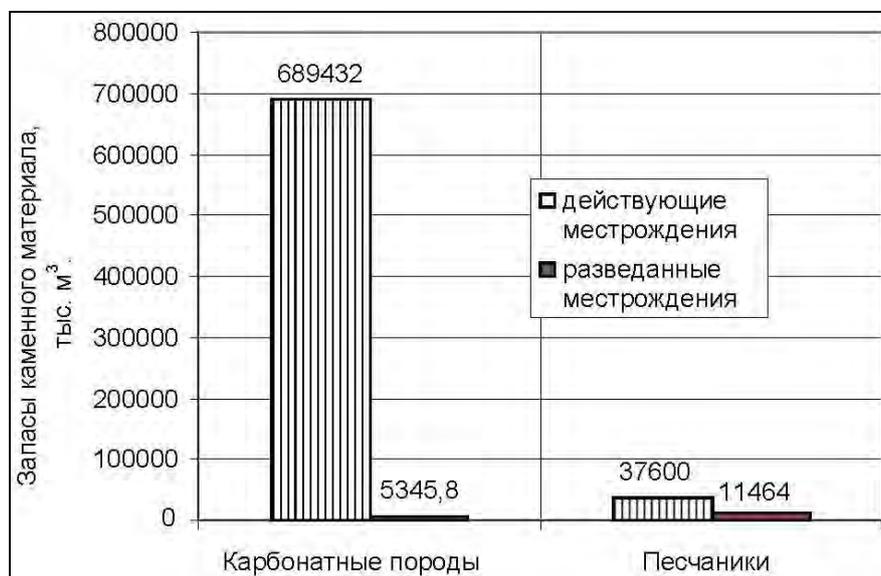


Рис 3.2. Запасы каменных материалов Волгоградской области

Арчединское месторождение представлено известняком серым, светлосерым, мелкокристаллическим, участками доломитизированным, окремненным с многочисленными включениями желваков и линз кремния, трещиноватым. Мощность изменяется от 3,0 до 9,4 м. Отложения основной продуктивной толщи представлены в большинстве случаев известняками, реже — доломитизированными известняками и доломитами. Общая мощность карбонатной толщи 15...39 м. Карбонатные породы представлены полиморфными органогенными детрированными перекристаллизованными известняками. В толще известняков встречаются маломощные прослойки и линзы доломитов и доломитизированных известняков. Доломиты приурочены преимущественно к верхней части разрезов, мощность — 0,1...4,9 м, зачастую линзовидное залегание. Карбонатные породы используются в дорожном строительстве. Проведенные исследования показали, что объемная масса пород изменяется от 2,23 до 2,7 г/см³ (по ГОСТу — не менее 1,8 г/см³). Плотность карбонатных пород — 2,6...2,85 г/см³, пористость — 0,4...19,7 %, водопоглощение — 0,39...6,59 %. Содержание зерен лещадной и игловатой формы — 6...35 %, содержание зерен слабых и выветрелых пород — 0,62...2,24 %. Прочность щебня по его дробимости при сжатии в цилиндре в основном соответствует маркам М-400...М-500 и распределяется следующим образом: 55,3 % относятся к марке М-500; 33,0 % — М-400; 6,4 % — М-600; 3,2 % — М-300; 2,1 % — М-700. Морозостойкость карбонатных пород выдерживает 25-кратное попе-

ременное замораживание и оттаивание при потере в весе не более 10 %, что является допустимым по ГОСТ 8267—93. Суммарное содержание глинистых примесей — 0,3...18,28 %.

В геологическом строении Зимовского месторождения наблюдаются каменноугольные и четвертичные образования. Каменноугольные отложения сложены толщей известняков, доломитов и в различной степени доломитизированными известняками, содержащими прослойки глин. Четвертичные отложения представлены кварцевыми песками с обломками карстовых пород и кремния. Мощность песков достигает 3,3 м. Мощность прослоек известняков — 0,2...6,2 м, глинистые прослойки не превышают 2,5 м. Полезная толща месторождению представлена карбонатными породами, мощность полезной толщи — 24,9...61,0 м.

Полезная толща месторождения представлена двумя пачками. Верхняя пачка сложена плотными, сильно трещиноватыми, на отдельных участках закарстованными известняками, нижняя — доломитами и доломитизированными известняками с прослойками известняков. Основными породобразующими минералами являются кальцит и доломит. Физико-механические свойства нижней и верхней продуктивных пачек близки между собой. Объемная масса пород — 1,90...2,75 г/см³, плотность — 1,77...2,77 г/см³. Пористость карбонатных пород — 1,8...31,6 %, что свидетельствует о довольно плотной, но неоднородной структуре. Водопоглощение пород находится в прямой зависимости от плотности и пористости и изменяется от 0,3 до 11,4 %. Такой предел колебаний для неоднородных карбонатных пород вполне приемлем. Предел прочности пород при сжатии в сухом состоянии — 11,7...12,8 МПа, водонасыщенном — 1,97...10,6 МПа, после 25-кратного замораживания — 1,32...9,32 МПа, что удовлетворяет требованиям ГОСТа. По степени морозостойкости карбонатные породы в основном соответствуют марке МРЗ-25. Марка прочности по дробимости щебня фракций 5...10, 10...20 и 20...40 мм изменяется от М-200 до М-1200. Средняя по месторождению марка прочности — М-400, при этом 58,7 % проб имеет марку не ниже М-600. Содержание лещадных зерен изменяется от 0,7 до 28,5 %, что соответствует требованиям ГОСТ 8267—93. Содержание глинистых и пылеватых частиц в щебне изменяется от 0,1 до 2,0 %, что соответствует нормативным требованиям. Содержание зерен слабых и выветрелых пород незначительно (0,03...0,8 %). Отходы от дробления щебня могут быть использованы для получения дробленого карбонатного песка крупностью 0,15...5 мм.

Липкинское месторождение сложено в верхней части светло-серыми и желтовато-серыми плотными сильнотрещиноватыми известняками со слоями доломитов мощностью 31...35 м. Нижняя часть сложена доломитами и доломитизированными известняками мощностью 55,2 м. Карбонатные породы выделенных пачек являются полезной толщей месторождения. Закарстованность месторождения высокая, что осложняет условия ее разработку. Суммарная мощность глинистых прослоек, раздробленных зон и карстовых

полостей — 2,2...22,9 м. Масса карбонатных пород — 2,4...2,66 г/см³. Плотность — 2,7...2,8 г/см³. Пористость — 0,5...35,5 %, водопоглощение составляет менее 10 %. Содержание зерен лещадной и игловатой форм — 2,0...15%, зерен слабых и выветрелых пород — 0,8...5,7 %. Гистограмма прочности щебня по его дробимости при сжатии в цилиндре представлена на рис. 3.3. Износ (истираемость) в полочном барабане является основным показателем при оценке щебня для дорожного строительства и распределяется следующим образом: 18,6 % соответствует марке И-1; 36,7 % — И-II; 30,9 % — И-III; 12,5 — И-IV. В целом карбонатные породы месторождения удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267—93 по истираемости. Морозостойкость карбонатных пород МЗ-25 обеспечена.

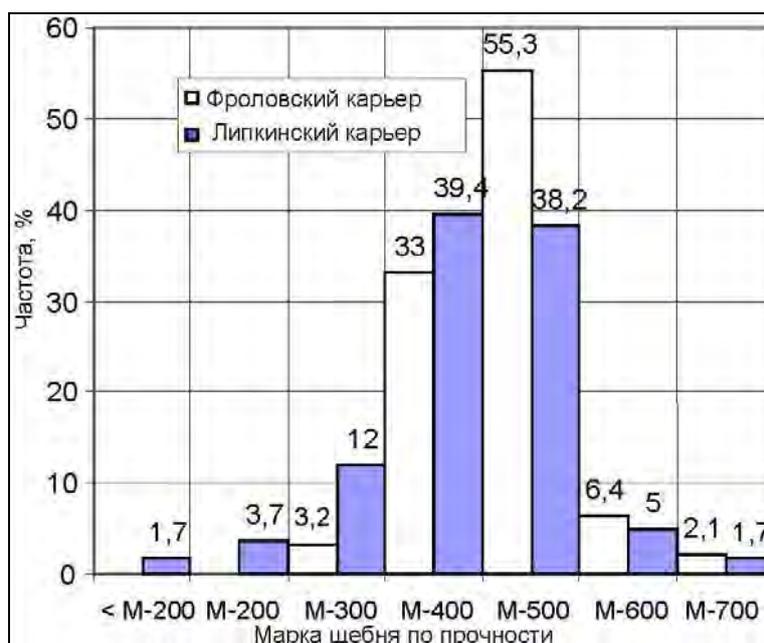


Рис. 3.3. Гистограмма прочности щебня Фроловского и Липкинского месторождений

Статистическая обработка 198 испытаний щебня Фроловского месторождения по критерию Колмогорова — Смирнова показала, что прочность каменных пород распределяется по нормальному закону. Щебень в основном имеет марки М-400, М-500 и пригоден к использованию в основании дорожных одежд (см. рис 3.3). Качественные показатели щебня Фроловского месторождения приведены в табл. 3.1. Наибольшие разведанные запасы каменных материалов в объеме 433042,6 тыс. м³ находятся в Клетском районе (табл. 3.2). Менее значимыми по объемам запасов щебня являются Жирновский район (165817 тыс. м³). В остальных районах области запасы каменных материалов незначительны (от 1053,9 тыс. до 170 тыс. м³).

Оценка прочности щебня, выполненная на основании анализа паспортов на каменный материал за период с 1984 по 2014 гг., показала, что в месторождениях области наиболее представительны щебни марки М-400—М-600 (57,39 %) и М-200—М-400 (42,32 %). Запасы щебней М-600... М-1000 незначительны, составляют соответственно 0,22 и 0,07 % (рис. 3.4).

Таблица 3.1

Качественные показатели щебня действующих карьеров Волгоградской области

Щебень Фракции, мм	Зерновой состав				Содержание частиц, %				Марка			Объемная масса, т/м ³
	1,25 наибольшего диаметра	Наибольший диаметр	0,5 суммы наименьшего диаметра и наибольшего диаметра	Наименьший диаметр	пылева- тых	глины	слабых пород	пластич- ные фор- мы	по прочности	по истира- емости	по моро- зостойко- сти	
<i>Зимовской карьер</i>												
40...70	0	10,0	62	99	1,0...1,7	0,18...0,2	0	22...25	М-400...М-600	И3, И2	F-25...F-50	1,25...1,32
20...70	0	7,0...10,0	65...66	98	1,5	0,18...0,21	0	23...24	М-400...М-600	И3, И2	F-25...F-50	1,27...1,36
10...20	0	9,0	57...58	96...98	1,19...2,0	0,18...0,23	0	25...26	М-400...М-600	И3, И2	F-25...F-50	1,30...1,39
<i>Липкинский карьер</i>												
40...70	0	9,0	47	95	2,0	0,25	0	20	М-400	И3	F-25	1,32
10...40	0	8,0	35	92	2,3	0,25	0	28	М-400	И3	F-25	1,33
<i>Фроловский карьер</i>												
40...70	0	7,0	53	97	1,8	0,22	0	16	М-400	И3	F-25	1,26
20...70	0	8,0	50	96	2,1	0,23	0	25	М-400	И3	F-25	1,30
10...20	0	6,0	56	97	2,3	0,34	0	27	М-400	И3	F-25	1,32

Запасы каменных материалов Волгоградской области

Административный район	Объем запасов, тыс. м ³					
	Всего	Марка по прочности				
		100...200	200...400	400...600	600...800	800...1000
Фроловский	118536	—	46984	71552	—	—
Жирновский	165817	—	165517	300	—	—
Клетский	433042,6	—	87355	345484	203,6	—
Иловлинский	3182	—	2578	604	—	—
Урюпинский	715,9	—	142,9	109	94	370
Нехаевский	1053,9	—	635,1	114,8	134	170
Алексеевский	697,9	—	375,7	322,2	—	—
Кумылженский	939,7	—	939,7	—	—	—
Серафимовичский	302,7	—	302,7	—	—	—
Суровикинский	519,6	—	447,6	—	72	—
Калачевский	183,8	—	150	33,8	—	—
Еланский	170	—	170	—	—	—
Даниловский	658,2	—	658,2	—	—	—
Котовский	608	—	608	—	—	—
Камышинский	1572	—	486	—	1086	—
Ольховский	340,5	—	340,5	—	—	—
Дубовский	887,5	—	887,5	—	—	—
Итого по области	729227,3	0	308578	418520	1589,6	540

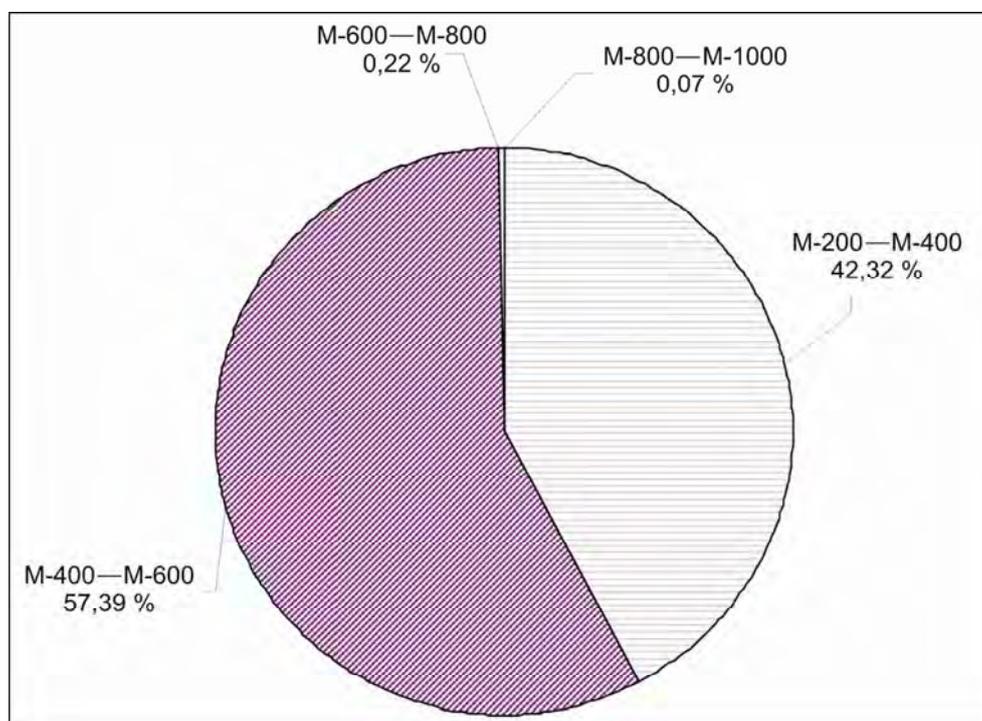


Рис. 3.4. Оценка прочности запасов каменных материалов области

Физико-механические свойства каменных материалов неоднородны, представлены в табл. 3.3 и на рис. 3.5—3.8.

Таблица 3.3

Физико-механические характеристики местных каменных материалов

Характеристика	Показатель			
	200...400	400...600	600...800	800...1000
Прочность по дробимости, марка	И4	И3	И2	И2, И1
Истираемость, марка	7,9...10	5...9,3	5...7,9	0...5
Содержание зерен слабых пород, %	2,5...3	2,2...2,8	0,9...1,1	0,35...1
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	24...35	20...35	20...33	10,4...25
Содержание зерен пластинчатой и игловидной формы, %	<i>F15...25</i>	<i>F25</i>	<i>F25...50</i>	<i>F150</i>

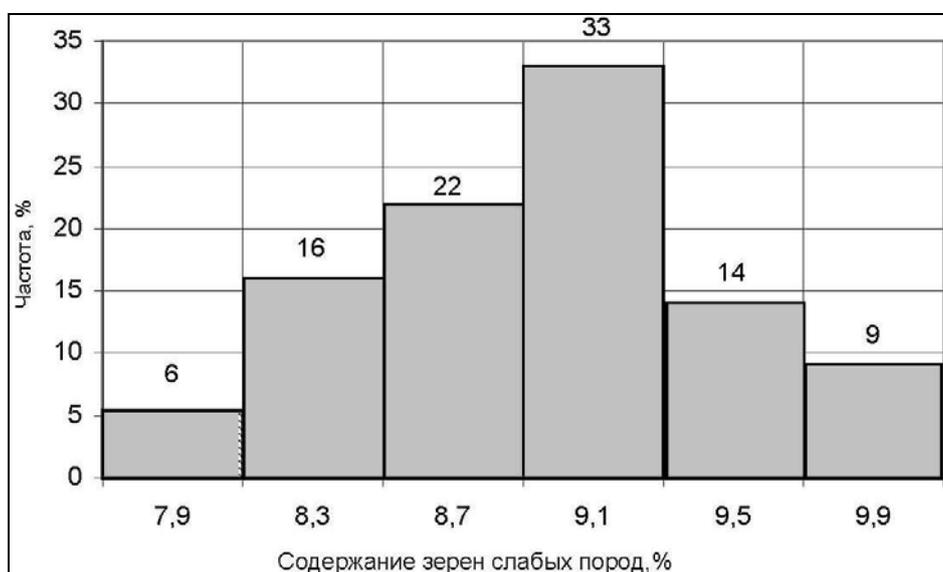


Рис. 3.5. Гистограмма содержания зерен слабых частиц в щебне М-200—М-400

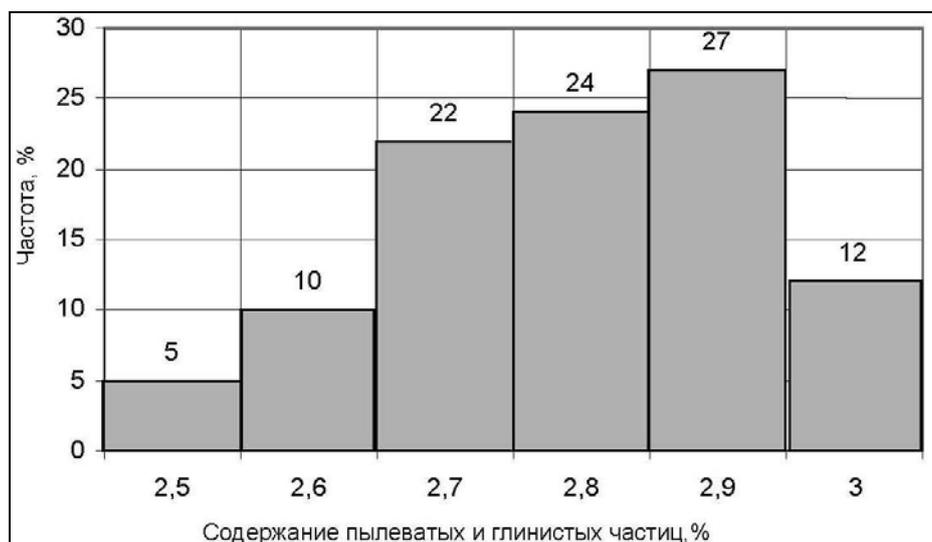


Рис. 3.6. Гистограмма содержания пылеватых и глинистых частиц в щебне М-200—М-400

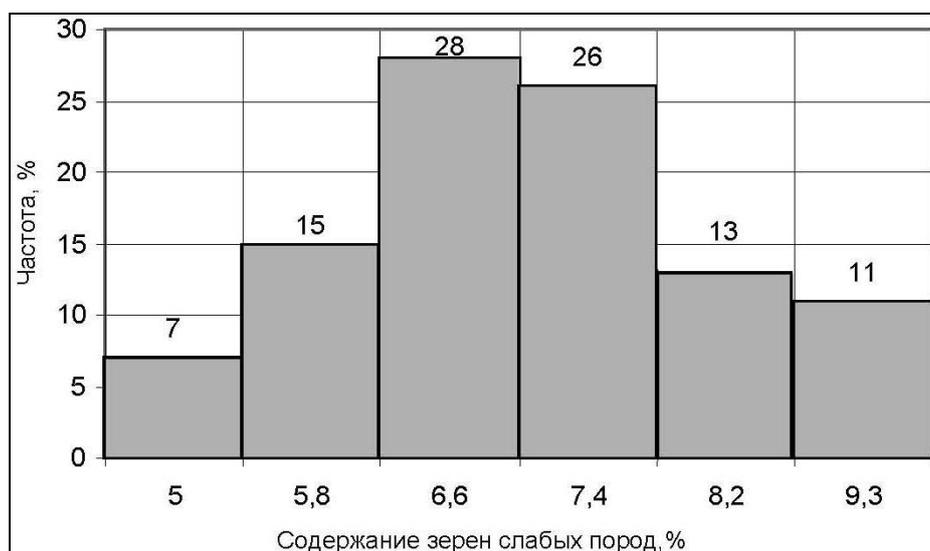


Рис. 3.7. Гистограмма содержания зерен слабых частиц в щебне М-400—М-600

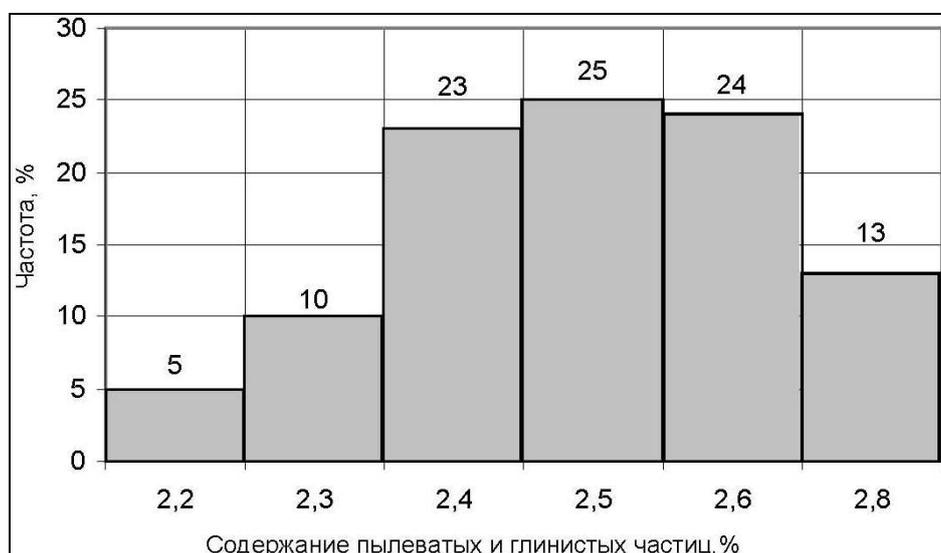


Рис. 3.8. Гистограмма содержания пылеватых и глинистых частиц в щебне М-400—М-600

Оценка качества каменных материалов и их пригодность для нужд дорожного строительства произведена исходя из соответствия их физико-механических свойств требованиям ГОСТ 8267—93. Расчетная прочность каменного материала R_p может быть определена по формуле

$$R_p = R_{cp}(1 \pm tC_v), \quad (3.1)$$

где R_{cp} — среднее значение прочности каменного материала в месторождении; t — одностороннее нормированное отклонение; C_v — коэффициент вариации прочности материала месторождения.

На основании анализа месторождений каменных материалов Волгоградской области можно сделать вывод, что щебень местных месторождений непригоден для производства асфальтобетонных смесей. Основной объем запасов каменных материалов может быть использован в нижних и верхних слоях оснований дорожных одежд.

Существенным резервом в снижении стоимости строительства дорожных одежд является использование отходов от дробления щебня в виде высевок. Высевки малопрочных известняков в виде смесей плотного зернового состава оптимальной влажности (плотные смеси) можно использовать в основании дорожных одежд на автомобильных дорогах IV и V технических категорий. Находясь во влажных условиях, в результате процесса самоцементации минеральная смесь в течение 14...28 суток превращается в минеральный бетон. Возможности использования отсевов щебня из малопрочных каменных материалов без обработки вяжущими нужно устанавливать с учетом прочности и дробимости материала, гранулометрического состава, числа пластичности его мелкой части, условий работы в том или ином слое и предъявляемых требований к прочности и морозостойкости. В соответствии с ОДН 218.046—01 главным критерием возможности применения слабых известняков без обработки вяжущими служит соответствие их свойств ГОСТ 23558—94. Физико-механические характеристики Фроловского месторождения приведены в табл. 3.4, 3.5.

Таблица 3.4

**Физико-механические показатели отсева дробления щебня
Фроловского месторождения**

Наименование показателя	Значения
Определение пылевато-глинистых частиц	9,98...21,33 %
Содержание глины в комках	0...0,4 %
Определение прочности (марка по дробимости)	M-400
Определение истираемости в полочном барабане	И2
Определение истинной плотности	2,67...2,66 г/см ³
Определение насыпной плотности	1,36...1,39 г/см ³
Определение средней плотности	1,825...1,79 г/см ³
Определение пористости	31,4...33 %
Определение водостойкости	B2
Определение оптимальной влажности и оптимальной плотности	12 %
Определение гранулометрического состава по методу Рутковского	0,77...4,89 % глинистых частиц
Определение водопоглощения	5,9...4,7 %
Определение пластичности	0,1...0,22

Таблица 3.5

**Прочностные показатели образцов из отсева дробления щебня
Фроловского месторождения при оптимальной влажности**

Наименование показателя	Фактический результат	Результат по группам прочности	Группа прочности
Предел прочности при сжатии, МПа	1,7...1,8	1,6...2,0	I, II
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	0,18...0,26	0,15...0,3	I, II
Плотность образца, г/см ³	2,0...2,10	2,0...2,2	I, II

Исследования по использованию отсевов щебня Волгоградской области и результаты исследований по применению малопрочных известняков без укрепления при устройстве оснований дорожных одежд автомобильных дорог Юга России и Украины доказали возможность использования отходов дробления и позволили сформулировать основные технические требования к этим материалам в конструировании дорожных одежд (табл. 3.6).

В Волгоградском карьероуправлении накопилось большое количество неиспользуемых отсевов с грунтовыми примесями. Были проведены исследования возможности применения в дорожном строительстве отсевов Фроловского и Липкинского известняка с примесью грунта.

Таблица 3.6

Основные требования к использованию отсевов щебня, необработанного вяжущим в конструкциях дорожных одежд

Показатель	Ед. изм.	Значения показателя
<i>1. Требования к материалам</i>		
Марка по прочности на раздавливание щебня в цилиндре в водонасыщенном состоянии	—	Не ниже М-200
Марка по истираемости	—	Не ниже И-ГУ
Марка по морозостойкости для районов со средне-месячной температурой воздуха наиболее холодного месяца $-5^{\circ}\dots-15^{\circ}\text{C}^{\circ}$	—	Р-15
Водостойкость щебня	—	В-2
Пластичность щебня	—	Пл-3
Зерновой состав щебня	—	Должен соответствовать требованиям ГОСТ 23558—94 (табл. 1.2).
Содержание пылеватых и глинистых частиц	—	В пределах 10...25 %
Содержание глинистых частиц	—	Не более 5 %
<i>2. Условия использования материала в конструкции дорожной одежды</i>		
Дорожно-климатическая зона	—	IV, V
Тип местности по увлажнению	—	1
Техническая категория дороги	—	IV, V
Интенсивность движения	авт./сут.	Не более 80 авт./сут.
Максимальная нагрузка на ось автомобиля	кН	Не более 100 кН
<i>3. Требования к конструированию дорожной одежды</i>		
Местоположение материала	—	В основании дорожной одежды с устройством подстилающего дренающего слоя
Минимальная толщина слоя:		
на песчаном основании	—	15
на прочном основании из укрепленного грунта	см	18

Примечание: при большей интенсивности движения или применения отсевов щебня в условиях II и III типов местности по характеру увлажнения целесообразно предусматривать обработку отсевов щебня органическими и неорганическими вяжущими, улучшающими структурно-механические свойства этих материалов.

Для сравнения свойств были приняты к исследованию чистый и загрязненный отсева. Основное отличие гранулометрии чистого отсева от загрязненного заключается в повышенном до 11 % содержании пылеватой фракции меньше 0,071 мм у загрязненного материала. Воздействие уплотнения приводит к измельчению зерен мельче 5 мм в среднем на 4 % по всем фракциям.

Загрязненный отсев характеризуется повышенным содержанием зерен мельче 0,071 мм и невысокой прочностью, особенно крупных фракций, так как при стандартном уплотнении содержание фракций 1,25...20 мм уменьшается на 14...18 %, а прирост наиболее мелких зерен составляет 6 %.

Практика использования слабопрочных карбонатных пород показала возможность их применения в конструктивных дорожных слоях: в нижних слоях — без обработки вяжущим, в верхних — после обработки органическим или минеральным вяжущим. Уплотнение необработанного вяжущим слоя приводит к существенному дроблению крупных зерен: отмеченный слой в уплотненном состоянии работает как слабосцементированная плита, так как при уплотнении с поливкой водой по мере высыхания происходит естественная самоцементация.

Определения оптимальной влажности и максимальной плотности на приборе стандартного уплотнения СоюздорНИИ (рис. 3.9) свидетельствуют о закономерном увеличении оптимальной влажности загрязненного отсева по сравнению с чистым на 2 % (с 10 до 12 %) и снижении максимальной плотности на 0,1 г/см³ (с 2,29 до 2,21 г/см³).

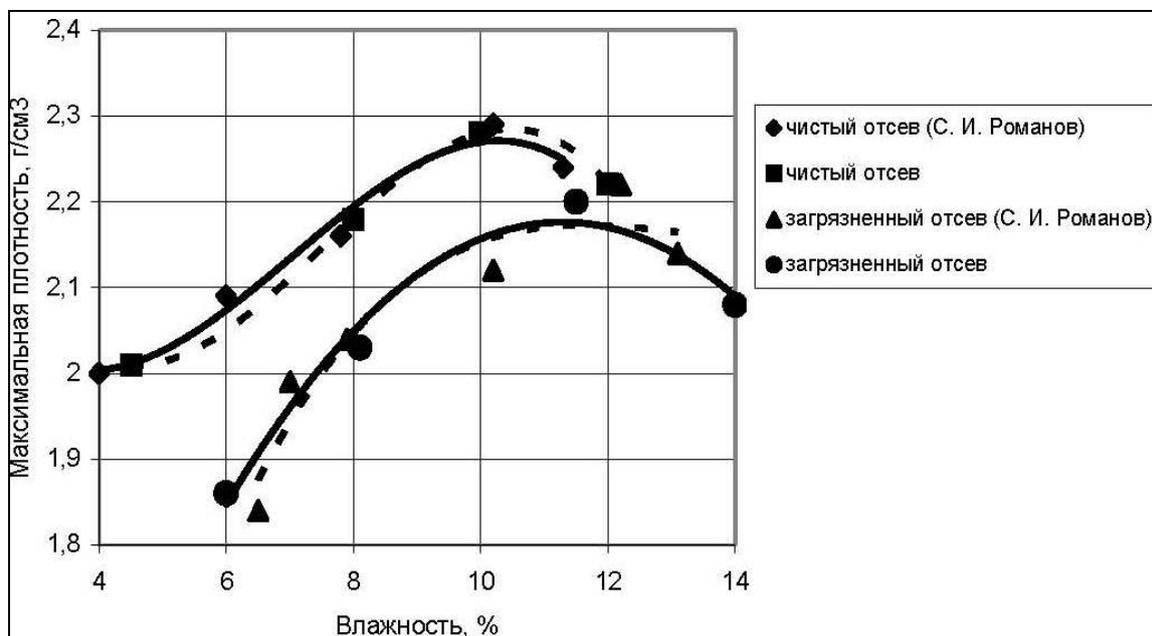


Рис. 3.9. Зависимость объемной массы от влажности отсева щебня

Исследования по содержанию карбонатной породы в отсевах известняка показали их большое количество в мелких фракциях, что благотворно сказывается на сцеплении органического вяжущего при укреплении отсевов. В качестве вяжущего рассмотрен вариант использования 5...7 % гудрона.

На основании анализа месторождений каменных материалов области, физико-механических характеристик щебня и отходов его дробления, а также опыта строительства дорожных одежд из местных материалов можно сделать следующие выводы:

общие объемы запасов каменных материалов и отходов их дробления в области составляют более 729227,3 тыс. м³, позволяют обеспечить потребности дорожной отрасли в щебне и его отсевах на долгие годы;

в месторождениях области наиболее широко представлены карбонатные породы с прочностью М-400—М-600, которые могут быть использованы в верхних и нижних слоях основания дорожных одежд;

физико-механические характеристики каменных материалов имеют вероятностный характер и подчинены нормальному закону распределения, поэтому назначение расчетной прочности щебня следует производить с заданным (проектным) уровнем надежности;

для повышения прочности и однородности местных материалов при соответствующем технико-экономическом обосновании рекомендуется укрепление щебня цементом из расчета 3...5 % от массы каменного материала. Для стабилизации свойств отсевах известняка возможно их укрепление 5...7 % гудрона или битумной эмульсией.

3.2. ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Для обоснования расчетной влажности грунтов земляного полотна был выполнен анализ почвенно-грунтовых условий области и оценка местности по условиям увлажнения земляного полотна. На основе этих исследований установлено, что по территории области в основном распространены суглинки тяжелые (44 %), суглинки легкие пылевые (19 %) и глины (26 %). Легкие суглинистые грунты составляют 5 %. Супеси и пески, наиболее предпочтительные для сооружения земляного полотна, составляют всего 6 % (рис. 3.10).

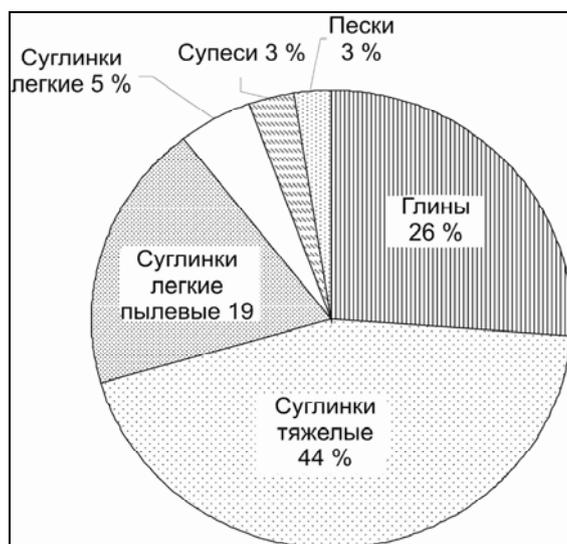


Рис. 3.10. Структура грунтовых условий Волгоградской области

Анализ территории области по условиям увлажнения грунтов земляного полотна показал, что 97,29 % местности относится к I типу местности по условиям увлажнения (рис. 3.11).

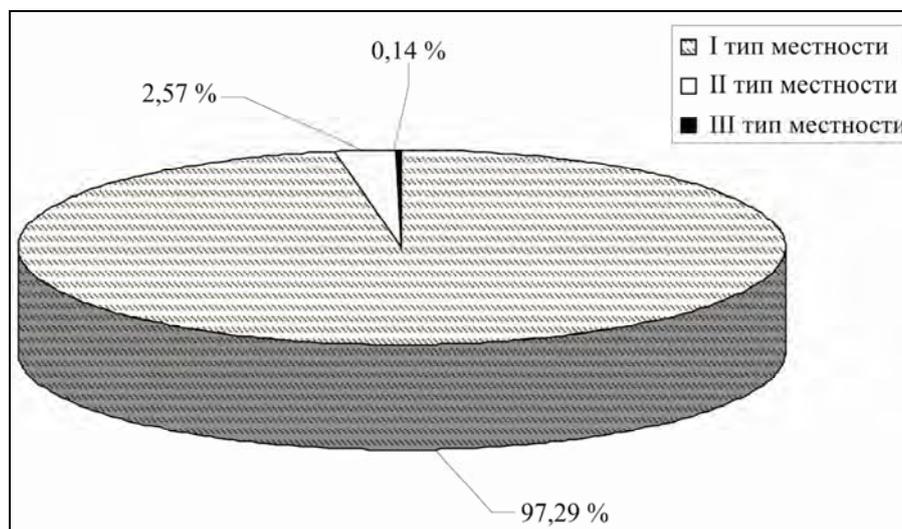


Рис. 3.11. Структура местности области по условиям увлажнения

Незначительная часть территории области периодически подтопляется водой и относится к II типу местности по условиям увлажнения. Количество участков местности, имеющих признаки заболачивания, и болот незначительно и составляет всего 0,14 %. Следует отметить, что к II и III типам местности по условиям увлажнения относится территория Волго-Ахтубинской поймы (Ленинский и Среднеахтубинский районы), где транспортная сеть в основном представлена автомобильными дорогами IV технической категории, предназначенными для обеспечения проезда автотранспорта к сельским населенным пунктам.

Обоснование расчетной влажности грунтов земляного полотна выполнено по методике, изложенной в разделе 2.2, на основе данных тепловлагообеспеченности территории области.

Результаты расчетов среднегодовой максимальной влажности глинистых грунтов представлены на рис. 3.12, значения расчетной влажности и модуля упругости глинистых грунтов (суглинка и супеси легкой), а также их угла внутреннего трения и сцепления представлены в табл. 3.7, 3.8.

На основе расчетов установлено, что на участках местности I типа местности по условиям увлажнения среднемноголетняя максимальная влажность грунтов земляного полотна в весенний период по территории области изменяется от 0,48 до 0,59 W_T для суглинистых грунтов и от 0,37 до 0,50 W_T — для супесчаных грунтов (рис 3.12).

На участках местности II типа местности по условиям увлажнения влажность соответственно изменяется: для суглинистых грунтов — 0,49...0,60 W_T , для супесчаных грунтов — 0,38...0,52 W_T .

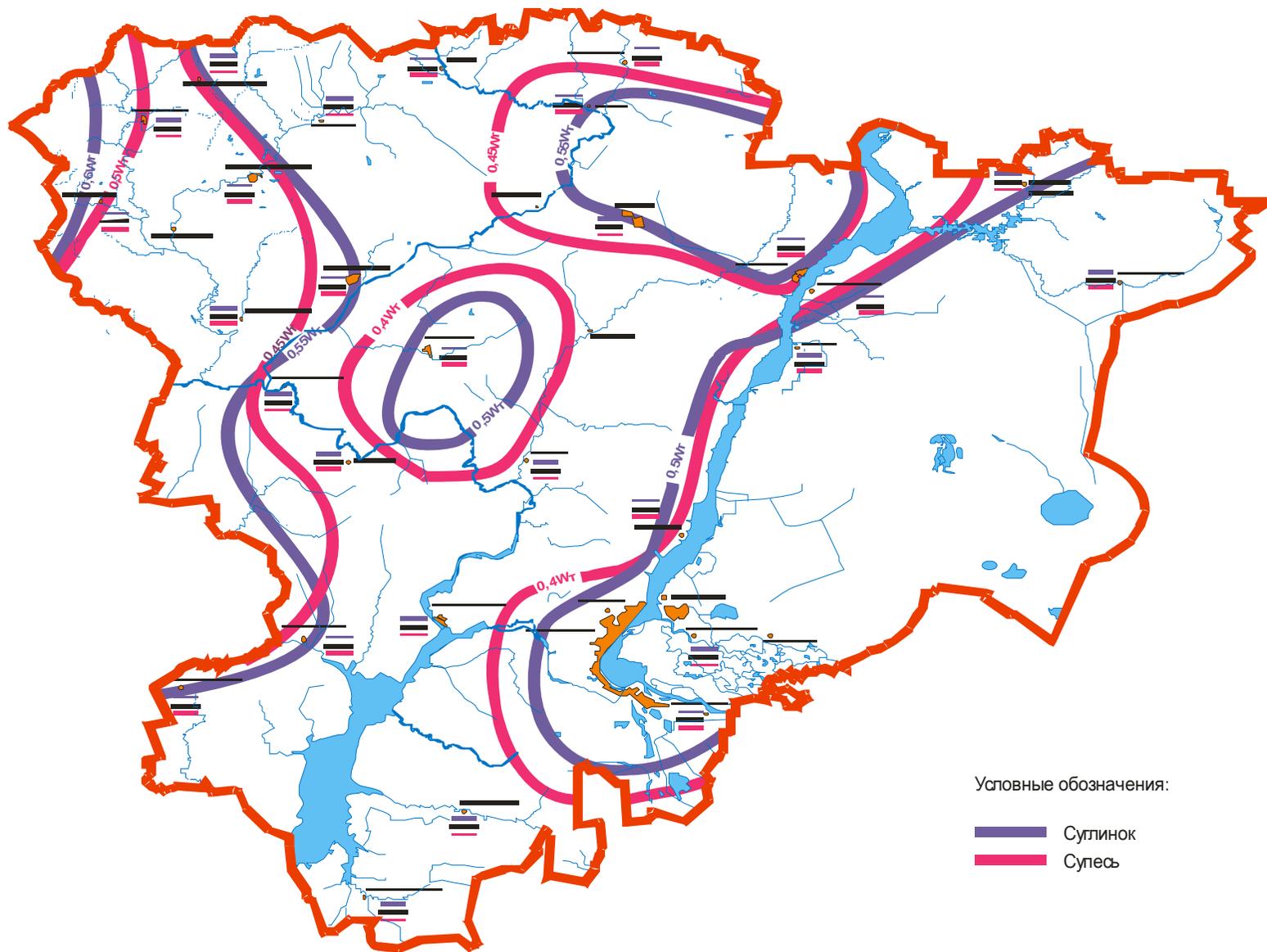


Рис 3.12. Средняя максимальная влажность грунтов земельного полотна в расчетный период по территории Волгоградской области (I тип местности по условиям увлажнения)

Таблица 3.7

Расчетная влажность и модуль упругости глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог Волгоградской области

Название пункта	Значение влажности для грунтов, W/Wt						Модуль упругости грунта, МПа					
	Суглинок			Супесь легкая			Суглинок			Супесь легкая		
	Тип местности по условиям увлажнения						Тип местности по условиям увлажнения					
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Урюпинск	0,59	0,60	0,62	0,50	0,52	0,54	73	69	63	69	66	63
Новониколаевка	0,55	0,56	0,58	0,45	0,46	0,48	88	84	76	77	75	72
Киквидзе	0,53	0,55	0,57	0,43	0,44	0,46	96	88	80	80	78	75
Елань	0,53	0,56	0,57	0,44	0,45	0,47	96	84	80	78	77	73
Рудня	0,55	0,57	0,59	0,46	0,47	0,49	88	80	73	75	73	70
Жирновск	0,53	0,55	0,57	0,42	0,43	0,45	96	88	80	82	80	77
Старая Полтавка	0,50	0,52	0,54	0,39	0,40	0,42	110	101	92	87	85	82
Камышин	0,55	0,56	0,58	0,45	0,46	0,48	88	84	76	77	75	72
Нехаево	0,59	0,60	0,62	0,50	0,52	0,54	73	69	63	69	66	63
Новоаннинский	0,55	0,56	0,58	0,45	0,46	0,48	88	84	76	77	75	72
Михайловка	0,55	0,56	0,58	0,44	0,45	0,47	88	84	76	78	77	73
Котово	0,55	0,57	0,59	0,46	0,47	0,49	88	80	73	75	73	70
Николаевск	0,51	0,53	0,55	0,41	0,42	0,44	105	96	88	84	82	78
Палласовка	0,49	0,51	0,53	0,37	0,38	0,39	115	105	96	91	89	87
Кумылженская	0,58	0,59	0,61	0,48	0,50	0,52	76	73	66	72	69	66
Фролово	0,49	0,51	0,53	0,37	0,38	0,39	115	105	96	91	89	87
Быково	0,48	0,49	0,52	0,37	0,38	0,39	119	115	101	91	89	87
Серафимович	0,53	0,55	0,57	0,44	0,45	0,47	96	88	80	78	77	73
Иловля	0,51	0,53	0,55	0,41	0,42	0,44	105	96	88	84	82	78
Дубовка	0,50	0,52	0,54	0,41	0,42	0,44	110	101	92	84	82	78
Клетская	0,53	0,51	0,53	0,38	0,39	0,41	96	105	96	89	87	84
Средняя Ахтуба	0,49	0,51	0,53	0,36	0,39	0,41	115	105	96	93	87	84
Калач-на-Дону	0,51	0,53	0,55	0,42	0,43	0,45	105	96	88	82	80	77
Суровикино	0,55	0,56	0,58	0,44	0,45	0,47	88	84	76	78	77	73
Светлый Яр	0,49	0,51	0,53	0,38	0,39	0,41	115	105	96	89	87	84
Чернышевский	0,55	0,56	0,58	0,44	0,45	0,47	88	84	76	78	77	73
Октябрьский	0,51	0,53	0,55	0,41	0,42	0,44	105	96	88	84	82	78
Котельниково	0,53	0,55	0,57	0,43	0,44	0,46	96	88	80	80	78	75

Таблица 3.8

Угол внутреннего трения и сцепление глинистых грунтов земляного полотна автомобильных дорог Волгоградской области

Название пункта	Угол внутреннего трения						Сцепление					
	Суглинок			Супесь легкая			Суглинок			Супесь легкая		
	Тип местности по условиям увлажнения						Тип местности по условиям увлажнения					
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Урюпинск	0,019	0,017	0,015	0,012	0,011	0,010	16,7	15,8	14,1	20,2	20,2	20,1
Новониколаевка	0,025	0,023	0,020	0,014	0,014	0,013	21,3	20,0	17,7	20,5	20,4	20,3
Киквидзе	0,030	0,025	0,022	0,015	0,015	0,014	24,2	21,3	18,8	20,5	20,5	20,4
Елань	0,030	0,023	0,022	0,015	0,014	0,013	24,2	20,0	18,8	20,5	20,5	20,4
Рудня	0,025	0,022	0,019	0,014	0,013	0,012	21,3	18,8	16,7	20,4	20,4	20,3
Жирновск	0,030	0,025	0,022	0,016	0,015	0,014	24,2	21,3	18,8	20,6	20,5	20,5
Старая Полтавка	0,038	0,032	0,027	0,018	0,017	0,016	29,7	25,9	22,7	20,8	20,7	20,6
Камышин	0,025	0,023	0,020	0,014	0,014	0,013	21,3	20,0	17,7	20,5	20,4	20,3
Нехаево	0,019	0,017	0,015	0,012	0,011	0,010	16,7	15,8	14,1	20,2	20,2	20,1
Новоаннинский	0,025	0,023	0,020	0,014	0,014	0,013	21,3	20,0	17,7	20,5	20,4	20,3
Михайловка	0,025	0,023	0,020	0,015	0,014	0,013	21,3	20,0	17,7	20,5	20,5	20,4
Котово	0,025	0,022	0,019	0,014	0,013	0,012	21,3	18,8	16,7	20,4	20,4	20,3
Николаевск	0,035	0,030	0,025	0,017	0,016	0,015	27,7	24,2	21,3	20,6	20,6	20,5
Палласовка	0,041	0,035	0,030	0,020	0,019	0,018	31,8	27,7	24,2	20,9	20,8	20,8
Кумылженская	0,020	0,019	0,016	0,013	0,012	0,011	17,7	16,7	14,9	20,3	20,2	20,2
Фролово	0,041	0,035	0,030	0,020	0,019	0,018	31,8	27,7	24,2	20,9	20,8	20,8
Быково	0,045	0,041	0,032	0,020	0,019	0,018	34,2	31,8	25,9	20,9	20,8	20,8
Серафимович	0,030	0,025	0,022	0,015	0,014	0,013	24,2	21,3	18,8	20,5	20,5	20,4
Иловля	0,035	0,030	0,025	0,017	0,016	0,015	27,7	24,2	21,3	20,6	20,6	20,5
Дубовка	0,038	0,032	0,027	0,017	0,016	0,015	29,7	25,9	22,7	20,6	20,6	20,5
Клетская	0,030	0,035	0,030	0,019	0,018	0,017	24,2	27,7	24,2	20,8	20,8	20,6
Средняя Ахтуба	0,041	0,035	0,030	0,021	0,018	0,017	31,8	27,7	24,2	20,9	20,8	20,6
Калач-на-Дону	0,035	0,030	0,025	0,016	0,015	0,014	27,7	24,2	21,3	20,6	20,5	20,5
Суровикино	0,025	0,023	0,020	0,015	0,014	0,013	21,3	20,0	17,7	20,5	20,5	20,4
Светлый Яр	0,041	0,035	0,030	0,019	0,018	0,017	31,8	27,7	24,2	20,8	20,8	20,6
Чернышевский	0,025	0,023	0,020	0,015	0,014	0,013	21,3	20,0	17,7	20,5	20,5	20,4
Октябрьский	0,035	0,030	0,025	0,017	0,016	0,015	27,7	24,2	21,3	20,6	20,6	20,5
Котельниково	0,030	0,025	0,022	0,015	0,015	0,014	24,2	21,3	18,8	20,5	20,5	20,4

Примечания:

1. В таблицах 3.7, 3.8 представлены расчетные характеристики грунтов, наиболее предпочтительные для сооружения земляного полотна.
2. Расчетная влажность грунтов земляного полотна и расчетные деформационные характеристики глинистых грунтов (модуль упругости, угол внутреннего трения и сцепление) приведены обеспеченностью 0,85. При изменении уровня надежности в расчетные характеристики грунтов необходимо вводить соответствующие коррективы.
3. Прочностные характеристики глинистых грунтов приведены для традиционной конструкции дорожной одежды общей толщиной 0,45...0,50 м с асфальтобетонным покрытием на щебеночном основании с песчаным подстилающим слоем и неукрепленными обочинами. Интенсивность движения 200 авт./сут.
4. При использовании конструктивных мероприятий по снижению расчетной влажности грунтов земляного полотна (укрепление обочин, повышенное уплотнение грунтов земляного полотна, устройство гидроизолирующих прослоек и т. п.) необходимо использовать поправки, указанные в ОДН 218.046—01 с соответствующей корректировкой модуля упругости, угла внутреннего трения и сцепления.

На основании выполненных исследований по оценке грунтово-гидрологических условий Волгоградской области и обоснованию расчетной влажности и прочностных характеристик грунтов земляного полотна можно сделать следующие выводы:

1. Территория области в основном представлена суглинками тяжелыми (44 %), суглинками легкими пылеватыми (19 %) и глинами (26 %). Легкие суглинки, супеси и пески, наиболее предпочтительные для сооружения земляного полотна, составляют 11 %.

2. Территория области по условиям увлажнения грунтов земляного полотна в основном относится (97,29 %) к I типу местности по условиям увлажнения. Незначительная часть территории области периодически подтопляется водой и относится к II типу местности по условиям увлажнения. Участки местности, имеющие признаки заболачивания, и болота расположены в Волго-Ахтубинской пойме и составляют всего 0,14 % территории.

3. Расчетная влажность глинистых грунтов земляного полотна по территории Волгоградской области изменяется: $0,36...0,55W_T$ — на I типе местности по условиям увлажнения; $0,38...0,60W_T$ — на II типе; $0,39...0,62W_T$ — на III типе. Модуль упругости глинистых и суглинистых грунтов — 63...155 МПа, песчаных грунтов — 63...91 МПа.

3.3. ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

3.3.1. Строительство дорожных одежд на основании из мела по типу минерального бетона

Меловые отложения Волгоградской области расположены в Дубовском, Руднянском, Калачевском, Кумылженском, Ольховском районах и представляют собой породу полускального типа, состоящую из остатков скелетных образований планктонных организмов и мелких обломков кальцита с пористостью 40...45 % и плотностью 1,2...1,9 г/см³. Механическая прочность мела изменяется в зависимости от его влажности, пористости и минералогического состава. Отсутствие кондиционных каменных материалов на северо-западе области вызвало необходимость исследовать возможность использования мела в основании дорожных одежд. Была доказана способность местного мела к самоцементации без обработки вяжущим. Образование минерального бетона происходит при одновременной потере влаги из уплотненного при оптимальной влажности мелового слоя, выполняющего функции основания дорожной одежды.

Опытное строительство и эксплуатации участков автомобильных дорог Нехаево — Захоперский и Реченский — Упорниковский (в Нехаевском районе) подтвердили возможность использования мела в качестве

самостоятельного материала в нижних слоях основания дорожных одежд на местных автомобильных дорогах сети IV технической категории на I типе местности по характеру увлажнения в IV и V дорожно-климатических зонах.

Результаты лабораторных испытаний мела Нехаевского месторождения показали наличие высокого содержания в нем карбонатных пород (до 97 %), влажность на пределе текучести — 38 %, раскатывания — 26 %, числа пластичности — 12 %. На приборе стандартного уплотнения СоюздорНИИ определены оптимальная влажность (28 %) и максимальная плотность (максимальная объемная масса скелета) ($1,84 \text{ т/м}^3$) мела.

Для образцов Нехаевского месторождения величина капиллярного водонасыщения составляет 20...25 %, коэффициент морозостойкости — 0,96; через 1...2 суток выдержки в комнатных условиях предел прочности при сжатии превышал 0,5 МПа; через 1...2 недели — более 1,0 МПа. Прочность определялась при +20 °С.

Таким образом, самоцементация мела происходит при одновременном снижении содержания влаги образцов, которая затрачивается на образование известкового камня.

Опытно-экспериментальный участок дорожной одежды на основании из мела автомобильной дороги Реченский — Упорниковский (с ПК6+05 по ПК12+00) был построен в 1993 г.

Дорога имеет IV техническую категорию, интенсивность движения — 210 авт./сут. Требуемый модуль упругости дорожной одежды переходного типа — 125 МПа. Тип местности по условиям увлажнения — I. Грунт земляного полотна — суглинок.

Дорожная одежда представлена 2-слойным асфальтобетонным покрытием на основании из мела толщиной 15...26 см, расположенном на нижнем слое из песчано-щебеночной смеси толщиной 18...30 см. Участок расположен на местности с явно выраженной косогорностью, создающей значительную водосборную площадь и накопление воды осенью и весной в одностороннем боковом резерве. Это условие определило двойственную оценку местности по характеру увлажнения.

В 1993 и 1995 гг. отмечался застой воды в резерве (II тип местности по характеру увлажнения), с 1997 г. местность относится к I типу. Результаты определения прочности основания из мела, подстилающего слоя из песчано-щебеночной смеси и подстилающего грунта земляного полотна конструкции, выполненные сотрудниками ГП РосдорНИИ, ВолгГАСУ и УНПП «Аспект», приведены на рис. 3.13. и в табл. 3.9.

Обследование опытного участка показало, что преобладающее значение влажности мела равно $0,27W_T$ (соответствует уровню капиллярного водонасыщения материала). Относительная влажность грунта земляного полотна на участке с основанием из мела в 1,2 раза меньше, чем в случае отсутствия мела.

**Прочность опытного участка автодороги Реченский — Упорниковский
за период с 1993 по 2001 гг.**

Материал конструкции	Средний модуль упругости на поверхности конструктивного слоя, МПа			
	1993 г.	1995 г.	1997 г.	2001 г.
Мел	132	162	161	165
Песчано-щебеночная смесь	413	131	126	120
Грунт земляного полотна — суглинок	24	—	105	98

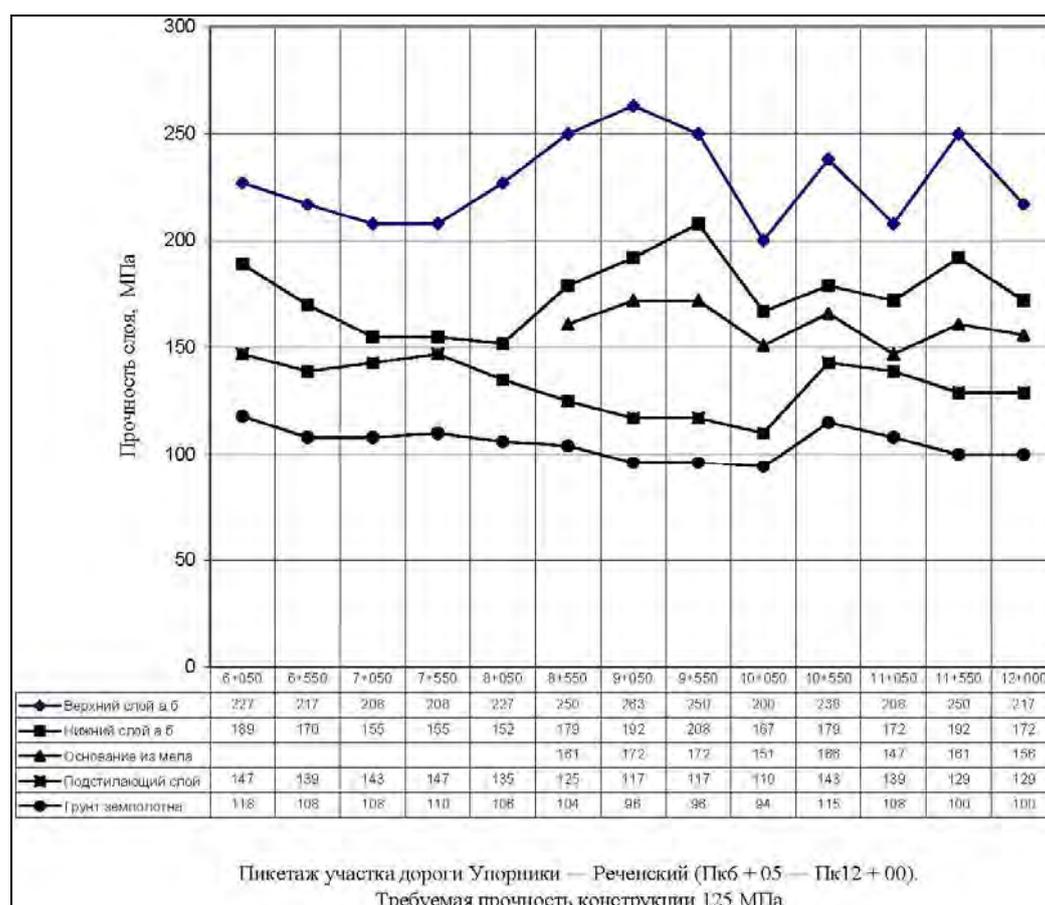


Рис. 3.13. Прочность конструктивных слоев дорожной одежды автомобильной дороги Упорники — Реченский

Это объясняется уменьшением парообразной и капиллярной влаги в грунте земляного полотна (в пределах активной зоны полотна) за счет высокой гигроскопической способности мела. Очевидно поэтому отмечены высокие модули упругости грунта на контакте с подстилающим слоем дорожной одежды.

Отсутствие каких-либо разрушений дорожной одежды и хорошая ровность проезжей части за 10 лет эксплуатации опытного участка дороги позволяет сделать вывод о целесообразности использования мела в дорожном основании с асфальтобетонным покрытием, защищающим мел от переувлажнения сверху атмосферными осадками. Результаты штамповых испытаний 1995 и 2001 гг. позволили установить модуль упругости мелового слоя (210 МПа).

В течение летнего строительного сезона 2001 г. Нехаевским ДРСУ выполнено строительство автодороги Нехаевский — Захоперский на участке ПК60 + 00 — ПК90 + 00. Согласно проектным данным, дорога проходит по I типу местности по условиям увлажнения. Высота земляного полотна строящейся дороги на большем протяжении изменяется от 1,20 до 3,50 м (при минимально допустимой по условиям снегонезаносимости 1,1 м). В местах водопропускных труб высота насыпи составляет от 2,05 м (ПК65 + 05) до 3,59 м (ПК77 + 00). Возвышение бровки земляного полотна над горизонтом поверхностных вод на этих участках изменяется от 1,6 (ПК82 + 56) до 3,70 м (ПК65 + 05). Земляное полотно отсыпалось по существующей насыпи, основание дорожной одежды устраивалось на стабилизированном грунтовом основании. Это позволяет сделать заключение о том, что дорожная одежда будет иметь повышенную прочность и равнопрочность (однородность) в послестроительный период. Грунтовое основание под существующей насыпью сложено из суглинка тяжелого пылеватого средненабухающего, супеси легкой средненабухающей, глины пылеватой средненабухающей. На всем протяжении присутствует почвенно-растительный слой толщиной 0,3 м. Существующая насыпь сложена из глины пылеватой средненабухающей, которая имеет коэффициент плотности не ниже 0,98 и влажность 0,46...0,48 W_T . По результатам штамповых испытаний было установлено, что модуль упругости грунтового основания изменяется от 61 до 78 МПа.

На основании анализа продольного профиля было сделано заключение, что конструкция земляного полотна, геологические и гидрогеологические условия участка строительства позволяют использовать в дорожной одежде природный мел по типу минерального бетона при обеспечении водоотвода на поверхности земляного полотна и в основании дорожной одежды.

Дорожная одежда имеет требуемый модуль упругости 161 МПа. По согласованию с заказчиком запроектирована следующая конструкция:

однослойное покрытие из горячего плотного мелкозернистого асфальтобетона II марки типа «Б» толщиной 5 см из щебня Павловского карьера;

двухслойное основание из крупнозернистого пористого асфальтобетона II марки типа «Б» толщиной 6 см и фракционированного щебня толщиной 15 см Фроловского карьера;

подстилающий слой толщиной 26 см из песчано-щебеночной смеси Муруговского карьера.

Ширина проезжей части — 6 м, краевые полосы по типу основной дорожной одежды — 0,5 м с каждой стороны. Укрепление обочин производилось засевом трав, на участке ПК109 — ПК119 обочины были укреплены щебнем толщиной 13 см.

Для приготовления асфальтобетона II марки типа «Б» при устройстве покрытия дорожной одежды использовался щебень Павловского карьера Воронежской области со следующими показателями: водопоглощение 0,04...0,3 %, морозостойкость — 200, пористость — 0,38...1,49 %, марка по дробимости щебня в цилиндре — 1200...1400, зерновой состав — 0...70 мм. Для устройства основания дорожной одежды использовался известняковый щебень Фроловского карьера с маркой по дробимости М-400 и М-300.

В процессе изучения района строительства появилась возможность замены основания из Фроловского щебня толщиной 16 см на слой из местного природного мела. Месторождение мела находилось на расстоянии 800 м от строящегося участка. Лабораторные исследования показали, что физико-механические характеристики материала удовлетворяют требованиям ТУ 5711-001-03436071—97, т. е. материал пригоден для использования в основании дорожной одежды.

Расчетный модуль упругости мела в слое основания был назначен исходя из максимально возможной относительной влажности материала в неблагоприятный весенний период времени эксплуатации дороги. Исследования зависимости прочности мела от относительной влажности приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.10

Зависимость прочности мела от влажности

Относительная влажность мела	0,27	0,17	0,15	0,05
Расчетный модуль упругости, МПа	210	265	310	360

Для расчета конструкции принят модуль упругости мела 200 МПа.

Относительная влажность уплотненного мела в процессе эксплуатации дороги не должна быть более 0,2...0,25, что соответствует капиллярному водонасыщению в весенне-осенний период. Поэтому для обеспечения водоотвода в основании дорожной одежды выполнено устройство подстилающего слоя из местного мелкого песка толщиной 10 см (взамен слоя из песчано-щебеночного слоя толщиной 26 см).

Мел применялся без подбора зернового состава, поскольку происходит его измельчение в процессе уплотнения при оптимальной влажности с последующим омоноличиванием слоя в результате самоцементации по мере потери влаги. Распределение мела производилось автогрейдером по ширине основания на толщину 30 см в два слоя по 15 см.

Укатка основания из мела выполнялась при оптимальной влажности, определяемой с помощью прибора стандартного уплотнения по методике СоюздорНИИ. Оптимальная влажность составляла 19...23 % от массы мела. Уплотнение мелового слоя производилось в два этапа. Первый этап осуществлялся с целью размельчения крупных фракций мела и заполнения пустот между зернами мелочью, образующейся при дроблении мела. Работы велись с поливом водой в объеме 1/3 от необходимого количества. На первом этапе укатка производилась при 2—3 проходах катка по одному следу при минимальной скорости движения. Затем из автоцистерны разливалась вода в 2—3 приема. Ко второму этапу уплотнения приступали после увлажнения и подсыхания поверхности слоя во избежание налипания переувлажненного мела на шины или вальцы катка. Для уплотнения использовались катки гладковальцовые 12-тонные. Для обеспечения требуемой плотности укатка производилась в 8...10 проходов катка по следу с постепенным увеличением скорости движения от 2 до 5 км/ч. Через двое суток после уплотнения мелового слоя приступали к устройству вышележащего слоя из Фроловского щебня толщиной 6 см пористого асфальтобетона. К этому времени влаж-

ность мела уменьшилась, что было обусловлено началом самоцементации, которая завершается через 1...2 недели, обеспечивая прочность при сжатии мела не менее 1 МПа. Перекрытие всего участка основания из мела асфальтобетоном было выполнено до наступления осенних дождей.

В процессе строительства выполнена оценка прочности конструктивных слоев дорожной одежды с помощью прогибомера МАДИ-ЦНИЛ под колесом груженого автомобиля МАЗ-500. Определялись модули упругости на поверхности: грунта земляного полотна, песчаного слоя толщиной 10 см, слоя из мела толщиной 30 см, на поверхности нижнего пористого асфальтобетонного слоя толщиной 6 см. Верхний слой из плотного асфальтобетона толщиной 5 см в 2001 г. не был уложен. Испытания проводились через 200 м по полосе наката. Модули упругости на поверхности конструктивных слоев определялись перед укладкой следующего слоя дорожной одежды. Результаты испытаний приведены на рис. 3.14 и в табл. 3.11.

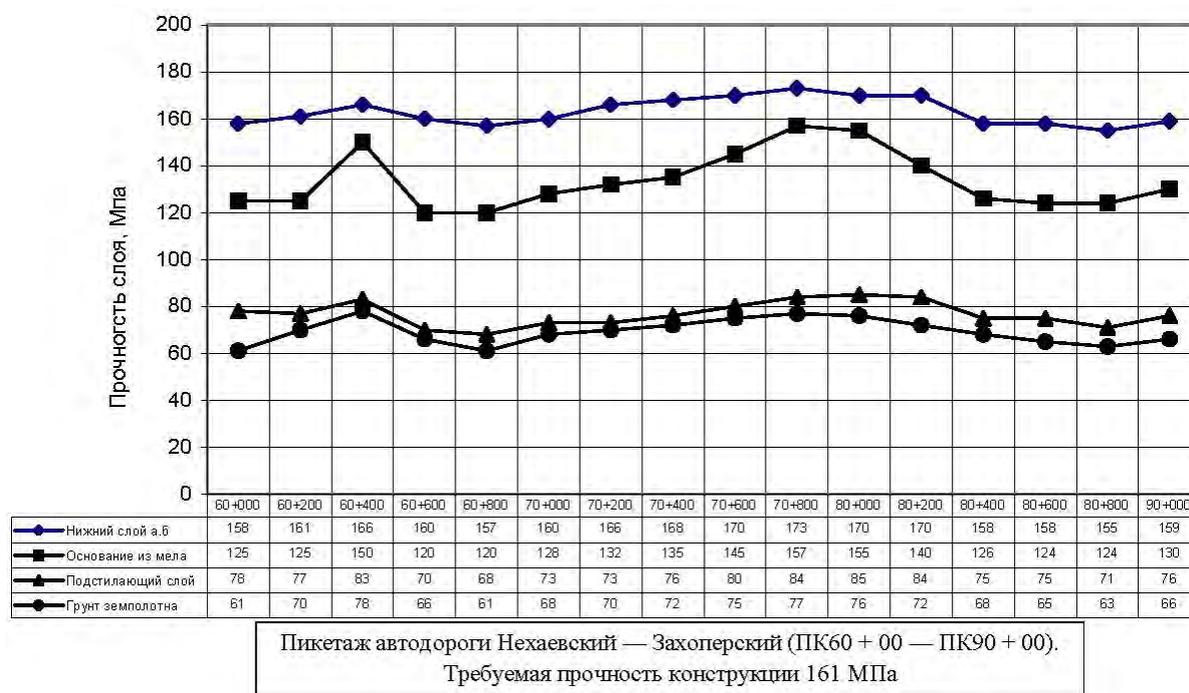


Рис. 3.14. Прочность конструктивных слоев дорожной одежды автомобильной дороги Нехаевский — Захоперский

Таблица 3.11

Средняя прочность слоев дорожной одежды участка дороги Нехаевский — Захоперский на ПК60 + 00 — ПК90 + 00

Материал слоя	Толщина, см	Средний модуль упругости на поверхности слоя, МПа		Средний коэффициент прочности
		проектный	фактический	
Грунт земляного полотна — глина		58	69	1,19
Песчаный слой	10	65	77	1,18
Основание из мела	30	117	134	1,14
Нижний слой покрытия из пористого асфальтобетона	6	150	163	1,08

Испытания показали, что проектная прочность конструктивных слоев дорожной одежды обеспечена (см. табл. 3.11): коэффициент прочности грунтового основания равен 1,19; коэффициент прочности песчаного слоя — 1,18; коэффициент прочности слоя из мела — 1,14; коэффициент прочности нижнего слоя асфальтобетонного покрытия — 1,08. Статическая обработка результатов испытаний конструкций дорожной одежды позволила установить зависимость прочности конструкции и основания из мела от несущей способности грунтового основания (рис. 3.15, 3.16).

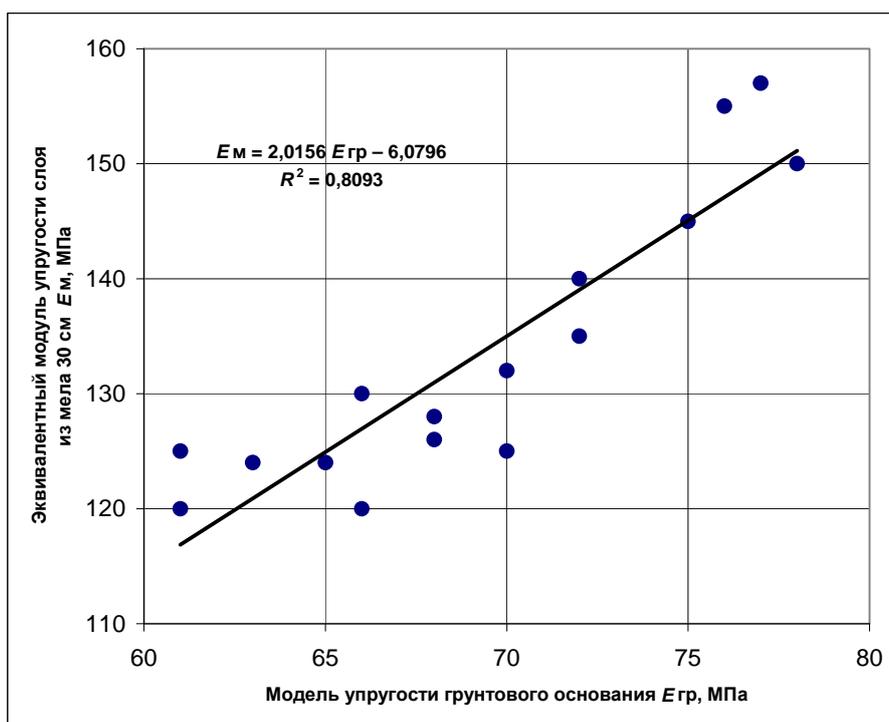


Рис. 3.15. Зависимость прочности основания из мела от прочности грунтового основания

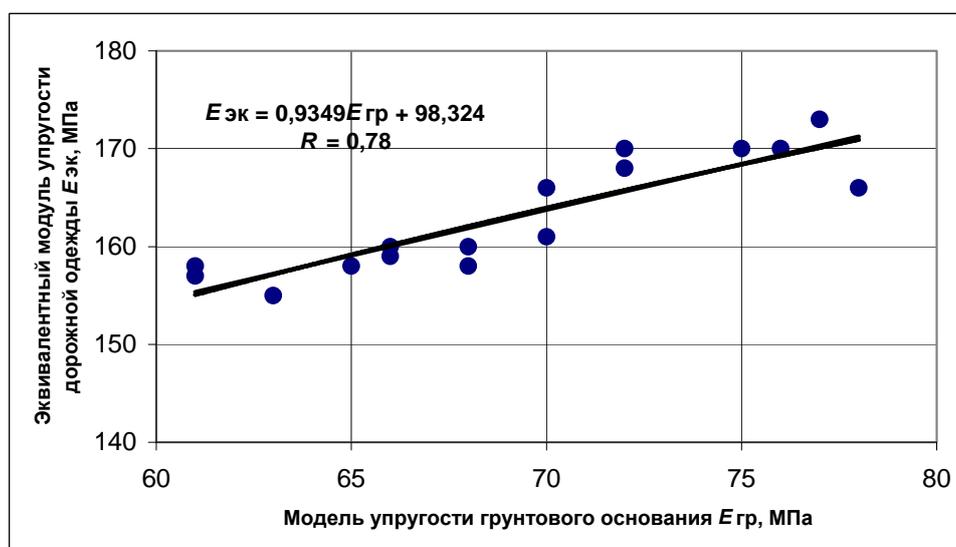


Рис. 3.16. Зависимость прочности дорожной одежды от прочности грунтового основания

Результаты анализа показали, что прочность основания из мела (эквивалентный модуль упругости на поверхности основания из мела) и прочность построенной конструкции (эквивалентный модуль упругости на поверхности нижнего слоя из пористого асфальтобетона) в значительной степени зависят от прочности грунтового основания. Коэффициенты корреляции равны соответственно 0,80 и 0,78. Поэтому можно сделать заключение о необходимости качественного строительства грунтового основания (подбор грунтов и тщательное уплотнение), от прочности которого в значительной степени зависят прочность основания из мела и состояние конструкции дорожной одежды в целом.

На основании результатов строительства и эксплуатации опытно-экспериментальных участков дорожных одежд с основанием из мела можно сделать следующие выводы:

1. Строительство дорожных одежд на основании из мела по типу минерального бетона возможно на автомобильных дорогах с интенсивностью не более 300 авт./сут. в IV и V дорожно-климатических зонах на I типе местности по условиям увлажнения. Расчетный модуль упругости мела — 200 МПа. При этом необходимо обеспечить возвышение бровки земляного полотна над уровнем поверхностных вод (в местах расположения водопропускных труб) на высоту не менее 0,5 м; верхнюю часть насыпи по возможности отсыпать из песчаных или супесчаных грунтов и уплотнять до коэффициента уплотнения не менее 0,98.

2. При использовании мела в основании дорожных одежд он должен отвечать следующим техническим требованиям: содержание карбонатных соединений (Ca_3 , MgCO_3) — не менее 95 % массы; число пластичности — не более 7; максимальный размер кусков мела не должен превышать 0,7 от общей толщины слоя в плотном теле дорожного основания; в процессе производства работ относительная влажность мела должна быть не более 0,27 W_T .

3. При строительстве конструкций с использованием мела необходимо обеспечить стабильное грунтовое основание, от прочности которого в значительной степени зависит состояние дорожной одежды в послестроительный период. Не допускается увлажнение мела атмосферными осадками в период производства работ, поэтому после устройства основания в кратчайшие сроки необходима укладка водонепроницаемых слоев покрытия.

4. Слои основания из мела во время эксплуатации дорог не должны быть переувлажнены, так как под воздействием влаги происходит потеря их прочности со снижением модуля упругости, ростом вероятности появления просадок и сетки трещин на дорожном покрытии. Для сохранения расчетной прочности основания из мела (200 МПа) и обеспечения самоцементации основания необходимо в процессе эксплуатации автомобильной дороги исключить переувлажнение материала поверхностными и грунтовыми водами. Оптимальный водно-тепловой режим основания из мела обеспечивается: устройством водонепроницаемого одно- или двухслойного асфальтобетонного покрытия; устройством однослойного покрытия из пористого асфальтобетона с одиночной или двойной поверхностной обработкой; для отвода воды, стекающей

с поверхности проезжей части, — укреплением обочин щебнем или песчано-щебеночной смесью с приданием поперечного уклона 30...40 ‰; устройством дренирующего слоя из песка или ПГС толщиной не менее 10 см.

5. Обследование построенных участков дороги позволяет сделать заключение, что в течение 10 лет эксплуатации состояние опытной конструкции хорошее. Дефектов покрытия не наблюдается. Нормативный межремонтный срок службы дорожной одежды обеспечен.

3.3.2. Строительство дорожных одежд на основании из грунтов повышенной плотности

Использование грунтов повышенной плотности в основании дорожных конструкций позволяет снизить толщину и материалоемкость дорожных одежд за счет повышения прочности грунтового основания до 23...35 %, уменьшить стоимость их строительства до 20 % . Как показал опыт строительства на объектах Тюменской, Новосибирской, Омской, Тамбовской и др. областей, в сравнении с традиционной конструкцией с основанием из щебня экономический эффект за счет снижения сметной стоимости строительства (в ценах 1984 г.) составляет от 9 до 21 тыс. р. на 1 км для дорог Iс, IIс и IV технических категорий.

С целью изыскания возможностей использования местных грунтов в основании дорожных одежд на местных дорогах Заволжья в 1999 г. под руководством В. С. Боровика выполнены теоретические исследования и строительство опытно-экспериментального участка с различными конструкциями дорожных одежд автомобильной дороги Победа — Солдатское — Степное в Быковском районе Волгоградской области. Дорога имеет IV техническую категорию, расположена в V дорожно-климатической зоне. Район строительства характеризуется отсутствием местных каменных материалов. Расчетная интенсивность движения 500 авт./сут., тип покрытия переходный. Требуемый модуль упругости дорожной одежды равен 164 МПа. Земляное полотно отсыпалось из супеси и легкого суглинка из боковых резервов. Известно, что наибольший эффект от грунтов повышенной плотности достигается при устройстве дорожной одежды на основании по типу «грунт в обойме». Обойма препятствует проникновению в ядро влаги, обеспечивает стабильность физико-механических характеристик грунта. При этом верхняя часть обоймы может быть представлена асфальтобетонным покрытием. Использование прослоек из нетканого синтетического материала (НСМ) позволило повысить прочность грунтового основания, исключить песчаный дренирующий слой. НСМ в данном случае работает как дренаж, служит противо-заиливающей прослойкой между слоями. Как показал опыт строительства, применение НСМ особенно эффективно в районах, где существует дефицит кондиционных материалов для устройства дренирующих и морозозащитных слоев. Отказ от песчаного подстилающего слоя позволил снизить сметную стоимость строительства на 4 %. В качестве альтернативы грунтам повышенной плотности использовался грунт, укрепленный стабилизатором Road

bond в количестве 2...3 % от массы грунта. Использование стабилизатора позволило создать достаточно жесткое основание с модулем упругости 200 МПа и сократить транспортные расходы на перевозку каменных материалов. Как показало строительство опытного участка, замена щебеночного основания на укрепленный и неукрепленный грунт позволила снизить стоимость строительства дорожной одежды на 800 тыс. р./км.

Покрытие из мелкозернистого асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см устраивалось на верхнем слое основания из крупнозернистой асфальтобетонной смеси марки 2 толщиной 5 см. В основном несущем слое основания использовались следующие материалы: местный суглинок, укрепленный стабилизатором грунта Road bond с прослойкой из геотекстиля и без него; суглинок легкий повышенной плотности ($K_y = 1,03...1,05$) с прослойкой из геотекстиля и без него; суглинок легкий повышенной плотности ($K_y = 1,03...1,05$) с устройством прикромочных призм из щебня шириной 0,5 м.

Строительство опытно-экспериментального участка (ПК128 + 40 — ПК129 + 40) выполнено в 1999—2002 гг. В конструктивных слоях использовались материалы с расчетными физико-механическими характеристиками, приведенными в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Расчетные характеристика конструктивных слов дорожной одежды

Конструктивный слой дорожной одежды	Материал слоя	Физико-механические характеристики материала
Покрытие	Мелкозернистый плотный асфальтобетон марки 3 тип «В»	$E_{+10} = 2400$ МПа, $E_{+20} = 440$ МПа, $E = 3600$ МПа
Верхний слой основания	Крупнозернистый пористый асфальтобетон 2 марки	$E_{+10} = 1400$ МПа, $E_{+20} = 380$ МПа, $E = 2200$ МПа, $R = 1,4$ МПа
Несущий слой основания	Суглинок легкий укрепленный Road bond	$E = 200$ МПа
Несущий слой основания	Щебень Липкинского карьера 40...80 мм осадочных пород	$E = 180$ МПа
Несущий слой основания	Грунт повышенной плотности с $K_y > 1,00$	$E = 112$ МПа, $P = 33$ °С, $C = 0,047$ МПа
Прослойка из геотекстиля	Дорнит (ТУ 63.032-19—89) нетканый иглопробивной из смеси волокон, толщиной 0,4 см	Плотность 600 г/м ² , прочность продольная/поперечная 120/90 МПа, $K_\phi = 150$ м/сут.

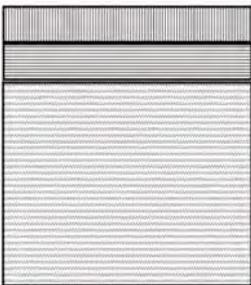
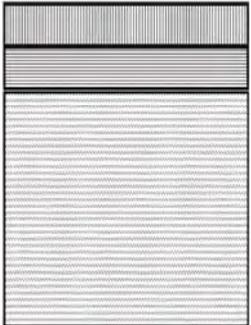
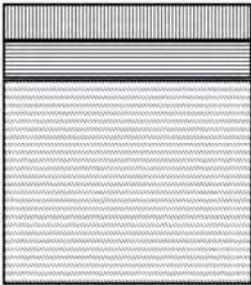
Основание из грунта, укрепленного стабилизатором Road bond, устраивалось на ширину проезжей части плюс 0,5 м с каждой стороны покрытия с поперечным уклоном 20 пром. Основание из грунтов повышенной плотности устраивалось на всю ширину земляного полотна. Прослойки из геотекстиля укладывались с выпусками на откосы не менее 15 см. Для повышения прочности прикромочной части дорожной одежды на основании

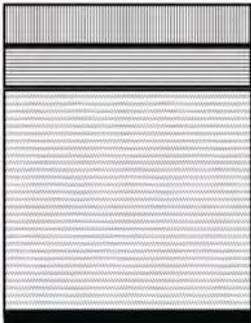
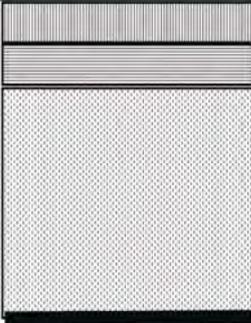
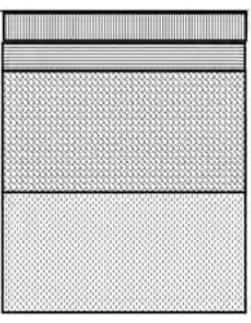
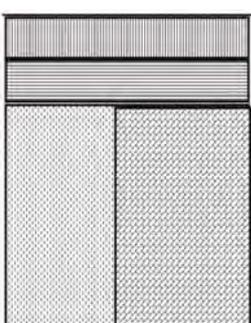
из грунта повышенной плотности в порядке эксперимента устраивалась прикромочная призма из щебня шириной и толщиной 50 см. Одновременно призма служила капиллярно- и паропрерывающей прослойкой между обочиной и основанием из грунта повышенной плотности дорожной одежды. Для оценки эффективности замены песчаного дренирующего слоя на прослойку из геотекстиля в конструкциях 4 и 5 предусмотрена укладка под основание нетканого синтетического материала «Дорнит» толщиной 0,4 см и коэффициентом фильтрации 150 м/сут, который укладывался с поперечным уклоном 30 пром. и выпусками на откосы не менее 15 см.

На участке было построено семь конструкций дорожных одежд на грунтовом основании из супеси и суглинка легкого на I и II типах местности по условиям увлажнения (табл. 3.13).

Таблица 3.13

Конструкции дорожных одежд опытно-экспериментального участка

Номер конструкции. Пикетаж	Схема конструкции	Описание конструкции	Тип местности по условиям увлажнения. Условия водоотвода
1. ПК118 + 40 — ПК121 + 24	 Грунт — супесь	Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см и суглинка легкого, укрепленного Road bond, толщиной 23 см. Грунт насыпи — супесь	II тип, вода в кюветах не наблюдается
2. ПК121 + 24 — ПК122 + 80	 Грунт — супесь	Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см и суглинка легкого, укрепленного Road bond, толщиной 23 см. Грунт насыпи — супесь	II тип, вода в кюветах наблюдается
3. ПК122 + 80 — ПК127 + 12	 Грунт — суглинок	Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см и суглинка легкого, укрепленного Road bond, толщиной 23 см. Грунт насыпи — суглинок	II тип местности по условиям увлажнения, вода в кюветах наблюдается

Номер конструкции. Пикетаж	Схема конструкции	Описание конструкции	Тип местности по условиям увлажнения. Условия водоотвода
4. ПК127 + 12 — ПК128 + 70	 <p>Грунт — суглинок</p>	<p>Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см и суглинка легкого, укрепленного Road bond, толщиной 23 см на прослойке из геотекстиля. Грунт насыпи — суглинок</p>	<p>II-й тип, вода в кюветах наблюдается</p>
5. ПК128 + 70 — ПК128 + 90	 <p>Грунт — суглинок</p>	<p>Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см и суглинка легкого повышенной плотности с $K_y = 1,03 \dots 1,05$ толщиной 50 см с прослойкой из геотекстиля. Грунт насыпи — суглинок</p>	<p>II-й тип, вода в кюветах наблюдается</p>
6. ПК128 + 90 — ПК29 + 66	 <p>Грунт — суглинок</p>	<p>Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см с основанием из щебня 14 см и суглинка легкого повышенной плотности с $K_y = 1,03 \dots 1,05$ толщиной 50 см. Грунт насыпи — суглинок</p>	<p>II-й тип, вода в кюветах наблюдается</p>
7. ПК129 + 66 — ПК139 + 65	 <p>Грунт — суглинок</p>	<p>Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 типа «В» толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 5 см и суглинка легкого повышенной плотности с $K_y = 1,03 \dots 1,05$ толщиной 50 см. Под кромкой проезжей части устраивается прикромочная призма из щебня 50 × 50 см. Грунт насыпи — суглинок</p>	<p>II-й тип, вода в кюветах наблюдается</p>

Район строительства расположен в засушливой зоне. В период строительства температура воздуха составляла + 34...38 °С. Местный грунт (суглинок) имел недостаточную естественную влажность (5...7 % или 0,38...0,40 $W_{\text{опт}}$). Естественное просыхание грунта в отсыпанном слое суглинка 0,3 м составляло около 4 % в сутки.

Опыт строительства основания из грунтов повышенной плотности показал, что наиболее важным является обеспечение оптимальных технологических параметров процесса уплотнения грунта (влажность грунта, вес, скорость движения и количество проходов уплотняющей техники, толщина отсыпанного слоя).

Грунтовое основание устраивалось на существующем профилированном земляном полотне, укатанном автотранспортом. В процессе строительства верхний слой существующей насыпи рыхлился фрезой на глубину 20...30 см, увлажнялся до оптимальной влажности 13 % автомашиной ПМ-130. Поливка водой выполнялась из расчета 1,5...2,0 л/м³ грунта, в соответствии с рассчитанными нормами увлажнения. Для более равномерного и интенсивного увлажнения грунт перемешивался фрезой в пределах сменной захватки с постоянным контролем его влажности полевым экспресс-методом. Пробная укатка грунта пневмокатком ДУ-16 массой 25 т не позволила достичь повышенной плотности грунта, поэтому было принято решение об уплотнении в две стадии.

На первой стадии суглинок уплотнялся прицепным кулачковым катком массой 18 т при 14 проходах по следу, на второй стадии грунтовая поверхность подкатывалась пневмокатком при 10 проходах по следу. Для снижения вероятности увлажнения грунтового основания атмосферными осадками асфальтобетонное покрытие устраивалось сразу после окончания процесса строительства основания.

Оценка прочности предлагаемых конструкций дорожных одежд в соответствии с ОДН 218.046—01 показала, что использование основания из переуплотненного грунта ($K_v = 1,03...1,05$) позволяет повысить модуль упругости грунтового основания (суглинка легкого) с 59 до 81 МПа. Использование дренажной прослойки из Дорнита дополнительно увеличивает прочность грунтового основания до 97 МПа. Увеличение прочности грунтового основания позволило снизить толщину основания из Липкинского щебня до 10 %. Сметная стоимость строительства дорожной одежды при этом снизилась на 5...10 %.

В процессе 4-летней эксплуатации опытного участка асфальтобетонное покрытие находится в хорошем состоянии. Какие-либо дефекты и разрушения, включая пластические деформации, колеи, волны, просадки, свидетельствующие о недостаточной прочности грунтового основания, отсутствуют. Средний эквивалентный модуль упругости дорожной одежды равен 134 МПа, коэффициент прочности — 0,83. Вместе с тем следует отметить, что прочность конструкций дорожной одежды на основании из грунта повышенной плотности не ниже, чем на основании из грунта, укрепленного Road bond (табл. 3.14).

Результаты штамповых испытаний конструкций дорожной одежды

Конструкция 1, ПК127 + 00		Конструкция 2, ПК 128 + 90	
Материал конструктивного слоя	$E_{\text{экв}}$, МПа	Материал конструктивного слоя	$E_{\text{экв}}$, МПа
Покрытие из мелкозернистого асфальтобетона 4 см	163	Покрытие из мелкозернистого асфальтобетона 4 см	136
Слой из крупнозернистого асфальтобетона 5 см	126	Слой из крупнозернистого асфальтобетона 5 см	120
Основание из грунта, укрепленного Roadbond 23 см	95	Основание из щебня 14 см на суглинке повышенной плотности с $K_v = 1,05 \dots 50$ см	98
Суглинок земляного полотна	57	Суглинок земляного полотна	52

Более важным фактором, определяющим коэффициент прочности дорожной одежды, являются грунтово-гидрологические условия (вид грунта земляного полотна и тип местности по условиям увлажнения). При устройстве дорожной одежды на основании из супеси эквивалентный модуль упругости на 38 % выше, чем на участках с суглинистым основанием. Длительный застой воды в боковых резервах (II тип местности по условиям увлажнения) способствует снижению фактической прочности конструкции (при прочих равных условиях) в 1,5...1,8 раза. Состояние опытно-экспериментального участка автомобильной дороги Победа — Солдатское — Степное после 4 лет эксплуатации (в 2004 г.) показано на рис. 3.17, 3.18, 3.19.

На основании опыта строительства и эксплуатации опытно-экспериментального участка за пять лет можно сделать следующие выводы:

1. Использование грунтов повышенной плотности в основании дорожных одежд является наиболее экономичным способом повышения их долговечности и снижения стоимости строительства, позволяет увеличить прочность грунтового основания до 98 МПа, уменьшить толщину основания из щебня на 10 %.

2. Применение грунтов повышенной плотности эффективно на автомобильных дорогах Ic, Pс и IV технических категорий I типа местности по условиям увлажнения. С целью обеспечения прочности грунтового основания в процессе длительной эксплуатации целесообразно устройство гидроизоляционных слоев из грунта, обработанного органическим вяжущим, или из нетканого синтетического материала по типу конструкции «грунт в обойме».

3. В основания предпочтительно использовать легкий и тяжелый суглинки с относительным морозным пучением не более 7 % на супесчаном основании. Грунты согласно ГОСТ 25100—95 должны иметь следующие показатели:

суглинок легкий — число пластичности 7...12, предел текучести — 27...38 %;

суглинок тяжелый — число пластичности 12...17, предел текучести — 38...48 %.

Максимальное допустимое содержание легкорастворимых солей в грунте зависит от характера засоления и должно быть не более: хлоридное засоление — 5 %; сульфатно-хлоридное — 4 %; хлоридно-сульфатное — 3 %; сульфатное — 2 %.

4. Влажность грунта в процессе уплотнения должна быть в пределах допустимой, позволяющей достичь коэффициента уплотнения не менее 1,0.



Рис. 3.17. Состояние опытно-экспериментального участка автомобильной дороги Победа — Солдатское — Степное на ПК122 + 80



Рис. 3.18. Состояние опытно-экспериментального участка автомобильной дороги Победа — Солдатское — Степное на ПК128 + 90



Рис. 3.19. Испытания прочности конструкций дорожной одежды на основании из грунта повышенной плотности на ПК129 + 80

Для достижения наибольшего эффекта от повышенного уплотнения грунта рекомендуется устраивать: переуплотненный грунт — в обойме из битумогрунта толщиной 10...16 см; под кромкой проезжей части — капилляроррывающие прикромочные призмы из щебня толщиной 0,5 м.

Толщина основания из грунта повышенной плотности должна быть 50 см без устройства обоймы из укрепленного грунта или геотекстиля и 20...30 см для грунта в обойме.

Условия эксплуатации предусматривают водонепроницаемость дорожно-го покрытия и обочин, водоотвод от земляного полотна, отсутствие временных и постоянных источников увлажнения снизу.

3.3.3. Строительство дорожных одежд с использованием в основании геотекстиля

Как показали исследования, армирование конструктивных слоев дорожных одежд позволяет повысить несущую способность конструкции и снизить толщину слоев, транспортные расходы, трудоемкость, материалоемкость, а также сократить сроки строительства.

Эффект упрочнения конструктивных слоев дорожных одежд при их армировании геотекстилем оценивается увеличением модуля упругости соответствующего слоя на 15 %. Одновременно из-за высокой влагопроницаемости в продольном направлении геотекстиль перехватывает жидкую и паробразную влагу, мигрирующую в земляном полотне и конструктивных слоях дорожной одежды, и отводит ее на откосы земляного полотна, т. е. работает как дренирующий слой.

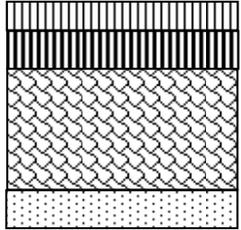
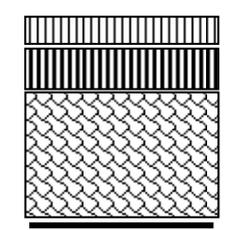
Опытно-экспериментальная проверка эффективности использования синтетического материала в основании дорожных одежд из местных материалов выполнена в 2001 г. при строительстве автодороги Кайсацкое — Золотари (15 — 22,5 км) в Палласовском районе Заволжья. Район строительства характеризуется засушливым климатом (V дорожно-климатическая зона) и отсутствием запасов местных каменных материалов. Дальность транспортировки щебня из Липкинского карьера Волгоградской области достигает 250 км, песка для устройства подстилающего слоя — 80 км. С целью снижения транспортных затрат на перевозку материалов было принято решение об армировании основания дорожной одежды прослойкой из геотекстиля Дорнит.

Автомобильная дорога IV технической категории, требуемый модуль упругости — 125 МПа. Земляное полотно сооружается из боковых резервов из суглинка. Тип местности I по условиям увлажнения, высота насыпи равна 1,2...1,8 м.

По проекту конструкция дорожной одежды была представлена песчаным подстилающим слоем из мелкого песка толщиной 10 см, несущий слой основания — щебнем Липкинского карьера фракций С9 и С12 толщиной 20 см. Нижний слой покрытия — пористый крупнозернистый асфальтобетон на битуме БНД-60/90 толщиной 6 см; верхний слой покрытия — плотный мелкозернистый асфальтобетон III марки на битуме БНД-60/90 толщиной 4 см.

В экспериментальной конструкции взамен песчаного подстилающего слоя была предложена прослойка из геотекстиля на контакте грунтового основания со щебнем. Увеличение модуля упругости грунтового основания до 73 МПа позволило уменьшить толщину из щебня до 18 см. Конструкции дорожных одежд опытно-экспериментального участка автодороги Кайсацкое — Золотари (15 — 22,5 км) приведены в табл. 3.15.

Конструкции дорожных одежд опытно-экспериментального участка автодороги Кайсацкое — Золотари

Тип конструкции	Схема конструкции	Описание конструкции
Конструкция по проекту	 <p align="center">Грунт — суглинок</p>	<p>Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 тип Б толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 6 см и несущем слое из щебня С9, С12 Липкинского карьера толщиной 20 см на подстилающем слое из мелкого песка толщиной 10 см.</p> <p>Грунт насыпи — суглинок</p>
Конструкция экспериментальная	 <p align="center">Грунт — суглинок</p>	<p>Покрытие из мелкозернистого плотного асфальтобетона марки 3 тип Б толщиной 4 см на основании из крупнозернистого пористого асфальтобетона марки 2 толщиной 6 см и несущем слое из щебня С9, С12 Липкинского карьера толщиной 18 см на прослойке из геотекстиля «Дорнит» на границе с грунтом земляного полотна.</p> <p>Грунт насыпи — суглинок</p>

Устройство конструктивного слоя дорожной одежды, армированного синтетическим материалом, выполнялось в следующей последовательности:

- 1) подготовка грунтового основания;
- 2) укладка полотен рулонного материала поверх земляного полотна и соединение полотен;
- 3) транспортировка щебня, его разравнивание и уплотнение.

Подкатка грунтового основания производилась пневмокотком ДУ-16Б при 4—6 проходах по одному следу. Верх земляного полотна профилировался автогрейдером ДЗ-98. Укладка полотен геотекстиля производилась вручную двумя рабочими путем раскатки рулонов вдоль земляного полотна, начиная от его края, по всей ширине земляного полотна с выпусками по 0,5 м с каждой стороны на откосы насыпи. Соединение полотен в поперечном направлении выполнялось внахлест, использовались игольчатые скобы из проволоки диаметром 4 мм, забиваемые сквозь материал в землю молотком на расстоянии 0,7...0,8 м.

В процессе устройства щебеночного основания было необходимо обеспечить сохранность геотекстиля от порывов. Отсыпка слоя основания велась от себя, когда бульдозер и автомобили-самосвалы двигались по готовому отсыпанному слою щебня размером фракций не более 40 мм. Уплотнение слоя щебня выполнялось пневмокотком ДУ-16Б при 6—8 проходах по следу во избежание повреждения слоя армирования и образования неровностей в нижнем слое грунта. Окончательное уплотнение выполнялось моторным катком.

Обследование экспериментального участка дороги в 2003 г. показало, что состояние экспериментального участка хорошее, на покрытии отсутствуют деформации, свидетельствующие о недостаточной несущей способности основания. Оценка прочности дорожной одежды выполнена по величине упругого прогиба с помощью прогибомера МАДИ-ЦНИЛ под колесом груженого автомобиля ЗИЛ-130. Испытания проводились по полосе наката через 1000 м с трехкратным определением величины упругого прогиба в одной точке. Статистическая оценка результатов полевых испытаний показала, что проектная прочность дорожной одежды обеспечена (табл. 3.16).

Таблица 3.16

**Оценка прочности дорожной одежды автомобильной дороги
Кайсацкое — Золотари на участке (15 — 22,5 км)**

Материал конструктивного слоя	Средний эквивалентный модуль упругости конструктивного слоя, МПа
Покрытие из плотного мелкозернистого асфальтобетона толщиной 4 см	155
Слой из крупнозернистого пористого асфальтобетона толщиной 6 см	141
Щебень Липкинского карьера фракции С9 и С12 толщиной 18 см	110
Суглинок с прослойкой из геотекстиля на контакте со щебнем	73

На основании строительства и эксплуатации опытно-экспериментальных участка можно сделать вывод о том, что в засушливых районах Заволжья при значительной дальности транспортировки каменного материала и песка в основании дорожной одежды целесообразно использование прослоек из геотекстиля «Дорнит». Устройство прослойки на границе грунтового основания со щебнем позволяет исключать песчаный подстилающий слой, повышает прочность грунтового основания (до 73 МПа) и снижает толщину щебеночного основания.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1. РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ПО УСЛОВИЯМ СТРОИТЕЛЬСТВА

Районирование территории по условиям строительства дорожных одежд из местных материалов выполнено:

по расчетной влажности и прочностным характеристикам грунтов земляного полотна;

условиям поставки местных материалов для строительства дорожных одежд.

1. Расчетная влажность грунтов земляного полотна рассчитывается в зависимости от коэффициента увлажнения территории района строительства, который определяется по данным многолетних наблюдений на ближайшей агрометеостанции за годовой суммой атмосферных осадков KX_{Γ} и суммой среднемесячных положительных температур воздуха $\sum_{t > 0} t \frac{сМ}{\text{град}}$. Расчет выпол-

няется в следующей последовательности:

1) определяется расчетная влажность открытого поля $W_p^{o.n}$ по формуле

$$W_p^{o.n} = W_{cp} (1 + t C_v^{o.n}), \quad (4.1)$$

где средняя влажность почво-грунтов в расчетный период W_{cp} равна

$$W_{cp} = \left(\frac{A_i K X_{\Gamma}}{5,88 \sum_{t > 0} t \frac{сМ}{\text{град}} + 260} + B_i \right) W_{\Gamma}, \quad (4.2)$$

где A_i и B_i — коэффициенты уравнения, принимаются в зависимости от вида грунта (табл. 4.1); t — одностороннее нормированное отклонение, зависит от принятого уровня надежности; C_v — коэффициент вариации относительной влажности почвогрунта, зависит от W_{cp} :

$$C_v^{o.n} = 0,5104 W_{cp}^2 - 0,9046 W_{cp} + 0,4883; \quad (4.3)$$

Параметры корреляционного уравнения (4.2)

Вид грунта	Коэффициент уравнения	
	A_i	B_i
Супесь пылеватая	0,451	0,199
Суглинок легкий и пылеватый	0,450	0,246
Суглинок тяжелый пылеватый	0,336	0,387
Глина пылеватая	0,336	0,430

2) расчетная влажность грунтов земляного полотна определяется типом грунта, конструкцией дорожной одежды и типом местности по условиям увлажнения по формуле

$$W_{3.п}^p = \alpha\beta\gamma W_p^{0.п} (1 + tC_{v.г}), \quad (4.4)$$

где α — корреляционный коэффициент перехода от влажности грунтов открытого поля к влажности грунтов земляного полотна, равен 0,83; β — коэффициент, учитывающий тип местности по условиям увлажнения, равен 1 для I типа, 1,01...1,03 — для II типа, 1,04...1,07 — для III типа; γ — коэффициент, равен 1 для пористых граничных слоев дорожной одежды (песок, щебень, ПГС, гравий и т. п.), непосредственно укладываемых на земляное полотно и 0,85...0,95 для плотных грунтов (укрепленные грунты); $C_{v.г}$ — коэффициент вариации влажности грунта в активной зоне полотна, при $W_p = 0,4 W_T C_v = 0,02$, при $W_p = 0,5 W_T C_v = 0,03$, при $W_p = 0,6 W_T C_v = 0,04$; t — коэффициент нормированного отклонения.

2. В расчетах дорожных одежд в качестве прочностных характеристик грунтов используются модуль упругости $E_{гр}$, угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$ и удельное сцепление $C_{гр}$. Расчет выполняется в следующей последовательности:

1) модуль упругости грунта определяется типом грунта и его расчетной влажностью:

$$E_{гр} = aW_{3.п}^p{}^2 - bW_{3.п}^p + c, \quad (4.5)$$

где a, b, c — коэффициенты уравнения, принимаются по табл. 4.2;

Коэффициенты уравнения (4.5)

Тип грунта	Значение коэффициентов уравнения		
	a	b	c
Супесь легкая	214,29	359,86	195,14
Супесь пылеватая	642,86	1089,30	493,00
Суглинок легкий	659,00	1130,50	510,50
Суглинок тяжелый	642,86	1089,30	493,00

2) сдвиговые характеристики глинистых грунтов зависят от относительной влажности грунта и суммарного числа приложений расчетной нагрузки N_p . Зависимость угла внутреннего трения и сцепления грунтов от указанных факторов имеет вид

$$R = C_0 W^{\alpha_1} N_p^{\alpha_2}, \quad (4.6)$$

где R — сдвиговая характеристика глинистого грунта (угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$ сцепление $C_{гр}$); C_0 — коэффициент масштабирования; α_1, α_2 — коэффициенты влияния указанных факторов на сдвиговые характеристики глинистого грунта, принимаются по табл. 4.3;

Таблица 4.3

Коэффициенты уравнения (4.6)

Сдвиговые характеристики грунтов	Тип грунта	Значение коэффициентов уравнения		
		C_0	α_1	α_2
Угол внутреннего трения	Суглинки и глины	0,0045	-4,2380	-0,1034
	Супеси	0,0071	-1,6906	-0,0843
Сцепление	Суглинки и глины	5,5634	-3,4660	-0,0931
	Супеси	35,3085	-0,1021	-0,0802

3) грунты территории в основном представлены суглинками тяжелыми (44 %), суглинками легкими пылеватыми (19 %) и глинами (26 %).

Легкие грунты, предпочтительные для сооружения полотна, составляют 11 % (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Состав грунтовых условий Волгоградской области

Оценка грунтово-гидрологических условий области показала, что 98 % территории относится к I типу местности по условиям увлажнения.

Уровень грунтовых вод изменяется от 3 до 20 м. Достаточно сложные условия отмечены в Волго-Ахтубинской пойме. Грунтовые воды расположены на глубине от 1 до 3 м (рис. 4.2).

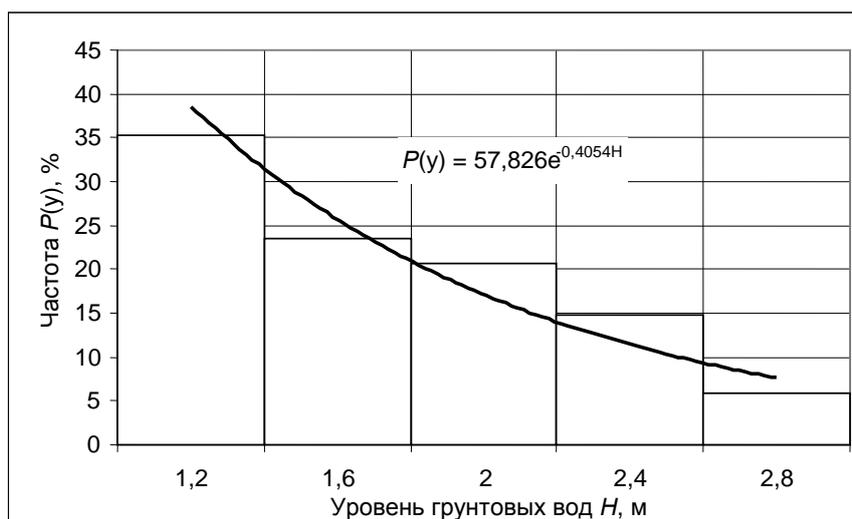


Рис. 4.2. Гистограмма уровня грунтовых вод на территории Волго-Ахтубинской поймы

Согласно существующему дорожно-климатическому районированию РФ территория Волгоградской области делится на IV и V зоны. Севернее г. Волгограда территория относится к IV дорожно-климатической зоне, южнее — к V. По территории выделено пять дорожно-климатических подзон (рис. 4.4), описание которых приведено в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Дорожно-климатические подзоны Волгоградской области

Номер подзоны	Описание грунтово-гидрологических условий	Максимальная глубина промерзания грунта, см	Среднегодовая влажность грунта в весенний расчетный период	Средний модуль упругости грунта, МПа
<i>IV дорожно-климатическая зона достаточного увлажнения</i>				
IVa	Преимущественно I тип местности по условиям увлажнения, грунтовые воды располагаются на глубине 3...20 м	90...120	Суглинок — 0,48...0,51 W_T ; супесь — 0,37...0,41 W_T (I тип местности)	Суглинок — 105; супесь — 87
IVб		90...160	Суглинок — 0,53...0,55 W_T ; супесь — 0,42...0,46 W_T (I тип местности)	Суглинок — 96; супесь — 78
IVв		130...150	Суглинок — 0,59...0,60 W_T ; супесь — 0,50...0,53 W_T (I тип местности)	Суглинок — 73; супесь — 66
<i>V дорожно-климатическая зона недостаточного увлажнения</i>				
Va	I тип местности по условиям увлажнения, грунтовые воды на глубине 8...25 м	100...140	Суглинок — 0,48...0,50 W_T ; супесь — 0,37...0,41 W_T (I тип местности)	Суглинок — 110; супесь — 87
Vб	III тип местности (Волго-Ахтубинская пойма), уровень грунтовых вод 1,0...3,0 м	90...100	Суглинок — 0,48...0,51 W_T ; супесь — 0,40...0,52 W_T (III тип местности)	Суглинок — 96; супесь — 84

Примечание: влажность и модуль упругости грунтов приведены для I типа местности по условиям увлажнения и минимальной высоты насыпи согласно СНиП 2.05.02—85. Для подзоны Vб данные приведены для III типа местности по условиям увлажнения.

На участках местности с близким залеганием УГВ и высотой насыпи менее значений, рекомендованных СНиП 2.05.02—85 (Vб подзона), прочностные характеристики грунтов назначать с поправкой m (рис. 4.4):

$$E_{гр} = (aW_{з.п}^p - bW_{з.п}^p + c)m; \quad (4.7)$$

$$R = C_0 W^{\alpha_1} N_p^{\alpha_2} m. \quad (4.8)$$

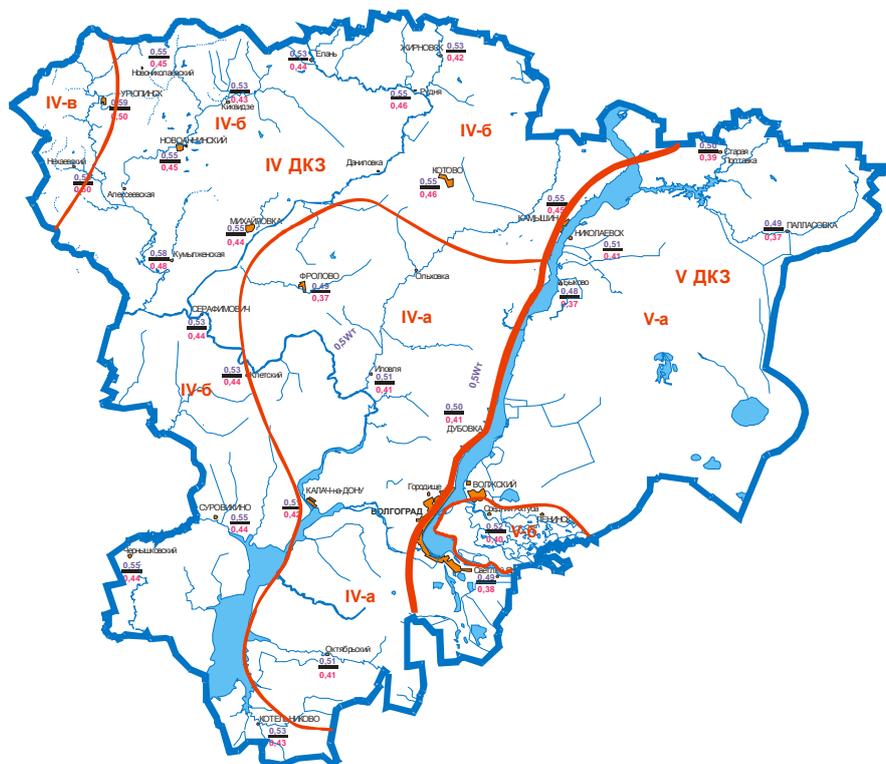


Рис. 4.3. Дорожно-климатическое районирование Волгоградской области

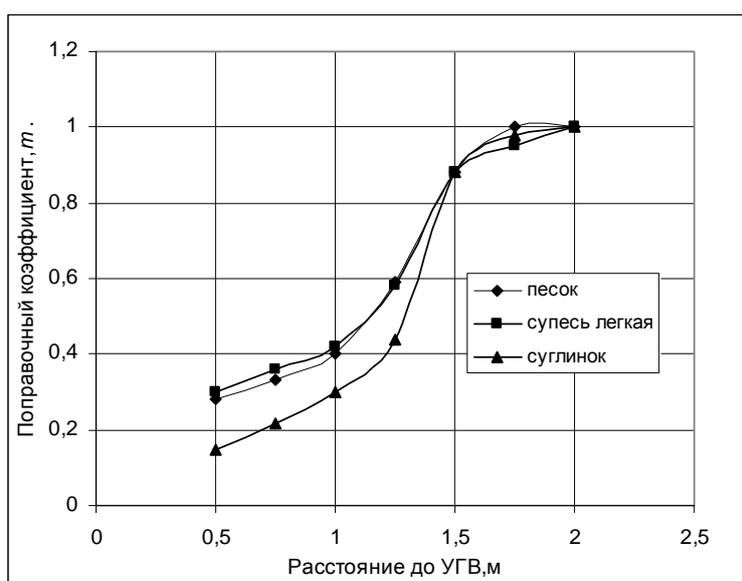


Рис. 4.4. Поправка на прочностные характеристики грунтов на участках с близким УГВ

Районирование территории по условиям поставки местных материалов выполнено для щебня как наиболее потребляемого ресурса в конструкциях дорожных одежд.

В Волгоградской области имеется 119 месторождений каменных материалов с общим запасом 729227 тыс. м³ (рис. 4.5). На территории V зоны ДКЗ месторождения каменных материалов отсутствуют. Поставка щебня в объеме около 400 тыс. м³ в год осуществляется автомобильным, железнодорожным и водным транспортом из 11 карьеров. В связи с низкой прочностью (М-400—М-600) местный щебень используется в основании дорожных одежд.

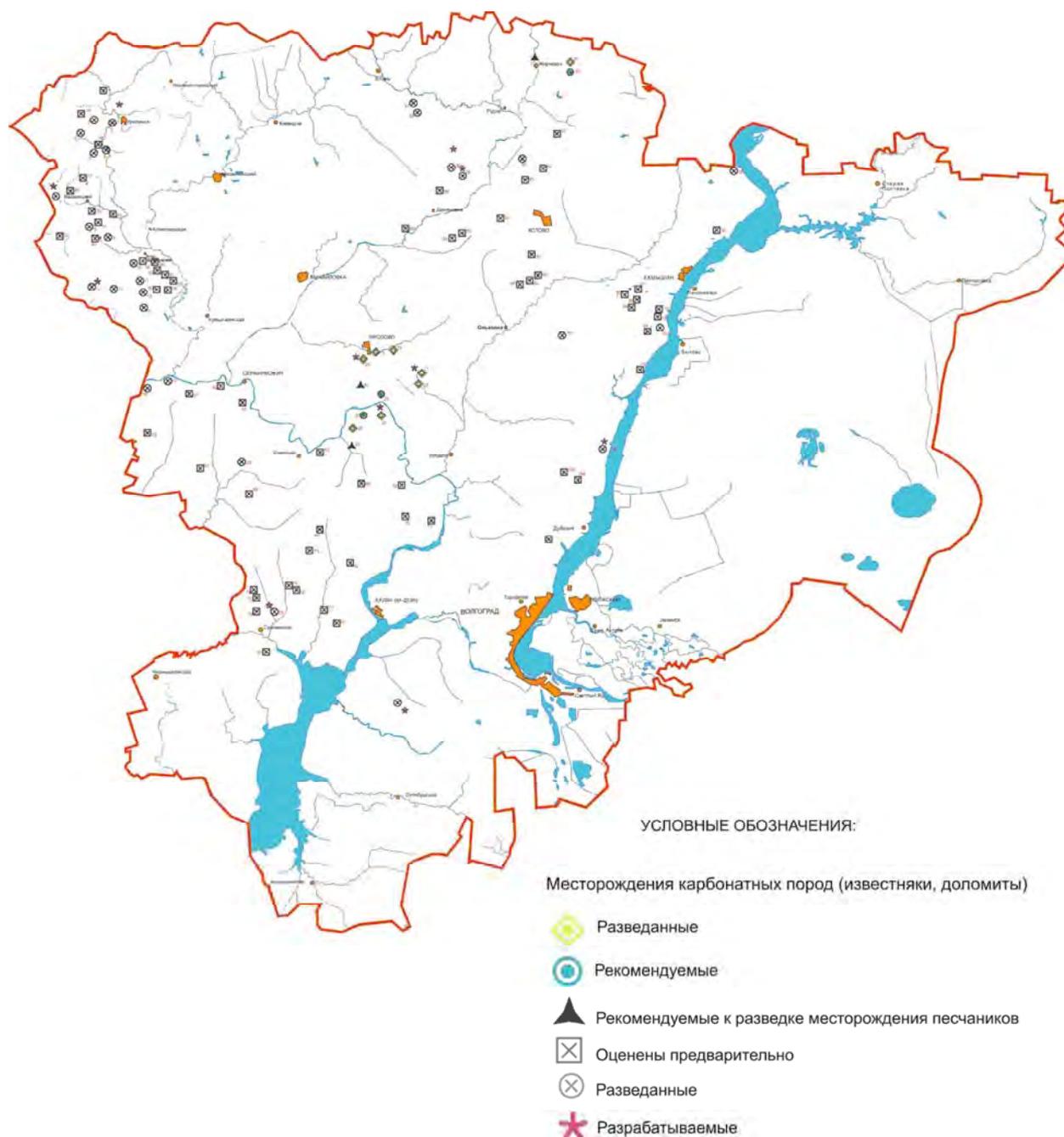


Рис. 4.5. Дислокация каменных карьеров Волгоградской области

Отпускная цена щебня и транспортные затраты на автомобильные и железнодорожные перевозки подчиняются нормальному закону распределения. Вследствие этого стоимость щебня $C_{i,j}$ на границе зон экономического влияния i -го и j -го поставщиков, находится в пределах доверительного интервала

$$\bar{C}_{i,j} - t_p \sigma_{i,j} \leq C_{i,j} \leq \bar{C}_{i,j} + t_p \sigma_{i,j}, \quad (4.9)$$

где $\bar{C}_{i,j}$ — математическое ожидание стоимости материала на границе зоны экономического влияния i -го и j -го поставщиков; t_p — нормируемое отклонение стоимости материала; $\sigma_{i,j}$ — среднее квадратичное отклонение стоимости.

$$\bar{C}_{i,j} = (\bar{C}_o + \bar{C}_{\text{тр}} + \bar{C}_{\text{п-р}}) K_{\text{пр}}, \quad (4.10)$$

где \bar{C}_o — отпускная цена материала; $\bar{C}_{\text{тр}}$ — транспортные затраты; $\bar{C}_{\text{п-р}} = 0,2\bar{C}_o$ — стоимость погрузо-разгрузочных работ; $K_{\text{пр}}$ — коэффициент, учитывающий изменение потребности в материале в зависимости от его прочности.

Коэффициент $K_{\text{пр}}$ зависит от прочности щебня, используемого для строительства:

$$K_{\text{пр}} = \frac{6,645}{E_{\text{мин}}^{0,363}}, \quad (4.11)$$

где $E_{\text{мин}} = 200$ МПа — минимальный модуль упругости местного щебня.

Удельные транспортные затраты при смешанной схеме перевозки щебня рассчитываются по формуле

$$\bar{C}_{\text{тр}} = \sum_{n=1}^N (a + bL_n) + \sum_{k=1}^K (c + dL_k^{\text{ж/д}}), \quad (4.12)$$

где $L_n, L_k^{\text{ж/д}}$, N, K — соответственно протяженность n -го автомобильного и k -го железнодорожного маршрутов и их количество в транспортной схеме доставки материала от поставщика на строительный объект или предприятие (АБЗ, ЦБЗ); a, b, c, d — коэффициенты линейных уравнений зависимости транспортных затрат от дальности перевозки материала.

Среднее квадратичное отклонение стоимости материала для каждого поставщика определяется с учетом веса η каждого вида затрат рассчитывается по формуле

$$\sigma = (D_o \eta_o + D_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}} + D_{\text{п-р}} \eta_{\text{п-р}})^{1/2}, \quad (4.13)$$

где $D_o, D_{\text{тр}}, D_{\text{п-р}}$ — дисперсии отпускной цены, транспортных затрат и стоимости погрузо-разгрузочных работ; $\eta_o, \eta_{\text{тр}}, \eta_{\text{п-р}}$ — доля (вес) затрат в общей стоимости материала на границе зоны экономического влияния.

Доля транспортных расходов зависит от дальности перевозки L , грузоподъемности G и скорости V автомобилей и определяется по формуле

$$\eta_{\text{тр}} = 0,132 L^{0,86} G^{-0,134} V^{-0,844}. \quad (4.14)$$

Доля отпускной цены определяется по формуле

$$\eta_o = (1 - \eta_{\text{тр}})/1,02. \quad (4.15)$$

Так как на границе зоны влияния i -го и j -го поставщика стоимость материала формируется по суммарному закону нормального распределения, ее среднее квадратичное отклонение определяется по формуле

$$\sigma_{i,j} = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2}. \quad (4.16)$$

Расчетная стоимость каменного материала равна

$$C_{i,j}^p = \bar{C}_{i,j} \pm t\sigma_{i,j}. \quad (4.17)$$

На границе зон влияния карьеров формируется зона экономического риска. Ширина зоны риска L_p определяется транспортными затратами (как правило, автотранспортными) на завершающем маршруте перевозки определяется по формуле

$$L_p = \frac{2t\sigma_{i,j} - a}{b}. \quad (4.18)$$

Предложенная методика позволила произвести региональное районирование по стоимости поставки щебня, определить границы зоны экономического риска, ширина которой достигает 50...70 км (рис. 4.6). При строительстве дороги в зоне риска (неопределенности) выбор поставщика щебня следует производить на основе технико-экономических расчетов стоимости материала в текущих ценах на период его завозки на строительный объект или завод.

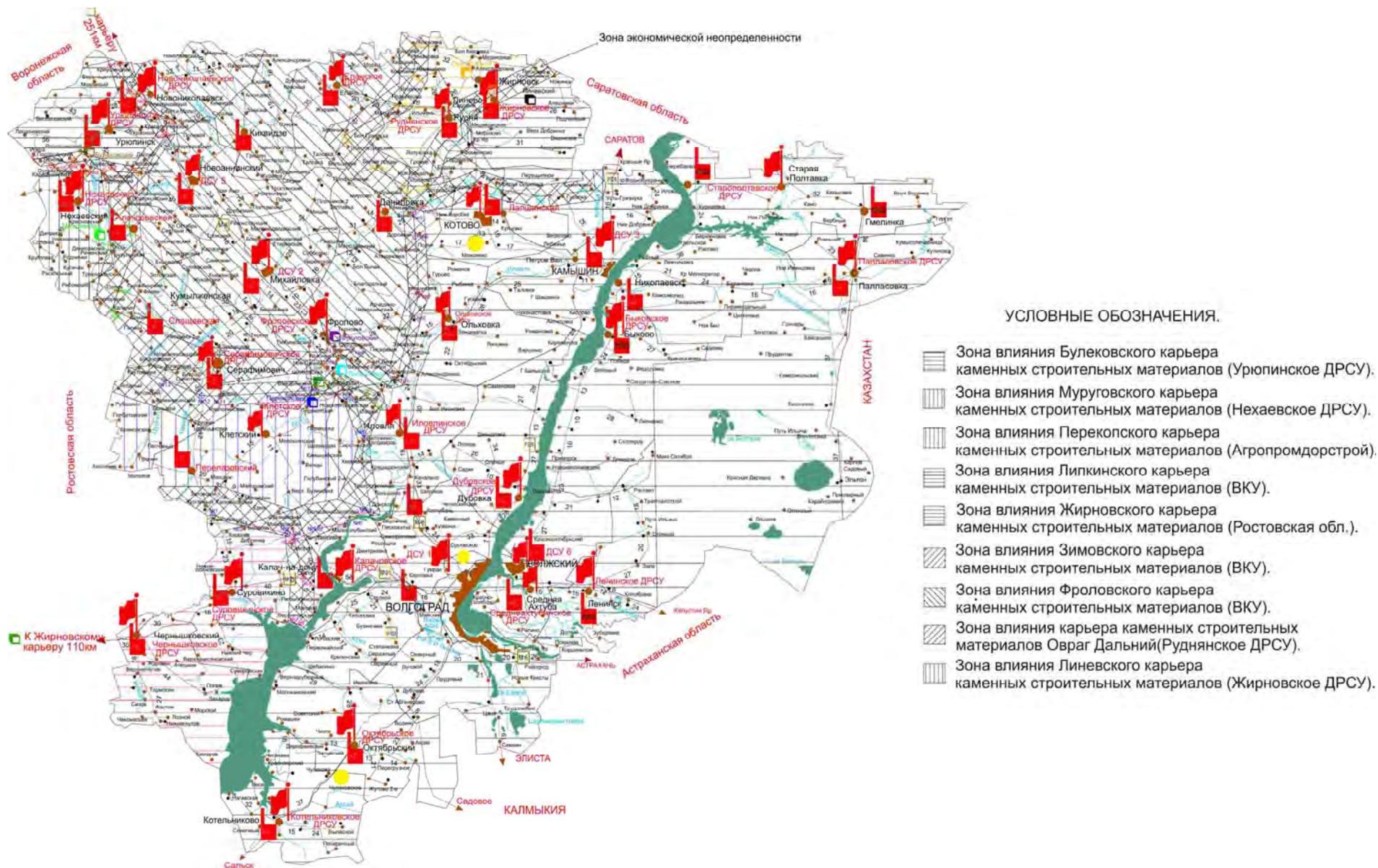


Рис. 4.6. Районирование территории Волгоградской области по степени влияния местных каменных карьеров

4.2. ОПТИМАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Оптимальные конструкции дорожных одежд рассчитаны согласно ОДН 218.046—01 с помощью компьютерной программы DO, разработанной в электронных таблицах Excel.

Использованные проектировании дорожно-строительные материалы приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Материалы конструктивных слоев дорожной одежды

Конструктивный слой	Наименование материала
Покрытие	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород на битуме БНД 60/90
	Черный щебень с заклинкой
Верхний слой основания	Крупнозернистый высокопористый асфальтобетон из щебня осадочных пород на битуме БНД 60/90
	Черный щебень с заклинкой
Несущий слой основания	Щебень фракционированный 40...80 мм осадочных пород из Липкинского карьера с заклинкой
	Щебень фракционированный 40...80 мм осадочных пород из Зимовского карьера с заклинкой
	Отсевы щебня осадочных пород без подобранного грансосотава
	Щебень рядовой из мела по типу «минеральный бетон»
	Шлаковый щебень ПО «Баррикады»
Дополнительные слои	Песок мелкий
	Суглинок повышенной плотности с $K_v = 1,05$
	Геотекстиль «Дорнит»
	Отсевы щебня осадочных пород без подобранного грансосотава
Грунт земляного полотна	Суглинок

Расчеты выполнены для I, II и III типов местности по условиям увлажнения в пределах выделенных дорожно-климатических районов области. При этом учтено снижение прочности грунтового основания при высоком уровне грунтовых вод. Оптимальные конструкции дорожных одежд из местных материалов для региональных условий Волгоградской области приведены в прил.

Технико-экономическое обоснование эффективности применения конструкции дорожных одежд выполнено по дорожно-климатическим подзонам по стоимости строительства 1 м² покрытия (табл. 4.6).

В качестве эталонной конструкции принята традиционная конструкция дорожной одежды для Волгоградской области (прил. табл. П.17, П.18). Другие конструкции приведены в прил.

Таблица 4.6

Стоимость 1 м² конструктивных слоев дорожной одежды (при толщине 1 см) в ценах 2011 г. по районам, р.

Район	Песок	Щебень местный	А/б к.з.*	А/б м.з.**	Цемент. грунт	Черный щебень	Отсев щебня	Шлаковый щебень
Алексеевский	4,3	6,5	22,8	23,3	5,7	16,3	5,4	4,4
Быковский	5,4	9,2	20,1	21,7	5,3	15,1	7,3	6,2
Городищенский	2,7	7,1	21,2	22,8	5,5	15,9	4,9	4,7
Даниловский	2,2	9,8	19,5	21,2	5,1	14,7	6,0	6,5
Жирновский	2,7	4,9	19,0	20,6	5,0	14,4	3,8	3,3
Иловлинский	1,6	3,2	17,9	19,5	4,7	13,6	2,4	2,2
Киквидзенский	2,7	11,4	20,6	22,2	5,4	15,5	7,1	7,6
Калачевский	2,7	8,1	20,1	21,7	5,3	15,1	5,4	5,5
Клетский	2,7	3,8	20,6	22,2	5,4	15,5	3,3	2,6
Котовский	2,2	7,6	19,5	21,2	5,1	14,7	4,9	5,1
Котельниковский	3,2	8,1	19,5	21,2	5,1	14,7	5,7	5,5
Кумылженский	2,7	8,7	22,2	23,9	5,8	16,6	5,7	5,8
Ленинский	3,8	9,8	21,7	23,3	5,7	16,3	6,8	6,5
Нехаевский	2,7	11,4	20,1	21,7	5,3	15,1	7,1	7,6
Николаевский	2,7	11,4	20,6	22,2	5,4	15,5	7,1	7,6
Ольховский	2,2	7,6	19,0	20,6	5,0	14,4	4,9	5,1
Палласовский	8,1	10,3	21,2	22,8	5,5	15,9	9,2	6,9
Руднянский	3,2	7,6	20,1	21,7	5,3	15,1	5,4	5,1
Светлоярский	2,2	8,1	21,7	23,3	5,7	16,3	5,2	5,5
Серафимовичский	2,2	11,4	21,2	23,3	5,7	16,3	6,8	7,6
Среднеахтубинский	2,7	8,7	20,1	21,7	5,3	15,1	5,7	5,8
Старополтавский	2,7	10,9	19,0	20,6	5,0	14,4	6,8	7,3
Суровикинский	2,2	13,6	21,2	22,8	5,5	15,9	7,9	9,1
Урюпинский	3,2	6,0	19,5	21,2	5,1	14,7	4,6	4,0
Фроловский	2,7	3,2	19,0	20,1	4,9	14,0	3,0	2,2
Чернышковский	1,6	11,4	21,2	22,8	5,5	15,9	6,5	7,6

Примечания.

1. Согласно письму Минрегиона РФ от 26/07/2010 № 28203-кк/08 индекс стоимости принят 3,31.
2. Стоимость геосинтетического материала «Дорнит» принята 30 р./м².

* Асфальтобетон крупнозернистый

** Асфальтобетон мелкозернистый

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные 15...20 лет назад региональные альбомы рациональных конструкций дорожных одежд устарели и не могут быть использованы в практике проектирования. В связи с вводом в действие ОДН 218.046—01 назрела необходимость в разработке новых рациональных конструкций дорожных одежд. Увеличение толщины современных конструкций в 1,4...1,6 раза обусловлено ужесточением условия сдвигоустойчивости грунта земляного полотна и подстилающих конструктивных слоев основания из мало-связных материалов. Снижение стоимости дорожных одежд возможно при использовании в основании конструкции местных материалов (пористых малопрочных каменных материалов, отходов дробления щебня, шлаков при повышении прочности грунтового основания за счет конструктивных решений, приводящих к снижению расчетной влажности грунтов земляного полотна (укрепление обочин и грунтов в основании дорожных одежд, повышенное уплотнение грунтового основания, использование прослоек из геотекстилей и т. п.).

С целью разработки рациональных конструкций системы «дорожная одежда — земляное полотно» в учебном пособии приведена зависимость физико-механических свойств глинистых грунтов от их влажности и плотности, разработана методика и выполнено обоснование региональной расчетной влажности и прочности грунтов полотна автомобильных дорог Нижнего Поволжья.

Оптимизация конструкций дорожных одежд в неустойчивых производственно-экономических условиях возможна в доверительном интервале. Для сравнения равнопрочных рациональных конструкций по строительной стоимости приведена методика на основе теории риска. При сопоставлении конструкций по приведенным затратам учитываются дополнительные расходы на повышение прочности грунтового основания, снижение себестоимости перевозок и потерь от ДТП при укреплении обочин.

Приведены рекомендации по проектированию оптимальных дорожных одежд нежесткого типа из местных материалов, включающие районирование территории Волгоградской области по условиям строительства дорожных одежд из местных материалов, рекомендации по формированию СУБД «Оп-

тимальные конструкции дорожных одежд из местных материалов», оптимальные конструкции дорожных одежд из местных материалов для региональных условий Нижнего Поволжья. Данное учебное пособие является результатом многолетних исследований проектирования и строительства дорожных одежд в условиях Юга России и будет дополняться по мере разработки и внедрения в строительное производство новых материалов и технологий, совершенствования методов проектирования дорожных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сиденко В. М.* Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства) / В. М. Сиденко, О. Т. Батраков, М. И. Волков и др. — Киев : Будівельник, 1973. — 278 с.

2. *Славуцкий А. К.* Дорожные одежды из местных материалов / А. К. Славуцкий, В. Г. Волков — М. : Транспорт, 1977. — 264 с.

3. *Резванцев В. И.* Дорожные одежды из местных материалов : оптимизация проектирования / В. И. Резванцев, А. В. Бухтояров. — Воронеж : ВГУ, 2003. — 120 с.

КОНСТРУКЦИИ И СТОИМОСТЬ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Таблица П.1

Конструкция 1

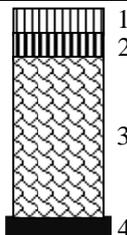
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	$H1$	
2	Крупнозернистый высокопористый асфальтобетон 3 марки из щебня осадочных пород. $E = 2000$ МПа	$H2$	
3	Щебень рядовой из мела по типу «минеральный бетон» с модулем упругости $E = 200$ МПа	$H3$	
4	Нетканый синтетический материал типа «Дорнит» на суглинке повышенной плотности, $H = 0,5$ м	$H4$	

Таблица П.2

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 1

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	$H1$	5	5	5
	$H2$	7	7	7
	$H3$	32	35	38
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	432,5	447,5	462,5
IVб	$H1$	5	5	5
	$H2$	7	7	7
	$H3$	15	20	27
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	390,2	425,2	474,2
IVв	$H1$	5	5	5
	$H2$	7	7	7
	$H3$	10	10	10
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	313,5	313,5	313,5
Va	$H1$	5	5	5
	$H2$	7	7	7
	$H3$	10	10	10
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	Месторождений мела нет		
Vб	$H1$	5	5	5
	$H2$	7	7	7
	$H3$	10	10	10
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	Месторождений мела нет		

Примечание: ДКЗ — дорожно-климатическая подзона. Конструкции на основании из мела могут быть использованы только на участках с обеспеченным водоотводом, укрепление обочин — щебень. В основании дорожной одежды — грунт повышенной плотности с $K_y = 1,03$ толщиной 0,5 м.

Таблица П.3

Конструкция 2

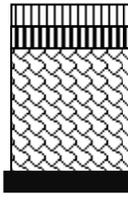
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	$H1$	
2	Крупнозернистый высокопористый асфальтобетон 3 марки из щебня осадочных пород. $E = 2000$ МПа	$H2$	
3	Щебень фракционированный 40...80 мм осадочных пород из Зимовского карьера с заклировкой. $E = 250$ МПа	$H3$	
4	Нетканый синтетический материал «Дорнит»	$H4$	

Таблица П.4

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 2

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	36	40	46
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	488,5	512,5	548,5
IVб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	31	36	40
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	638,6	695,6	741,2
IVв	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	10	16	23
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	295,5	314,7	337,1
Va	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	10	16	23
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	395,4	457,2	529,3
Vб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	10	16	23
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	366,2	418,4	479,3

Таблица П.5

Конструкция 3

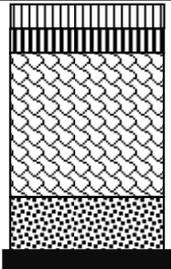
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	H1	
2	Крупнозернистый высокопористый асфальтобетон 3 марки из щебня осадочных пород. $E = 2000$ МПа	H2	
3	Отсевы дробления щебня подобранного состава. $E = 260$ МПа	H3	
4	Отсевы щебня без подобранного грансостава $E = 125$ МПа на прослойке из нетканого синтетического материала типа «Дорнит»	H4	

Таблица П.6

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 3

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	23	27	31
	H4	20	20	20
Стоимость	р. / м ²	470,3	488,7	507,1
IVб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	17	21	21
	H4	20	20	20
Стоимость	р. / м ²	547,9	576,3	576,3

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVв	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	—	—	—
	H4	15	22	30
Стоимость	р. / м ²	308,5	329,5	353,5
Va	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	—	—	—
	H4	15	22	30
Стоимость	р. / м ²	430,4	494,8	568,4
Vб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	—	—	—
	H4	15	22	30
Стоимость	р. / м ²	364,7	404,6	450,2

Таблица П.7

Конструкция 4

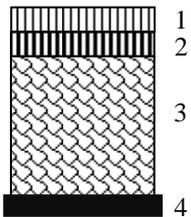
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	H1	
2	Крупнозернистый высокопористый асфальтобетон 3 марки из щебня осадочных пород. $E = 2000$ МПа	H2	
3	Отсевы дробления щебня подобранного состава. $E = 260$ МПа	H3	
4	Нетканый синтетический материал типа «Дорнит» на суглинке повышенной плотности. $H = 0,5$ м	H4	

Таблица П.8

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 4

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVа	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	27	30	38
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	396,7	410,5	447,3
IVб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	12	16	22
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	370,4	398,8	441,4
IVв	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	10*	10*	10*
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	293,5	293,5	293,5
Va	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	10*	10*	10*
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	384,4	384,4	384,4
Vб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	10*	10*	10*
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	336,2	336,2	336,2

* приведена толщина основания из отсева щебня без подобранного грансостава. $E = 125$ МПа.

Таблица П.9

Конструкция 5

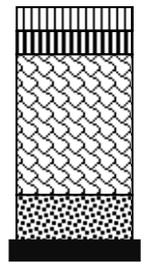
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	$H1$	
2	Черный щебень, приготовленный в установке, уложенный по способу заклинки. $E = 900$ МПа	$H2$	
3	Отсевы дробления щебня подобранного состава. $E = 260$ МПа	$H3$	
4	Отсев от дробления щебня без подобранного состава на прослойке из нетканого синтетического материала типа «Дорнит». $E = 125$ МПа	$H4$	

Таблица П.10

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 5

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	18	21	21
	$H4$	20	20	20
Стоимость	р. / м ²	407,2	421	421
IVб	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	13	18	18
	$H4$	20	20	20
Стоимость	р. / м ²	477,1	512,6	512,6
IVв	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	10	15	20
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	252,4	267,4	282,4
Va	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	10	15	20
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	340,4	386,4	432,4
Vб	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	10	15	20
	$H4$	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	294,6	323,1	351,6

Таблица П.11

Конструкция 6

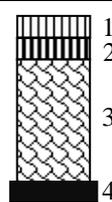
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	$H1$	
2	Черный щебень, приготовленный в установке, уложенный по способу заклинки. $E = 900$ МПа	$H2$	
3	Отсев от дробления щебня без подобранного состава. $E = 125$ МПа	$H3$	
4	Нетканый синтетический материал типа «Дорнит» на суглинке повышенной плотности. $H = 0,5$ м	$H4$	

Таблица П.12

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 6

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	30	35	40
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	370,4	393,4	416,4
IVб	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	14	18	25
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	342,2	370,6	420,3
IVв	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	10	10	10
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	252,4	252,4	252,4
Va	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	10	10	10
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	340,4	340,4	340,4
Vб	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	10	10	10
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	294,6	294,6	294,6

Таблица П.13

Конструкция 7

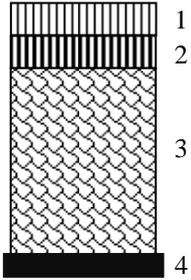
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	H1	
2	Черный щебень, приготовленный в установке, уложенный по способу заклинки. $E = 600$ МПа	H2	
3	Отсевы дробления щебня подобранного состава. $E = 260$ МПа	H3	
4	Отсев от дробления щебня без подобранного состава на прослойке из нетканого синтетического материала типа «Дорнит». $E = 125$ МПа. Суглинок повышенной плотности. $H = 0,5$ м	H4	

Таблица П.14

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 7

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	14	14	18
	H4	14	20	22
Стоимость	р. / м ²	361,2	388,8	416,4
IVб	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	—	—	—
	H4	17	22	24
Стоимость	р. / м ²	363,5	399	413,2

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVв	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	—	—	—
	H4	10	10	10
Стоимость	р. / м ²	252,4	252,4	252,4
Va	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	—	—	—
	H4	10	10	10
Стоимость	р. / м ²	340,4	340,4	340,4
Vб	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	—	—	—
	H4	10	10	10
Стоимость	р. / м ²	294,6	294,6	294,6

Таблица П.15

Конструкция 8

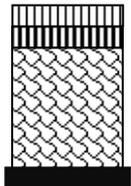
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	H1	
2	Черный щебень, приготовленный в установке, уложенный по способу заклинки. $E = 600$ МПа	H2	
3	Шлаковый щебень ПО «Баррикады». $E = 275$ МПа	H3	
4	Нетканый синтетический материал типа «Дорнит» на суглинке повышенной плотности. $H = 0,5$ м	H4	

Таблица П.16

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 8

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт – суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVа	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	26	27	31
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	306,4	310,4	326,4
IVб	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	13	17	23
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	311,6	342	387,6
IVв	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	10	10	10
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	214,4	214,4	214,4
Va	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	10	10	10
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	287,4	287,4	287,4
Vб	H1	4	4	4
	H2	8	8	8
	H3	10	10	10
	H4	—	—	—
Стоимость	р. / м ²	265,6	265,6	265,6

Конструкция 9

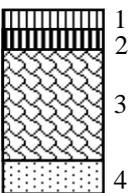
Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	$H1$	
2	Черный щебень, приготовленный в установке, уложенный по способу заклинки. $E = 600$ МПа	$H2$	
3	Щебень фракционированный 40...80 мм осадочных пород (Липкинского карьера). $E = 260$ МПа	$H3$	
4	Песок мелкий без примеси глинистых частиц. $E = 100$ МПа	$H4$	

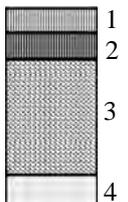
Таблица П.18

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды конструкции 9

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	55	56	58
	$H4$	20	20е	20
Стоимость	р. / м ²	596,4	602,4	614,4
IVб	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	50	52	54
	$H4$	20	20	20
Стоимость	р. / м ²	836,8	859,6	882,4
IVв	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	45	48	50
	$H4$	15	15	15
Стоимость	р. / м ²	376,9	386,5	392,9
Va	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	45	48	50
	$H4$	15	15	15
Стоимость	р. / м ²	803,4	834,3	854,9
Vб	$H1$	4	4	4
	$H2$	8	8	8
	$H3$	45	48	50
	$H4$	15	15	15
Стоимость	р. / м ²	639,6	665,7	683,1

Таблица П.19

Конструкция 10 (традиционная)

Номер слоя	Материал конструктивного слоя	Толщина, см	Конструкция дорожной одежды
1	Мелкозернистый плотный асфальтобетон 2 марки типа «Б» из щебня осадочных пород. $E = 3200$ МПа	$H1$	
2	Крупнозернистый высокопористый асфальтобетон 3 марки из щебня осадочных пород. $E = 2000$ МПа	$H2$	
3	Щебень фракционированный 40...80 мм осадочных пород (Липкинского карьера). $E = 260$ МПа	$H3$	
4	Песок мелкий без примеси глинистых частиц. $E = 100$ МПа	$H4$	

Толщина конструктивных слоев дорожной одежды

ДКЗ	Конструктивные слои	Грунт — суглинок		
		I тип местности	II тип местности	III тип местности
IVa	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	55	56	58
	H4	20	20е	20
Стоимость	р. / м ²	634,8	640,8	652,8
IVб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	50	52	54
	H4	20	20	20
Стоимость	р. / м ²	877,6	900,4	923,2
IVв	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	45	48	50
	H4	15	15	15
Стоимость	р. / м ²	416,9	426,5	432,9
Va	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	45	48	50
	H4	15	15	15
Стоимость	р. / м ²	845,8	876,7	897,3
Vб	H1	5	5	5
	H2	7	7	7
	H3	45	48	50
	H4	15	15	15
Стоимость	р. / м ²	679,6	705,7	723,1

Средняя стоимость традиционной конструкции дорожных одежд автомобильных дорог IV технической категории для Волгоградской области (по укрупненным показателям стоимости строительства) — 710 р. / м² покрытия.

Учебное издание

Алексиков Сергей Васильевич
Алексиков Илья Сергеевич
Симончук Дмитрий Николаевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ
ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД
ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В УСЛОВИЯХ ЮГА РФ**

Учебное пособие

Начальник РИО *М. Л. Песчаная*
Редактор *И. Б. Чижикова*
Компьютерная правка и верстка *М. А. Денисова*

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 17.02.2015.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 7,0. Объем данных 20 Мбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
Редакционно-издательский отдел
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru