

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Строительство и эксплуатация дорог»

И.И. Леонович
С.В. Богданович

ДИАГНОСТИКА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области строительства и архитектуры
в качестве учебно-методического пособия для студентов специальности
1-70 03 01 «Автомобильные дороги»*

Минск
БНТУ
2012

УДК 625.7/8(075.8)

ББК 39.311я7

Л47

Р е ц е н з е н т ы :

Вырко Н. П., доктор технических наук, профессор БГТУ;
Яромко В. Н., доктор технических наук, профессор БелдорНИИ

На первой странице обложки приведен фрагмент автомобильной
дороги М3 Минск–Витебск

Леонович, И. И.

Л47 Диагностика автомобильных дорог: учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» /
И. И. Леонович, С. В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с.
ISBN 978-985-525-853-8.

В издании изложены основные положения, касающиеся диагностики автомобильных дорог, приведены требования к состоянию покрытий дорог при строительстве, ремонте и в процессе эксплуатации. Описание методов измерений транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог приведено на основании действующих технических нормативных правовых актов.

УДК 625.7/8(075.8)

ББК 39.311я7

ISBN 978-985-525-853-8

© Леонович И. И., Богданович С. В., 2012

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

Оглавление

Введение	6
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	8
1.1. Автомобильный парк и уровень автомобилизации страны	8
1.2. Сеть автомобильных дорог Беларуси	14
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	18
2.1. Теория прочности	18
2.2. Теория надежности	19
2.3. Измерения и оценка погрешности	19
2.4. Теория прогнозирования	21
2.5. Теория движения автомобиля	22
2.6. Теоретические зависимости детерминированных неровностей дорожных покрытий	27
3. ПРОДОЛЬНАЯ И ПОПЕРЕЧНАЯ НЕРОВНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ	30
3.1. Общая характеристика неровности дорожных покрытий	30
3.2. Система измерения ровности дорожного покрытия	32
3.3. Расчетные показатели ровности	54
3.4. Анализ проектных решений с применением показателя ровности	59
3.5. Оценка колеяности на покрытии	63
4. ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И МЕТОДЫ ЕЁ ОПРЕДЕЛЕНИЯ	68
4.1. Требуемая прочность дорожной конструкции	69
4.2. Допустимые нагрузки на дорожную одежду	73
4.3. Предпосылки к инструментальному определению прочности дорожной одежды	75
4.4. Статический метод измерения упругого прогиба	77
4.5. Динамический метод измерения упругого прогиба	80
4.6. Установки для оценки прочности дорожных одежд	82
5. ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ	99
5.1. Общая характеристика шероховатости	99
5.2. Терминология по вопросам шероховатости дорожного покрытия	100
5.3. Методы измерения шероховатости покрытия	104
5.4. Метод песчаного пятна	105

5.5. Метод объемного пятна	107
5.6. Метод вытекания	107
5.7. Организация измерений параметров шероховатости	107
6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ДОРОЖНЫМ ПОКРЫТИЕМ И КРИТЕРИИ ЭТОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	110
6.1. Статическое взаимодействие колес автомобиля с покрытием	111
6.2. Динамическое воздействие автомобиля на дорожное покрытие	113
6.3. Повторяемость транспортных нагрузок	114
6.4. Сцепные качества дорожных покрытий	115
6.5. Измерение коэффициента сцепления прибором ППК-МАДИ	117
6.6. Определение коэффициента сцепления путем торможения	118
7. ТВЕРДОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ	121
7.1. Прибор для измерения твердости покрытия	121
7.2. Методика измерения твердости покрытия	122
8. УЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И СОСТАВА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА	126
8.1. Учет интенсивности движения на стационарных пунктах	129
8.2. Учет интенсивности движения на мобильных пунктах	132
8.3. Метод краткосрочного (периодического) автоматизированного учета интенсивности дорожного движения и состава транспортного потока	137
8.4. Пропускная способность автомобильных дорог	140
8.5. Характеристика уровней удобства движения	148
9. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБУСТРОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	152
9.1. Основные светотехнические величины	152
9.2. Требования к освещенности автомобильных дорог	154
9.3. Определение коэффициента диффузного отражения	154
9.4. Определение светорассеивающей способности дорожного покрытия	156
9.5. Измерение светотехнических характеристик дорожных знаков и разметки	160
10. ДЕФОРМАЦИИ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	161
10.1. Классификация дефектов	161
10.2. Отказы дорожных объектов	163
10.3. Дефекты асфальтобетонных дорожных покрытий	165

10.4. Дефекты цементобетонного покрытия	178
10.5. Дефекты земляного полотна	182
10.6. Дефекты водопропускных труб	183
10.7. Дефекты зимнего содержания	184
10.8. Учет дефектов автомобильной дороги	185
10.9. Дефектность автомобильных дорог	186
11. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ РАБОТ	193
11.1. Контроль качества работ по ремонту и реконструкции земляного полотна	195
11.2. Контроль качества работ по устройству дополнительных слоев оснований и прослоек (морозозащитных, дренирующих, изолирующих и капиллярпрерывающих)	196
11.3. Контроль качества работ по устройству оснований и покрытий из крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов и отходов промышленности, укрепленных неорганическими и органическими вяжущими материалами	197
11.4. Контроль качества работ по устройству щебеночных, гравийных, шлаковых оснований и покрытий мостовых	198
11.5. Контроль качества работ по устройству оснований и покрытий из щебеночных, гравийных и песчаных материалов, обработанных неорганическими вяжущими	199
11.6. Контроль качества материалов и работ по устройству оснований и покрытий из асфальтобетона, дегтебетона, черного щебня и щебеночных смесей, обработанных органическими вяжущими	199
11.7. Контроль качества работ по устройству поверхностной обработки	201
11.8. Контроль качества работ при устройстве монолитных и сборных цементобетонных оснований и покрытий	201
11.9. Контроль качества работ по инженерному обустройству дороги	203
12. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	204
Литература	212
ПРИЛОЖЕНИЯ	214
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Перечень и нумерация республиканских автомобильных дорог	214
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Зарубежные передвижные лаборатории для проведения диагностики автомобильных дорог	220

Введение

Автомобильные дороги являются сложнейшим инженерным комплексом, содержащим множество сооружений, дислоцированных в различных регионах страны и возведенных в разнообразных ландшафтных, гидрогеологических и климатических условиях. При строительстве дорог отчуждаются земли сельскохозяйственного, лесного и коммунального назначения, в значительных объемах используются естественные грунты, каменные материалы, в определенной степени трансформируется поверхностный сток ливневой воды, режим рек, архитектурная планировка селитебных территорий.

В процессе эксплуатации дорог реализуются внутрирегиональные и межрегиональные транспортные связи, иногда проявляются факторы негативности воздействия транспорта на миграцию животных, недопустимость уровня загрязнения атмосферного воздуха и чрезмерного шума, другие последствия интенсивной транспортной телекоммуникации. Эффективная эксплуатация дорог всецело зависит от их технических параметров и транспортно-эксплуатационного состояния. Технические параметры учитываются в проектах дорог, которые разрабатываются с учетом перспективной интенсивности движения, особенностей местности, относительного положения населенных пунктов, логистических центров, других грузо- и пассажирообразующих структур. Транспортно-эксплуатационное состояние построенных дорог формируется и поддерживается средствами содержания и ремонта. Технические и финансовые средства на содержание и ремонт дорог по своим объемам значительны, а по времени – постоянны. Рациональное их расходование – задача большой государственной важности. Ее реализация требует научного обоснования всех принимаемых решений, использования на практике инновационных технологий, высокой компетентности инженерно-технических работников, осуществляющих управленческие функции.

Одной из таких функций можно считать диагностику автомобильных дорог, которая призвана в режиме мониторинга следить за состоянием дорог и систематически определять все основные критерии их качества. Только полные и достоверные данные о состоянии дорог могут служить основой для выбора приоритетных решений, своевременного назначения ремонтных мероприятий, обоснованного ведения инвестиционной политики в дорожном хозяйстве.

При подготовке инженера-строителя по специальности «Автомобильные дороги» вопросы диагностики рассматриваются в учебной дисциплине «Диагностика автомобильных дорог». На ее изучение учебным планом предусмотрено 48 часов лекций, 16 часов практических и 16 часов – лабораторных занятий. Студенты самостоятельно обязаны выполнить курсовой проект.

Информационно-методическое обеспечение учебного процесса по диагностике дорог можно считать удовлетворительным. В 2002 г. было выпущено первое в СНГ учебное пособие¹, в 2009 г. – учебно-методическое пособие², в 2011 г. – новое учебное пособие³. Кроме того, в других изданиях, приведенных в конце настоящего учебно-методического пособия, отдельным вопросам диагностирования дорог также отведено соответствующее место. Студенты, изучающие диагностику автомобильных дорог, дополнительную интересующую их информацию могут найти в трудах ученых Московского государственного автомобильно-дорожного университета (МАДИ), СоюздорНИИ, БелдорНИИ, НТУ (г. Киев), БНТУ, в журналах «Автомобильные дороги», «Наука и техника в дорожной отрасли», «Автомобильные дороги и мосты», «Вестник БНТУ» («Наука и техника») и др.

Настоящее издание учитывает как информацию, опубликованную ранее, так и вытекающую из новейших научных изданий и действующих в Республике Беларусь нормативно-методических документов. При подготовке пособия были учтены мнения сотрудников кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» БНТУ и рекомендации рецензентов – заслуженного работника образования Республики Беларусь, доктора технических наук, профессора БГТУ Н. П. Выр-ко и заслуженного деятеля науки Республики Беларусь, доктора технических наук, профессора БелдорНИИ В. Н. Яромко.

Авторы признательны и выражают благодарность всем принявшим участие в подготовке к изданию настоящего пособия.

¹ Диагностика и управление качеством автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович [и др.]; под ред. И. И. Леоновича. Минск: БНТУ, 2002. 357 с.

² Леонович, И. И. Диагностика и управление эксплуатационным состоянием автомобильных дорог / И. И. Леонович, С. В. Богданович. Минск: БНТУ, 2009. 104 с.

³ Леонович, И.И. Диагностика автомобильных дорог: учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. Минск: Новое знание; ИНФРА-М., 2011. 350 с.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Дорожно-транспортный комплекс является важнейшей составляющей экономики государства, от уровня его развития и стабильного функционирования во многом зависят эффективность работы промышленности и сельского хозяйства, культурные связи между регионами страны, внешние транспортные коммуникации, межгосударственный туризм и многие другие аспекты жизнедеятельности общества.

В Республике Беларусь вопросам развития дорожно-транспортного комплекса уделяется очень большое внимание. Характерны тенденции гармонического взаимодействия автомобильного транспорта с другими видами транспорта и в первую очередь с железнодорожным, речным и воздушным. Это взаимодействие проявляется в виде комплекса транспортно-логистических центров, перегрузочных пунктов с одного вида транспорта на другой, учета особенностей стыковки различных транспортных систем при выполнении работ по транспортировке грузов и перевозке пассажиров.

Для характеристики дорожно-транспортного комплекса могут быть использованы различные технические и эксплуатационные показатели и в первую очередь уровень автомобилизации страны, развитие и состояние сети автомобильных дорог, наличие и функционирование устойчивых транспортных коммуникаций.

1.1. Автомобильный парк и уровень автомобилизации страны

Важнейшим показателем уровня развития дорожно-транспортного комплекса является автомобилизация. Под *автомобилизацией* понимается величина автомобильного парка и учет его показателей по отношению к численности населения или других показателей территориально-экономического развития государства.

На дорогах Беларуси первый автомобиль получил «прописку» в 1895 году. Именно тогда Ковенский округ путей сообщения, в который входили все белорусские губернии (кроме Могилевской), приобрел техническую новинку – автомобиль. Количество автомо-

билей росло довольно быстро, появились они и в личном пользовании. В целом, хотя автомобиль продолжал оставаться экзотикой, он довольно уверенно занял ведущее место в грузовых и пассажирских перевозках на шоссе.

В 1910 году на территории нынешней Беларуси было 65 автомобилей. На заре автомобилизации Беларуси представляло интерес его использование в качестве общественного транспорта. В 1906 году минчанин И. Федоров обратился в городскую управу с просьбой разрешить ему перевозить на автомобиле пассажиров. Он же стал виновником первой известной в Минске автокатастрофы. 20 августа 1906 года машина врезалась в телеграфный столб, один пассажир погиб.

После первого, не слишком удачного опыта таксомоторное движение в Минске было возобновлено только осенью 1912 года. В 1913–1914 годы в распоряжении минчан было шесть автомобилей – такси марок «Оверленд», «Дарак», «Олдсмобиль», «Мерседес», «Форд» и «Опель» мощностью от 20 до 35 лошадиных сил.

В конце 1913 года житель Минска получил право эксплуатации автобуса вместимостью 20 человек для перевозки пассажиров. Весной 1914 года между центром города и Комаровкой (тогда городской окраиной) начал курсировать шестиместный маршрутный автомобиль. 30 ноября 1908 года купец Ф. В. Некрич получил разрешение организовать товаропассажирское движение из Слуцка в Бобруйск, Старые Дороги и Ляховичи. В мае 1909 года он организовал «предприятие срочного автомобильного сообщения». На линии Слуцк–железнодорожная станция Старые Дороги (47 верст) действовали три автобуса фирмы «N.A.G.» (35 л. с., 20 верст в час). На линии Слуцк–Ляховичи (80 верст) действовали два автобуса фирмы «Дюркон» (45 л. с., 25 верст в час).

В 1909 году Министерство путей сообщения разрешило директору – учредителю Виленского омнибусоавтобусного товарищества – открыть автомобильные перевозки по маршрутам: Брест–Слуцк–Бобруйск–Могилёв; Остров–Двинск–Ковно; Опочка и Витебск до границы Могилевской губернии; Псков–Рига–Таурожен; Дрогичин–Высоко–Литовск–Ружаны–Слоним; Пружаны–Запруды; Жабинка–Каменец–Литовск; Яков–Федьковичи; Белосток–Барановичи; Гродно–Лида.

Белорусские губернии имели довольно развитую систему сообщений – водных путей, железнодорожных и шоссейных дорог. В первой половине XIX века через Беларусь прошли такие важнейшие

сухопутные пути, как шоссе Брест–Варшава, строительство окончено в 1823 году, протяженность 177 верст; Москва–Брест (1849 год, 999 верст), Витебск–Смоленск (1855 год, 106 верст), Киев–Брест (1864 год, 554 версты). А шоссе из Петербурга в Киев – трасса, которая проходила через белорусские земли, получило официальное название Белорусского тракта.

Обычно приводят данные, по которым перед Первой мировой войной на территории современной Беларуси было 250–300 автомобилей. Но эту цифру нельзя считать окончательной. Вероятнее всего, она была выше.

О современном состоянии автомобильного парка можно судить по данным табл. 1.1.

Таблица 1.1

Наличие транспортных средств в 2010 году

Области и г. Минск	Всего: автомобили мотоциклы и прицепы	Всего: автомобили и мотоциклы	Всего автомобилей
Брестская	679198	629364	469147
Витебская	408384	386688	365975
Гомельская	465454	443426	388648
Гродненская	469238	436723	392959
г. Минск	683452	652471	647030
Минская	552176	516231	466570
Могилевская	341602	323078	312336
Республика Беларусь	3599504	3387981	3042665
Прирост, %	4,85	4,86	5,99

По принадлежности 86,5 % автомобили являются личными и 13,5 % – предприятий и организаций.

Распределение автомобилей по областям следующее:

Брестская – 15,4 %;

Витебская – 12,0 %;

Гомельская – 12,8 %;

Гродненская – 12,9 %;

г. Минск – 21,3 %;

Минская – 15,3 %;

Могилевская – 10,3 %.

На 1000 жителей в Беларуси приходится 321 автомобиль, а в областях: Брестской – 337, Витебской – 230, Гродненской – 369, Гомельской – 271, Минской – 330, Могилевской – 287, в г. Минске – 352 авт. / 1000 чел.

Количество личного транспорта на 1000 жителей областей и г. Минска соответственно: 284, 261, 229, 308, 286, 252, 316.

На основании приведенных выше данных можно считать, что уровень автомобилизации в Республике Беларусь достаточно высокий. Марки, модели и модификации легковых и грузовых автомобилей, автобусов, мотоциклов и мотороллеров отличаются большим разнообразием.

В процессе эксплуатации автомобильных дорог это обстоятельство необходимо учитывать. Необходимо учитывать и то, что по дорогам Беларуси проезжает значительное количество отечественных и зарубежных автомобильных поездов, имеющих большие осевые нагрузки и значительный общий вес. Для стран Евросоюза допустимые и максимальные массы поездов и поосное распределение нагрузки приведено на рис. 1.1.

Одиночный поезд	2П	<p>18Т</p> <p>65 кН 115 кН</p>	Автопоезд с прицепом	2Т+1ПП	<p>31,5Т</p> <p>100 кН 115 кН 100 кН</p>
	3П	<p>25Т/26Т</p> <p>60/70 кН 115 кН 57,5 кН 80,0 кН 90,0 кН 95,0 кН</p>		2Т+2ПП	<p>25Т/26Т</p> <p>45/65 кН 115 кН 110 кН 180 кН 200 кН 55,0 кН 80,0 кН 90,0 кН 100,0 кН</p>
	4П	<p>32Т</p> <p>115 кН 160 кН 180 кН 190 кН 115 кН 115 кН 160 кН 180 кН 190 кН 57,5 кН 80,0 кН 90,0 кН 95,0 кН</p>		2Т+3ПП	<p>40Т</p> <p>45 кН 115 кН 210 кН 240 кН 70,0 кН 80,0 кН</p>
Автопоезд	2П+2П	<p>18Т 36Т 18Т</p> <p>65 кН 115 кН 80-100 кН 80-100 кН</p>	3Т+1ПП	<p>32Т</p> <p>30 кН 113 кН 160 кН 180 кН 190 кН 57,5 кН 80,0 кН 90,0 кН 95,0 кН 100 кН</p>	

Автопоезд	2П+3П		Автопоезд с прицепом	3Г+2ПП		
	3П+2П			3Г+3ПП		
	3П+3П			Автобус	2А	
					3А	

Рис. 1.1. Допустимые массы и осевые нагрузки, принятые в Европе

1.2. Сеть автомобильных дорог Беларуси

Автомобильные дороги занимают центральное место в системе дорожно-транспортного комплекса, а их количество всецело определяет условия и эффективность работы автомобильного транспорта. Развитие сети автомобильных дорог на протяжении истории имело множество особенностей. До Великой Отечественной войны строились в основном грунтовые и гравийные дороги. Общая протяженность их составляла около 11 тыс. км. В период войны основные дороги и практически все мостовое хозяйство были разрушены. К 1950 году сети автомобильных дорог достигли довоенного уровня и начался период систематического развития дорожной сети, строительство дорог с усовершенствованными типами покрытий.

Определенные успехи в этом направлении вскоре были достигнуты. На 1 января 1959 года протяженность дорог с твердым покрытием составила 13,8 тыс. км (20,9 % общей протяженности), в том числе с усовершенствованным покрытием – 3,88 тыс. км (5,9 %). Важную роль в развитии дорожной сети республики сыграл Указ Президиума Верховного Совета БССР от 10.04.1959 года, узаконивший переход от индивидуального привлечения сельского населения для строительства, ремонта и содержания дорог к широкому участию в этом деле государственных и кооперативных предприятий, хозяйственных организаций. Этот Указ позволил привлечь в дорожное строительство дополнительные денежные средства. В результате протяженность дорог с твердым покрытием к 1966 году возросла до 18,6 тыс. км, в том числе с усовершенствованным – до 5,4 тыс. км. Если на 1 января 1958 года 49 районов республики вообще не имели подъездов с твердым покрытием, то уже в 1966 году 109 из 117 районов имели надежные подъездные пути к общей сети автомобильных дорог, а к 1976 году подъезды с твердым покрытием имели все города, включая райцентры, и 95 % центральных усадеб колхозов и совхозов.

В 1957–1967 годах по проекту Киевского филиала института «Союздорпроект» построена первая в Белоруссии автомобильная дорога второй категории с монолитным цементобетонным покрытием (главный инженер проекта Г. В. Стрельцес). Она соединила Калинковичи с Пинском. Ее протяженность 250 километров.

Дальнейшее развитие сети автомобильных дорог проводилось как путем нового строительства, так и путем реконструкции и техниче-

ского ремонта существующих дорог. Протяженность дорог за период 1940–2010 годы представлена на рис. 1.2.

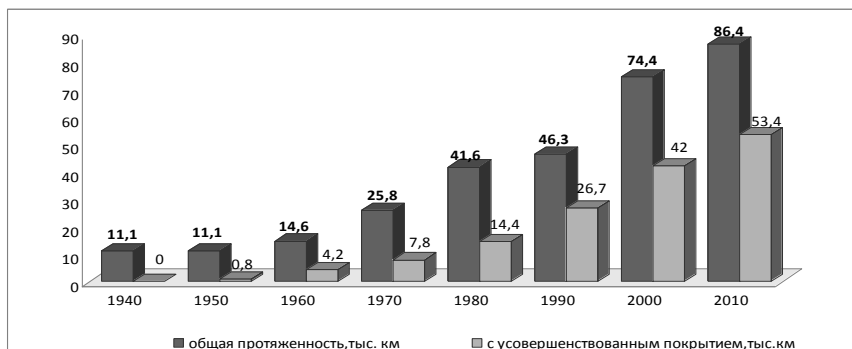


Рис. 1.2. Диаграмма протяженности дорог общего пользования

В зависимости от функционального назначения современные автомобильные дороги подразделяются на дороги общего (республиканские и местные) и дороги необщего пользования.

К *республиканским* автомобильным дорогам относятся автомобильные дороги, включаемые в сеть международных автомобильных дорог (Европейской транспортной системы), а также автомобильные дороги, которые обеспечивают транспортные связи:

- столицы Республики Беларусь – города Минска – с административными центрами областей, Национальным аэропортом «Минск»;
- административных центров областей между собой;
- административных центров областей с аэропортами вне городской черты и с административными центрами районов;
- административных центров районов между собой по одному из направлений;
- городов областного подчинения с административным центром области, на территории которой находятся эти города;
- железнодорожных станций, размещенных не в городах, пунктов пропуска через Государственную границу Республики Беларусь, а также других объектов государственного значения с республиканскими автомобильными дорогами.

Перечень республиканских автомобильных дорог приведен в приложении.

К *местным* автомобильным дорогам относят автомобильные дороги, обеспечивающие транспортные связи:

- административных центров сельсоветов, городов районного подчинения, городских, курортных и рабочих поселков, сельских населенных пунктов с административными центрами районов, на территории которых они размещены, а также городов районного подчинения, городских, курортных и рабочих поселков между собой и с ближайшими железнодорожными станциями, аэропортами, речными портами и пристанями вне городской черты;

- мест массового отдыха, туризма, спортивных комплексов, курортов, больниц, школ-интернатов, домов отдыха, оздоровительных лагерей, кладбищ, исторических памятников, памятников природы и культуры с административными центрами областей и районов, на территории которых находятся эти объекты, а также с ближайшими железнодорожными станциями, аэропортами, речными портами, пристанями и республиканскими автомобильными дорогами;

- административных центров сельсоветов между собой, сельских населенных пунктов (в том числе дороги, которые проходят по территории этих населенных пунктов) с автомобильными дорогами общего пользования;

- районов индивидуального жилищного строительства, размещенных в сельской местности, и садоводческих товариществ с автомобильными дорогами общего пользования.

К автомобильным дорогам *необщего пользования* относятся автомобильные дороги, предназначенные для внутрихозяйственных и технологических перевозок, служебные и патрульные автомобильные дороги вдоль каналов, трубопроводов, линий электропередач, других коммуникаций и построек, а также служебные автомобильные дороги к гидротехническим и другим постройкам.

По состоянию на 01.01.2011 года протяженность дорог республиканского значения составила 15541 км (18 %) и местных 70851 км (82 %).

В особую группу можно отнести международные маршруты:

- Критский транспортный коридор II (граница Польши – Брест – Минск – граница Российской Федерации);

- Критский транспортный коридор IX (граница Российской Федерации–Витебск–Могилев–Гомель–граница Украины);

– Критский транспортный коридор IX-B (граница Литвы–Минск–Гомель–граница Украины), которые связывают страны Западной Европы с нашей республикой, Россией, Украиной, Молдовой.

Общая их протяженность составляет более 1300 км. По областям автомобильные дороги имеют практически одинаковые характеристики, но некоторые особенности можно отметить по данным табл. 1.2.

Таблица 1.2

Характеристика автомобильных дорог Беларуси по состоянию на 1.01.2011 г.

Области	Территория, тыс. км ²	Протяженность дорог общего пользования							
		Республиканские			Местные		Общая протяженность		
		км	% от общей протяженности		км	% от общей протяженности		км	% от общей протяженности в стране
			в области	в стране		в области	в стране		
Брестская	32,8	2353	22,0	2,7	8322	78,0	9,6	10673	12,4
Витебская	40,1	2975	16,8	3,4	14735	83,2	17,1	17710	20,5
Гомельская	40,4	2266	18,3	2,6	10105	81,7	11,7	12371	14,2
Гродненская	25,0	2144	16,7	2,5	10727	83,3	12,4	12871	14,9
Минская	40,2	3317	17,1	3,8	16124	82,9	18,7	19441	22,5
Могилевская	29,0	2486	18,7	2,9	10838	81,3	12,5	13324	15,4
Республика Беларусь	207,6	15541	18,0 %		70851	82,0 %		86392	100 %

По состоянию на 1.01.2012 г. протяженность дорог общего пользования составила 86 491 км (на 1000 км² территории протяженность дорог составила 416,6 км и на 1000 жителей – 9,2 км). Республиканские дороги – 15,6 тыс. км; местные – 70,9 тыс. км. На автомобильных дорогах эксплуатируется 5255 мостов и путепроводов протяженностью 178,7 тыс. пог. м и 96 750 водопропускных труб протяженностью 1397,4 тыс. пог. м. Все дороги обустроены средствами регулирования движения, обеспечения безопасности, а магистральные дороги, кроме этого, – средствами придорожного сервиса.

Кроме отмеченных выше характеристик при анализе дорожной сети и проведении работ по диагностированию автомобильных до-

рог необходимо учитывать их категории, технологические параметры, конструкции дорожных одежд, требования по содержанию, взаимосвязи и взаимозависимости, которые существуют в системе ВАДС (водитель–автомобиль–дорога–окружающая среда).

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Диагностика – это наука об оценке технических, эксплуатационных и коммуникативных качеств автомобильных дорог, установлении причин появления проектных, строительных и эксплуатационных дефектов, обосновании мер по поддержанию комплекса дорожных сооружений в требуемом состоянии или определении экономически целесообразных восстановительных и ремонтных работ.

По всей своей сути эта наука тесно связана со многими направлениями фундаментальных исследований и в то же время обеспечивает контрольные функции по проверке обоснованности ранее принятых на рассматриваемом объекте решений, связанных с его созданием или использованием. Для овладения методами визуального и инструментального диагностирования автомобильных дорог необходимы глубокие и прочные знания математики, физики, химии, строительных материалов, теории прочности дорожных конструкций, метрологии, климатологии и других дисциплин. Формирование таких знаний и опыта у студентов достигается в результате выполнения учебного плана и программ, где эти дисциплины являются обоснованным учебно-научным комплексом.

Отметим некоторые теоретические положения, лежащие в основе современной диагностики и которые необходимо учитывать как в процессе диагностики дорог, так и при изучении ее теоретических основ.

2.1. Теория прочности

Для определения прочностных характеристик дорожных конструкций и элементов дороги широко применяется теория прочности. Основные теоретические положения прочности малых элементов связаны с определением нормальных напряжений, нормальных деформаций, касательных напряжений, энергии изменения форм, потенциальной энергии, теории прочности Мора и др. Расчет прочности жестких

и нежестких дорожных покрытий основан на теории упругости, а напряжения и деформации определяются с учетом упругости, вязкопластичности и других свойств материалов. Влияние неровностей дорожного покрытия на динамику подвижного состава, а следовательно, и его воздействие на дорогу рассматривается в теории колебаний. Для этого получило развитие моделирование подвижного состава, а разработанные модели автомобильных поездов позволяют решить многие задачи прочности дорожных одежд, плавности движения, взаимодействия колес подвижного состава с проезжей частью и др.

Вопросы теории прочности дорожных конструкций подробно рассмотрены в научных трудах профессоров Н. Н. Иванова, М. Б. Корсунского, Б. С. Радовского, А. В. Смирнова и др.

2.2. Теория надежности

Надежность функционирования дорожно-транспортного комплекса (ДТК) обеспечивается практическими действиями работников дорожных и транспортных организаций. Последние базируются на теории надежности и накопленном опыте эксплуатационной работы. Под *надежностью* ДТК подразумеваются комплексные свойства дорог, транспортных средств, систем организации движения и контроля технико-эксплуатационных качеств технических объектов, заключающиеся в их способности выполнять заданные функции, сохраняя при этом свои основные характеристики в установленных пределах. Понятие «надежность автомобильных дорог» включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Теорией надежности охватываются и такие понятия, как технический ресурс, срок службы дороги, периодичность капитальных ремонтов, затраты на содержание и текущий ремонт и др.

Надежность автомобильных дорог можно условно разделить на проектную, технологическую и эксплуатационную.

Вопросы надежности автомобильных дорог нашли отражение в трудах профессоров А. К. Бирули, В. А. Веренько и др.

2.3. Измерения и оценка погрешности

Диагностика автомобильных дорог связана с различного рода измерениями. Различают измерения: прямое, косвенное, совокупное,

совместное, однократное, многократное, статическое, динамическое, равноточное, неравноточное и др. Измеряемые параметры, как правило, не являются однородными, варьируют в значительных пределах, а в процессе измерения могут быть допущены как систематические, так и случайные погрешности. Обработка результатов методом математической статистики является необходимым условием. При этом:

а) определяется среднее арифметическое значение (получение точечной оценки результатов измерений):

$$\bar{x}_{\text{cp}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n},$$

где x_i – величина i -го измерения;

n – число измерений;

б) вычисляется отклонение V_i результата от среднего арифметического:

$$V_i = \bar{x}_{\text{cp}} - x_i;$$

в) производится оценка среднеквадратического отклонения результатов измерений:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_{\text{cp}} - x_i)^2}{n-1}}.$$

Средняя квадратическая погрешность результатов измерения среднего арифметического значения определяется по формуле

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}},$$

где S – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равноточечных измерений;

n – число единичных измерений в ряду.

Доверительные границы погрешности результата измерений – наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений. При симметричном распределении пределы измерений $\pm tS, \pm tS_x$, где S и S_x – средние квадратические погрешности соответственно единичного и среднего арифметического результатов измерений; t – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n .

Размах результатов измерений – это разница образующих ряд результатов единичных измерений физической величины, определяемая по формуле

$$R_n = X_{\max} - X_{\min},$$

где X_{\max}, X_{\min} – наибольшее и наименьшее значение результатов измерений определенной серии.

При необходимости установления зависимостей между исследуемыми величинами используется метод корреляционного анализа.

Кроме отмеченных выше теоретических положений современной диагностики автомобильных дорог при изучении проблем диагностики могут быть полезными теория трения, теория вероятности, теория массового обслуживания и др.

2.4. Теория прогнозирования

При управлении дорожным хозяйством особое место занимают прогнозы погоды, интенсивности движения на дорогах, состояния проезжей части, долговечности дорожной конструкции и др. Для разработки прогнозов используются существующие методы анализа динамики изменения тех или иных показателей состояния, методы экстраполяции, экспертных оценок, установившиеся функциональные закономерности и др.

Так, при разработке прогнозов погоды учитывается совокупность процессов, протекающих в атмосфере, и динамики их развития. Используются синоптические карты и численные методы прогноза погоды. Прогноз погоды может быть общего пользования и специальный. Для дорожных организаций краткосрочный прогноз погоды может быть произведен на основании данных дорожных измерительных станций.

Прогноз загрузки дороги движением за период T определяется расчетным путем по формуле

$$\sum_{i=0}^T N_i = N_0 (365) \int_0^T (1+q)^T dT,$$

где N_i – число повторяющихся в течение года (i) транспортных нагрузок ($i = 0-T$);

N_0 – число повторяющихся нагрузок в начальном году ($i = 0$);

q – процент ежегодного прироста интенсивности движения;

T – последний год прогноза (например, $T = 5$).

Экспертная оценка прогноза определяется группой высококвалифицированных специалистов (экспертов) на основании анализа состояния и всех факторов, которые могут оказать влияние на развитие рассмотренных процессов в перспективе.

Прогнозирование обновления техники и технологии и появления в дорожном строительстве новых материалов может быть проведено на основании анализа обобщения тематических патентных фондов.

В целом прогнозирование в дорожном хозяйстве играет очень важную роль, а поэтому прогностику, как науку о теории и практике прогнозирования, необходимо развивать, а инженерно-техническим работникам – предметно ее использовать.

2.5. Теория движения автомобиля

Движение автомобиля тесно связано с дорогой. Кинетическая энергия движущегося автомобиля выражена формулой

$$E = \frac{m_a v^2}{2},$$

где m_a – масса автомобиля, кг;

v – скорость движения.

Приращение энергии на бесконечно малом участке пути dS получают взяв первую производную:

$$dE = m_a v dv.$$

Элементарная работа сил, действующих на автомобиль, определяется по формуле

$$dW = (F_k - F_{\text{общ}})dS,$$

где F_k – касательная сила тяги автомобиля, Н;

$F_{\text{общ}}$ – суммарное сопротивление движению, Н.

Затраченная энергия и произведенная в результате этого работа равны между собой, т. е.

$$dE = m_a v dv = dW = (F_k - F_{\text{общ}})dS.$$

Отсюда

$$\frac{dv}{dS} = \frac{F_k - F_{\text{общ}}}{m_a v}$$

или

$$\frac{dv}{dS} = \frac{g(F_k - F_{\text{общ}})}{v(G_a + G_1)},$$

где G_1 – вес груза, Н;

G_a – вес порожнего автомобиля, Н.

Но так как $dS = v dt$, в итоге будем иметь

$$\frac{dv}{dt} = \frac{g(F_k - F_{\text{общ}})}{G_a + G_1}.$$

Силы, действующие на автомобиль ($F_k - F_{\text{общ}}$), могут быть представлены относительными (удельными) значениями, которые будут ни чем иным, как ускоряющими (замедляющими) усилиями. В этом случае уравнение примет вид

$$\frac{dv}{dt} = g(f_k - f_0 - f_b \pm f_i \pm f_j - f_r \pm f_w),$$

где f_k – удельная касательная сила тяги;

f_0 – основное сопротивление движения (сопротивление качения);

f_b – удельная тормозная сила;

f_1 – удельное сопротивление, обусловленное наличием продольного уклона дороги;

f_j – удельное сопротивление инерции;

f_r – удельное сопротивление от кривой;

f_w – удельное сопротивление воздушной среды.

Частные случаи движения получим, введя дополнительные условия:

а) движение ускоренное:

$$f_j = 0; \quad f_k > \sum f_{\text{сп}},$$

где $\sum f_{\text{сп}}$ – сумма сил сопротивления;

б) движение замедленное:

$$f_k < \sum f_{\text{сп}};$$

в) движение равномерное:

$$\frac{dv}{dt} = 0; \quad f_k = \sum f_{\text{сп}};$$

г) движение равномерное на прямом горизонтальном участке дороги:

$$\frac{dv}{dt} = 0; \quad f_k = f_0,$$

а остальные силы сопротивления равны нулю.

С помощью уравнения движения можно решать различные практические задачи.

2.5.1. Определение массы автомобильного поезда

Принимается, что движение равномерное, ускорение и удельное сопротивление, кроме продольного уклона, равны нулю. Следовательно:

$$f_k = f_0 \mp f_i \quad \text{или} \quad f_k = f_0 \mp i$$

(сопротивление от уклона численно равно уклону).

Переходя от удельных к полным силам, получим

$$F_k = (G_a + G_1) \cdot (f_0 \mp i).$$

Вес автомобиля (автопоезда) брутто

$$G_a + G_1 = \frac{F_k}{f_0 \mp i}.$$

Вес груза

$$G_1 = \frac{F_k}{f_0 \mp i} - G_a.$$

Масса груза определится по формуле

$$M_{\text{гр}} = \frac{1}{g} \left[\frac{F_k}{f_0 \mp i} - G_a \right], \text{ кг.}$$

Значение $M_{\text{гр}}$ должно быть сопоставлено с грузоподъемностью подвижного состава и при необходимости уменьшено до ее значения.

5.2.5. *Определение времени разгона автомобиля*

Для определения времени разгона автомобиля используется уравнение

$$\frac{dv}{dt} = g \sum f;$$

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{g \sum f};$$

$$\Delta t = \frac{v_2 - v_1}{g \sum f},$$

где v_1, v_2 – начальная и конечная скорости автомобиля при разгоне;
 g – ускорение, м/с²;

$\sum f$ – сумма удельных сил, действующих на автомобиль (автопоезд) при разгоне.

2.5.3. *Определение пути разгона*

Путь разгона определяется следующим образом:

$$\frac{dv}{dt} = f_0(f_k, f_0, l);$$

$$\frac{v dv}{ds} = f_0(f_k, f_0, l);$$

$$dS = \frac{v dv}{f_0(f_k, f_0, l)};$$

$$\int_{S_1}^{S_2} dS = \int_{v_1}^{v_2} \frac{v dv}{g(f_k - f_0 \mp l)};$$

$$\Delta S = \frac{v_2 - v_1}{2g(f_k - f_0 \mp l)}.$$

2.5.4. *Определение пути торможения*

Для определения пути торможения автомобиля используются формулы:

$$f_k = f_i = f;$$

$$\int_{S_1}^{S_2} dS = \int_{v_1}^{v_2} \frac{v dv}{g(-f_0 - \varphi_0 \mp l)};$$

$$S_t = \frac{v^2}{2g(f_0 + \varphi_0 \mp l)},$$

где S_t – длина тормозного пути, м;
 φ – коэффициент сцепления колес автомобиля с покрытием.

2.5.5. Определение допустимой по условиям скорости движения автомобиля

$$v = \sqrt{2gS_t(f_0 + \varphi_0 \mp \lambda)}.$$

2.5.6. Приращение скорости движения автомобиля за период времени Δt

Из уравнения движения вытекает

$$\frac{dv}{dt} = f_0(f_k f_0, \lambda);$$

$$v_2 - v_1 = \Delta v = g\Delta t(f_k - f_0 \mp \lambda).$$

2.6. Теоретические зависимости детерминированных неровностей дорожных покрытий

Дорожные покрытия в процессе эксплуатации изнашиваются, их текстуры изменяются, и могут возникать различного рода неровности. Чаще всего они имеют случайный характер, а их значения определяются методами математической статистики.

Для определения неровностей, имеющих систематический характер, используются следующие функции:

1. Синусоида (рис. 2.1):

$$y = h_0 \sin \pi y / s,$$

где x, y – координаты;

h_0 – амплитуда;

S – период.

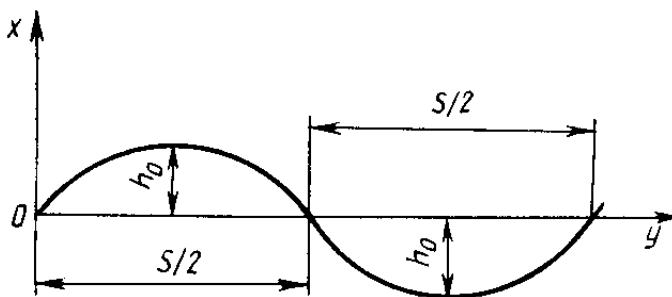


Рис. 2.1. Аппроксимация дорожных неровностей в виде синусоиды

2. Парабола (рис. 2.2):

$$2P(x+h_0) = (y-s/2)^2$$

или при $P = \frac{S^4}{8h_0}$

$$\frac{S^4(x+h_0)}{4h_0} = (y-s/2)^2.$$

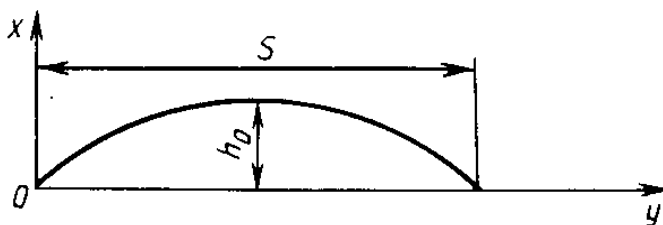


Рис. 2.2. Аппроксимация дорожных неровностей в виде параболической функции

3. Треугольная кусочно-прерывная (рис. 2.3):

$$y - k(s + \Delta s) = -\Delta s x / h_0 + x, \quad k = 0, 1, 2, \dots;$$

при $x = 0$

$$k(s + \Delta s) \leq y < s + k(s + \Delta s), \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

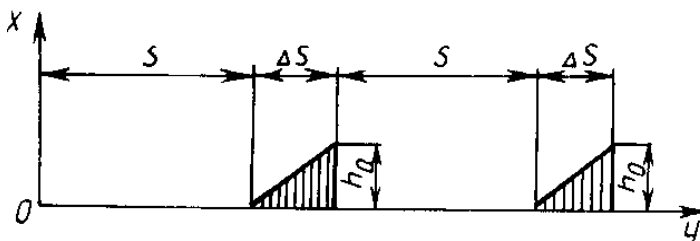


Рис. 2.3. Аппроксимация дорожных неровностей в виде треугольной кусочно-прерывной функции

4. Прямоугольная кусочно-прерывная (рис. 2.4).

$$x = 0, k(s + \Delta s) \leq y < s + k(s + \Delta s), k = 0, 1, 2, \dots;$$

$$x = h_0, s + k(s + \Delta s) \leq y < (k + 1)(s + \Delta s), k = 0, 1, 2, \dots;$$

$$-h_0 \leq x \leq 0, y = (k + 1)(s + \Delta s), k = 0, 1, 2, \dots$$

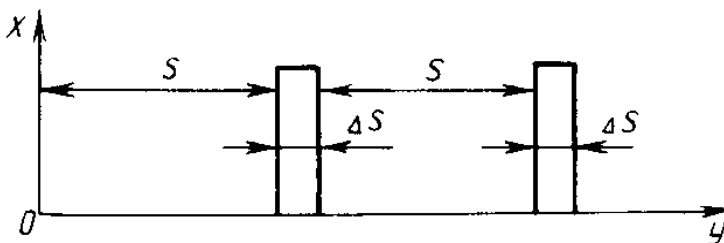


Рис. 2.4. Аппроксимация дорожных неровностей в виде прямоугольной кусочно-прерывной функции

Кроме приведенных выше могут быть использованы и другие функции, построенные по данным координат явно выраженных неровностей.

3. ПРОДОЛЬНАЯ И ПОПЕРЕЧНАЯ НЕРОВНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

3.1. Общая характеристика неровности дорожных покрытий

Под воздействием внешних сил и процессов, протекающих в земляном полотне и дорожной одежде, на проезжей части возникают различные неровности – волны, колея, выбоины, просадки, прогибы и др. (рис. 3.1).

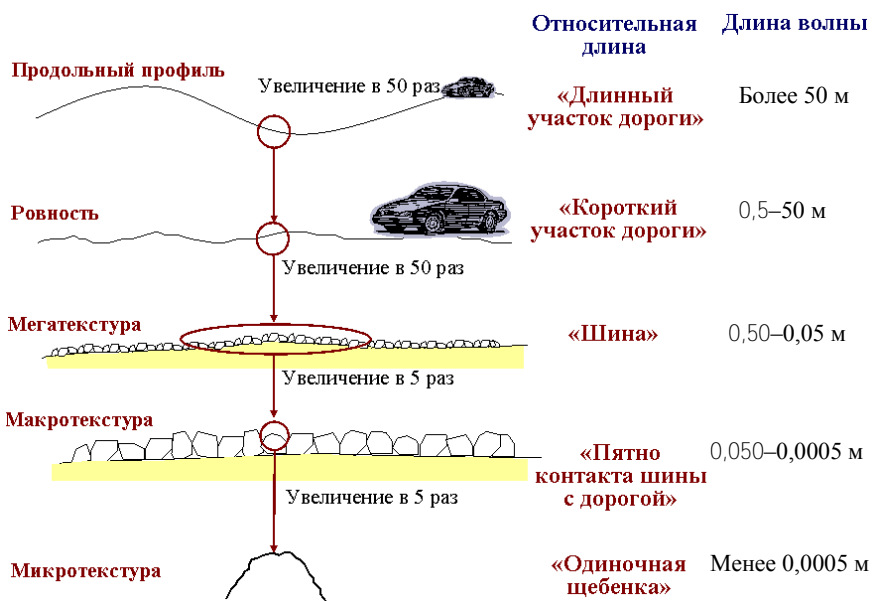


Рис. 3.1. Различные виды неровностей

Появление неровностей отрицательно сказывается на эффективности работы автомобильного транспорта, способствует снижению безопасности движения, уменьшает долговечность дороги. Неровности при движении автомобиля приводят его в колебательное состояние. Для оценки ровности используют различные методы. В качестве численных критериев используются:

- величина и число просветов (в миллиметрах) под измерительной рейкой;
- сумма сжатий рессор автомобиля или специального прицепа (в сантиметрах на 1 км) при движении со скоростью 50 км/ч;
- коэффициент ровности;
- индекс ровности покрытия $|R|$ и др.

Наличие неровностей часто обуславливается и тем, что при производстве работ бывает очень трудно получить геометрически правильную форму поверхности проезжей части. Кроме того, покрытие на проезжей части изнашивается под воздействием автомобильных нагрузок и погодно-климатических факторов.

Плохое содержание дорог и несвоевременный их ремонт усугубляют деградацию поверхности покрытия.

Неровности дорожного покрытия непостоянны во времени. В процессе эксплуатации дорог они изменяют свой характер, форму, место и размеры. Чаще всего этот процесс развивается в худшую сторону. Остановить его – первостепенная задача дорожных организаций.

Профиль поверхности покрытия можно представить как воображаемую линию, полученную в результате разреза по вертикальной плоскости. Ее геометрические параметры будут характеризоваться следующими координатами: x – расстояние и z – амплитуда неровностей (рис. 3.2). Амплитуда и длина волны с математической точки зрения изображены условно.

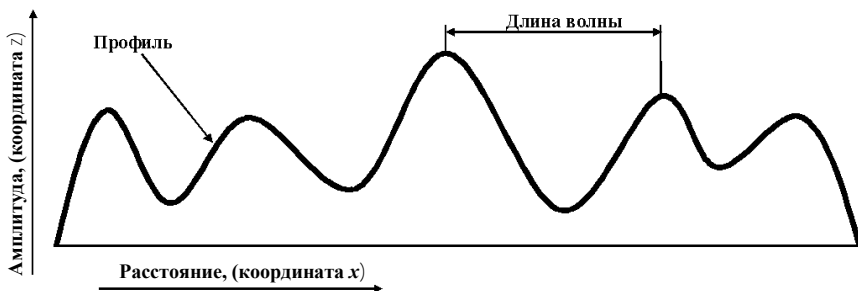


Рис. 3.2. Профиль поверхности покрытия, амплитуда и длина волны

Длинные плавные неровности в продольном профиле с длиной волны более 50 м можно отнести к проектному профилю. Эти не-

ровности влияют на работу двигателя и режим движения транспортного средства, но не оказывают существенного влияния на колебания автомобиля на подвеске.

Неровности с короткими длинами волн, менее 0,5 м – мега-, макро- и микротекстура оказывают воздействие на автотранспортное средство, колебания которого поглощаются шинами автомобиля.

Неровности в диапазоне 0,5–50 м формируют продольный микропрофиль поверхности автомобильной дороги и вызывают значительные колебания подрессоренных масс автомобиля.

Ровность определяется как отклонение покрытия дорожной одежды от истинно плоской поверхности в пределах диапазона длин волн 0,5–50 м.

На различных участках автомобильной дороги имеются неровности самой различной формы и размеров, в чередовании этих неровностей невозможно установить какой-либо определенной закономерности.

Транспортное средство, движущееся по автомобильной дороге, в любой момент времени может оказаться на выступе или впадине различной формы дорожного покрытия – это явление случайное. Следовательно, воздействие профиля автомобильной дороги на транспортное средство является случайным процессом и профиль автомобильной дороги математически можно описать случайной функцией.

3.2. Система измерения ровности дорожного покрытия

Измерение ровности – процесс определения как самих неровностей, так и характера их воздействия на измерительную установку.

В мировой практике известно множество конструкций приборов для измерения ровности покрытий.

По принципу действия различают приборы:

регистрирующие геометрические параметры неровностей – рейки, профилографы, виаграфы, уклономеры, профилометры, нивелиры и др.;

импульсного действия, измеряющие колебания или перемещения отдельных элементов автомобиля, – различные толчкомеры (приборы с обратной реакцией), акселерометры;

инерционного действия, динамически преобразующие продольный профиль дороги.

Кроме того, методы измерения ровности делятся на контактные и бесконтактные, дискретные и непрерывные, простые и с анализирующим устройством.

Существующие методы для определения ровности автомобильных дорог можно условно объединить в две группы (рис. 3.3):

– методы, позволяющие определять неровность покрытий при проезде участка дороги по воздействию дорожных неровностей на измерительное устройство, установленное в кузове автомобиля или прицепного;

– методы, позволяющие непосредственно измерить неровности поверхности покрытия относительно некоторой условной линии.

В первом случае применяют толкочеры, измеряющие при движении автомобиля сумму прогибов рессор, и акселерометры, регистрирующие вертикальные ускорения.

Начиная с 20-х годов прошлого столетия инженеры-дорожники начали применять приборы для измерения неровностей дорог. Эти приборы предназначались для определения эксплуатационных качеств и устанавливались в транспортном средстве для преобразования и накопления прогиба подвески, возникающего под воздействием неровностей покрытия при перемещении транспортного средства по дороге. Получаемое в результате измерение пропорционально общему суммарному прогибу подвески, который произошел за время испытаний (см/км, м/км, см/100 м, м/100 м, дюйм/милю). Данные приборы называются толкочерами, а за рубежом – дорожными измерителями (дорожными счетчиками).

При установке толкочера на микроавтобусе (легковом автомобиле, легком грузовике) или буксируемом прицепе с одним или двумя колесами измеряется обратная реакция дороги, а не сами ее неровности. Среди известных и популярных устройств можно назвать: толкочер ХАДИ, предложенный проф. А. К. Бирулей, модифицированную конструкцию этого прибора ТХК-2 филиала СоюздорНИИ (серийно выпускается Минавтодором Казахской ССР), толкочер ТЭД-2М (Казахский филиал Союздорнии), толкочер ИВП-1М (Росдорнии), динамометрический прицеп ПКРС-2У; зарубежные – дорожный измеритель Мэйза, измеритель РСА, измеритель Коха, измеритель ровности ВРР, измеритель ровности Vump Integrator и другие.



Рис. 3.3. Классификация методов определения ровности покрытия

Принципиальная схема измерительной установки на базе легкого автомобиля представлена на рис. 3.4 (толкочер ХАДИ, ТХК-2, ТЭД-2М, ИВП-1М, измеритель Мэйза).



Рис. 3.4. Измерительная система, оборудованная толкочером

Фиксация результатов в наиболее старых моделях толкочером осуществлялась электромеханическим способом. При этом для регистрации использовались счетчики на бумажной ленте (ТХК-2, рис. 3.5)

и оптоэлектронные устройства с записью в бортовой компьютер (ТЭД-2М, ИВП-1М, рис. 3.6).

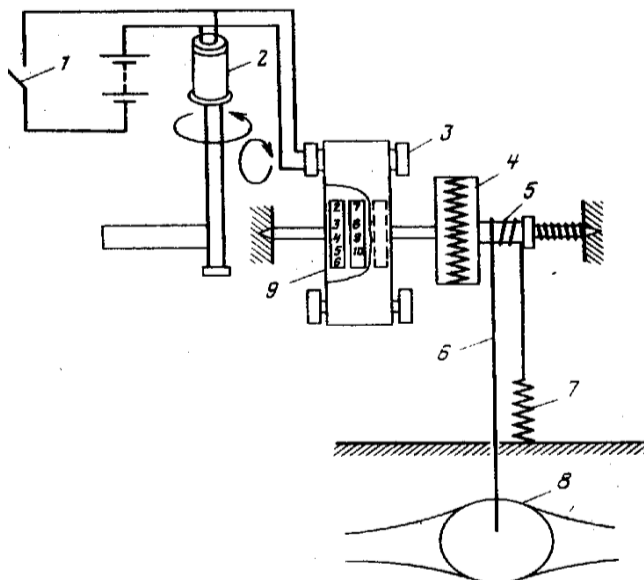


Рис. 3.5. Схема толкочера ТХК-2 конструкции Казахского филиала Союздорнии:

1 – кнопка включения электродвигателей; 2 и 3 – электродвигатели; 4 – храповая муфта; 5 – барабан; 6 – гибкий трос; 7 – натянутая пружина; 8 – задний мост автомобиля; 9 – счетный механизм

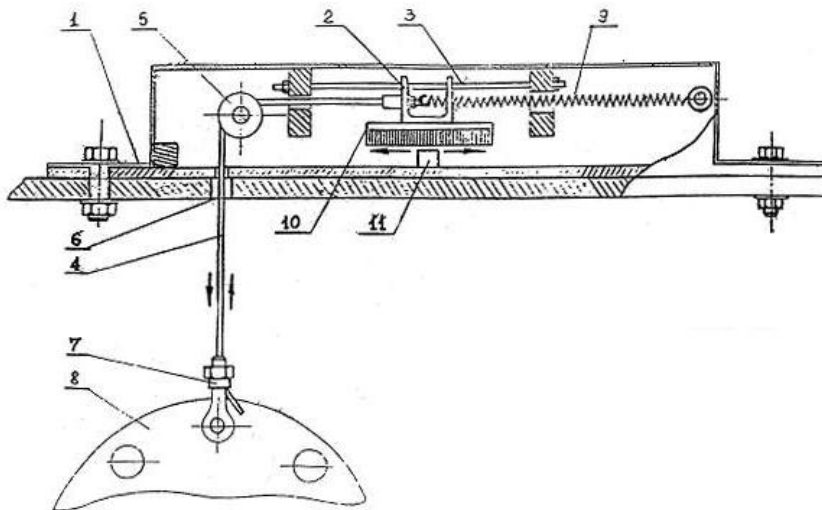


Рис. 3.6. Схема механической части толчкомера ИВП-1М:

1 – корпус; 2 – ползковый механизм; 3 – направляющие штанги; 4 – трос; 5 – направляющий ролик; 6 – отверстие в полу кузова автомобиля; 7 – зажимное устройство для закрепления троса; 8 – задний мост автомобиля; 9 – пружина; 10 – ходовая пластина; 11 – электронная оптопара

В динамометрическом приборе ПКРС-2У применяется метод определения суммарной величины перемещения измерительного колеса прицепа относительно инерционной массы его корпуса (рис. 3.7). Измерения выполняются при постоянной скорости 50 км/ч.



Рис. 3.7. Динамометрический прицеп ПКРС-2У

Другой трудностью при использовании толчкомеров было отсутствие стандартной шкалы неровности. Преодоление этого недостатка возможно путем приведения всех приборов к единому стандарту. Сначала отсутствие стандартной меры многими пользователями приборов измерения ровности не рассматривалось как серьезная проблема. Данные по ровности для магистралей города или сельской местности могли иметь произвольные единицы и значения, таким образом, базовые данные имели значение чисто внутреннего, индивидуального содержания. Однако имелась проблема повторяемости измерительных приборов. Так, только в Беларуси в настоящее время для измерения ровности дорожных покрытий применяются различные измерительные установки: ПКРС-2У, ТЭД-2М, ИВП-1М, а в России используется гораздо большее количество конструкций.

Измерительные системы с толчкомерами во многом зависят от различного рода случайностей, влияющих на качественные характеристики измерений. Даже в случае когда автомобили стандартизованы, различия между ними остаются, хотя следовало бы считать, что они идентичны. Что еще больше усложняет проблему, так это то, что качество автомобиля (нагрузка в кузове, давление в шинах, жесткость рессор, неровности шин) изменяется со временем.

Таким образом, измерительная система, оборудованная толчкомером, зависит от динамики транспортного средства и имеет два нежелательных эффекта:

1. Методы измерения ровности не являются стабильными во времени, т. е. измерения, выполненные на данный момент, не могут по

надежности сравниться с теми, которые были выполнены несколько лет тому назад.

2. Измерения ровности не переносимы, т. е. измерения, выполненные одним типом прибора, не репродуцируются на другой тип прибора при отсутствии ранее выполненной корреляции между ними.

Эти проблемы частично существуют из-за того, что дорожные измерители – это изобретения, предназначенные для того, чтобы быть недорогими, простыми и легкими в обращении.

К приборам, непосредственно измеряющим микропрофиль поверхности покрытия: относятся рейки, профилографы, профилометры, ультразвуковые эхолоты, лазерные измерители и др.

Под профилометром понимают прибор, позволяющий получать ряд значений относительных отметок по четко определенному направлению пути фактического дорожного профиля.

Работа профилометра включает определение трех величин: относительного уровня отметок, вертикального расположения отметок по отношению к данному уровню и продольного расстояния.

Для оценки качества по ровности сдаваемых в эксплуатацию дорог используются различные методы. Широкое распространение получили метод измерения просветов под рейкой и метод нивелирования.

3.2.1. Определение величины просветов под трехметровой рейкой и высотных отклонений с помощью нивелира и профилометра

Измерение проводят прикладывая рейку к поверхности на расстоянии 0,5–1,0 м от каждой кромки покрытия или края полосы движения. При каждом приложении рейки измеряют величину пяти просветов под рейкой в местах, соответствующих меткам на боковых гранях рейки. Общее число просветов принимают за 100 % и определяют число просветов под рейкой, превышающих максимально допустимую величину, и число просветов, меньших минимально допустимой величины.

Технические данные рейки:

- длина – 3000 ± 2 мм;
- шаг меток – 500 ± 2 мм;
- отклонение от прямолинейности – менее 10 мм;
- погрешность измерения прогиба $\pm 0,4$ мм.

Выполнение нивелирования осуществляется с шагом 5, 10 и 20 м с расчетом среднего высотного отклонения.

При измерении ровности данным методом нивелир и рейка должны отвечать нормативным требованиям. Опорный торец нивелирной рейки должен быть снабжен насадкой с полусферическим подпятником. Длина участка измерений – не менее 400 м. Места установки нивелирной рейки располагаются на одной линии, находящейся на расстоянии 0,5–1,0 м от кромки основания дороги. Измерения проводят, последовательно устанавливая нивелирную рейку на каждую из меток. По относительным отметкам точек поверхности в местах разметки отклонения Δh_i этих точек (кроме первой и последней на участке измерений) от прямой линии, проходящей через предыдущую ($i - 1$) и последующую ($i + 1$) точки, определяют по формуле

$$\Delta h_i = ((H_{i-1} + H_{i+1}) / 2) - H_i$$

где H_{i-1} и H_{i+1} – относительные отметки предыдущей и последующей точки.

По проценту вероятности значений просветов или высотных отклонений дается заключение о ровности участка дороги.

Данный метод позволяет измерять неровности в диапазоне более длинных волн – с длиной полуволны от 10 до 40 м.

За рубежом применяются аналогичные методы, а также используется высокоточное нивелирование с шагом 25 и 50 см. При этом применяют рейки, снабженные отвесом, уровнем и подпятником в виде диска диаметром 10 см, соединенного с рейкой через шарнир.

В некоторых зарубежных странах нашли распространение пятиметровые рейки. Величину просвета при этом определяют, как правило, в середине рейки. Рейки большей длины предпочтительнее для измерений неровностей при строительстве и содержании автомобильных дорог, так как позволяют точнее определять глубину впадин неровностей более длинных волн (рис. 3.8).

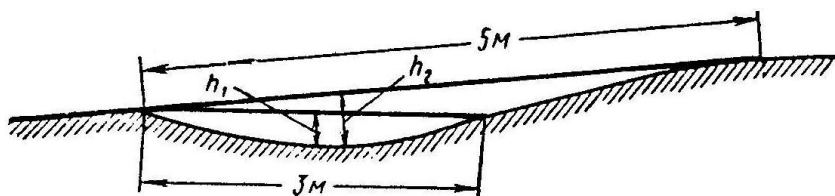


Рис. 3.8. Просвет под рейкой при разной ее длине

К высокоскоростным приборам, позволяющим непосредственно измерять микропрофиль поверхности покрытия, относятся профилографы и профилометры. Данные приборы монтируются на транспортное средство или буксируемый прицеп. Получаемая таким образом измерительная установка может оснащаться лазерными, оптическими, ультразвуковыми бесконтактными датчиками совместно с акселерометрами и гироскопами, а также датчиками, как правило, угловых перемещений и др.

Развитие профилометров на базе транспортного средства шло как в направлении совершенствования датчиков, определяющих расстояние между акселерометром, находящимся в транспортном средстве, и поверхностью покрытия, так и увеличения их количества для измерения параллельных продольных профилей.

К недостаткам оптических и ультразвуковых датчиков, как показывают исследования, можно отнести невысокую точность, более высокий разброс данных, более низкую скорость измерения по сравнению с лазерными датчиками, которые имеют более высокую стоимость.

В настоящее время высокоскоростные профилометры с бесконтактными системами находят все большее распространение во всем мире. К их числу в первую очередь следует отнести приборы, основанные на использовании лазерных систем.

3.2.2. Лазерный профилометр «Профилограф»

Профилограф представляет собой передвижную лабораторию для измерения профиля дорожного покрытия. Существует ряд конструкций профилографа. Профилограф разработан датской компанией «Гринвуд Инженеринг» для непрерывного обследования – за смену до 400 км одной полосы профильных характеристик (про-

дольной, поперечной ровности и геометрических параметров) и макротекстуры автомобильных дорог (рис. 3.9).

Лазерная установка смонтирована на микроавтобусе в виде поперечной балки, оснащенной 15 лазерами для измерения профилей (номера лазеров и расстояния от оси автомобиля в метрах, по которым производятся измерения: 1 – 1,65; 2 – 1,30; 3 – 1,10; 4 – 1,00; 5 – 0,75; 6 – 0,60; 7 – 0,30; 8 – 0,15; 9 – 0,30; 10 – 0,60; 11 – 0,75; 12 – 1,00; 13 – 1,10; 14 – 1,30; 15 – 1,65) и одним лазером для измерения макротекстуры (шероховатости) поверхности, устанавливаемого вдоль левой или правой полосы наката. Применяется метод измерения лазерами расстояния между балкой и поверхностью дороги (рис. 3.10): положение балки в пространстве определяется при помощи двух оптических гироскопов, динамика изменения местоположения балки (ускорения) измеряется тремя акселерометрами. Лаборатория оснащена индустриальным компьютером для записи, обработки и хранения результатов измерений. Измерение макротекстуры производится отдельно от профильных измерений.



Рис. 3.9. Профилограф

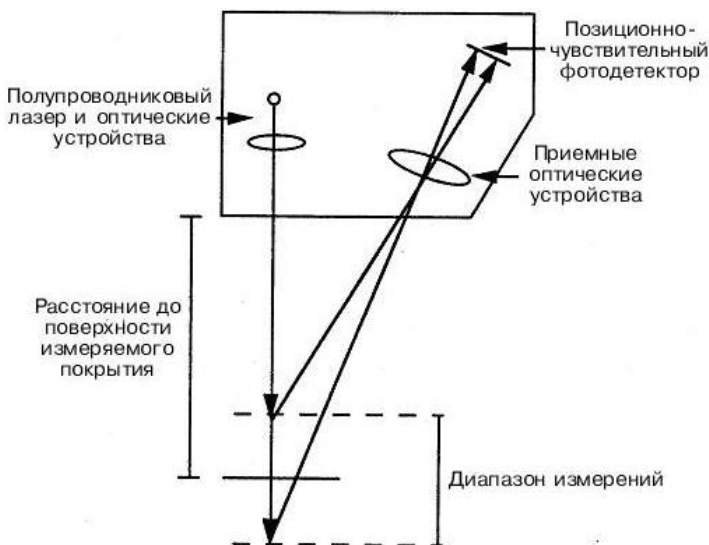


Рис. 3.10. Схема работы лазерного датчика профилографа

Основным измерительным органом при работе установки «Профилограф», являются лазерные датчики типа SELCOM SLS. При движении автомобиля луч света полупроводникового лазерного диода с частотой 16 кГц падает на поверхности покрытия. Детектор, установленный в корпусе датчика, определяет профиль поверхности покрытия, отличающийся от условного среднего, преобразуя в электрический сигнал, на основании которого электронные устройства могут вычислить фактическое расстояние до объекта измерения (см. рис. 3.10).

Конструкция лазерного датчика позволяют производить измерения по высоте от его нижней грани на среднее расстояние 300 мм в диапазоне ± 100 мм. Разрешение лазерных датчиков при измерении составляет 0,1 мм. Измерения, как правило, выполняются через каждые 10 см пути движения лаборатории. Все сигналы передаются в цифровой форме.

По результатам измерений на участок протяженностью 1, 10, 100, 1000 м вычисляются:

- вертикальные кривые;
- горизонтальные кривые;

- глубина левой и правой колеи;
- поперечный профиль по пятнадцати лазерам в условных от-метках;
- колеиность в процентах; максимальная глубина колеи более 5, 10, 20 м, средняя глубина колеи слева и справа, средняя глубина слева и справа более 5, 10, 15 и 20 мм;
- продольная ровность (международный индекс ровности – IRI) по любому лазеру или комбинации лазеров;
- длина волны продольного профиля в пределах 1,3–200 м;
- макротекстура по песчаному пятну и средняя глубина профиля макротекстуры.

Основные технические данные:

- ширина измерительной балки: в транспортном положении – 1,70 м; при измерении – 2,55 м;
- ширина измерений – 3,30 м;
- скорость движения при профильных измерениях – 5–120 км/ч (40–120 км/ч при измерении IRI);
- скорость движения при измерении макротекстуры – 40–70 км/ч (в зависимости от шага измерений);
- точность измерения ровности и продольного профиля – соответствует требованиям для устройств класса 1;
- точность измерения поперечного профиля – 1 мм/м (исключая наклонные лазеры).

Возрастающие требования к качеству автомобильных дорог в число важнейших выдвигают проблему ровности покрытия. Эта проблема будет решаться как путем совершенствования приборной базы, так и методом инструментальной оценки состояния дорог.

3.2.3. Лазерный профилометр «ЛазерПроф»

«ЛазерПроф» – оборудование для измерения профиля дорожного покрытия, разработанное датской компанией «Гринвуд Инженеринг», по принципу действия аналогичное установке «Профилограф», но оснащенное одним лазерным датчиком. Оборудование является съемным и быстро монтируемым, конструкция позволяет устанавливать его на любой автомобиль, оборудованный фаркопом (рис. 3.11).



а

б

Рис. 3.11. Оборудование «ЛазерПроф»:
а – установленное на автомобиле; *б* – упакованное для хранения

Лазер и акселерометр смонтированы в едином корпусе, устанавливаемом вдоль левой или правой полосы наката; датчик пути – съемный с магнитным креплением.

3.2.4. Лазерный профилометр ЛГС

В России ФГУП «СоюздорНИИ» разработан профилометр ЛГС (лазерно-гироскопическая система), позволяющий производить продольные и поперечные (до 2,4 м) измерения ровности (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Оборудование ЛГС, установленное на автомобиле

ЛГС оборудована шестью лазерами, двумя гироскопами и акселерометром и позволяет выполнять измерения со скоростью до 100 км/ч.

3.2.5. Профилометр А. А. Хачатурова

Профилометр, выполненный в виде конструкции буксируемого одноколесного прицепа, был разработан в МАДИ в 1961 году под руководством проф. А. А. Хачатурова. Корпус прибора выполнен в виде рамы с закрепленными на нем «медленным маятником» и измерительным колесом (рис. 3.13). Во время измерения неровностей на дорожном покрытии измеряется относительное перемещение маятника с записью на магнитную ленту.



Рис. 3.13. Профилометр А. А. Хачатурова в сцепке с автомобилем для измерений ровности по полосам наката

Получение неровностей профиля осуществляется косвенно, вначале прибором регистрируются электрические сигналы, а затем эти сигналы пересчитываются на вычислительном устройстве в неровности профиля. Данный прибор лег в основу разработки французского профилометра – анализатора продольного профиля APL.

3.2.6. Анализатор продольного профиля APL

Анализатор продольного профиля APL (рис. 3.14) – высокоскоростной профилометр, разработанный французской компанией «Вектра» для непрерывного обследования – до 400 км в смену – одной дорожной полосы.

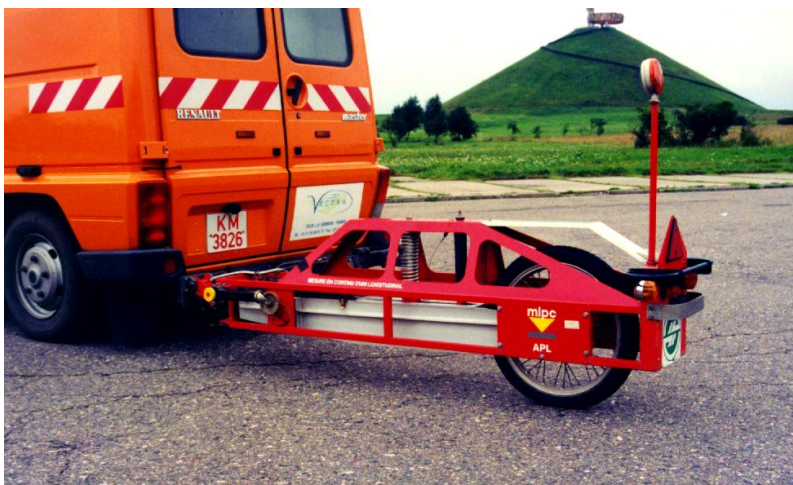


Рис. 3.14. Анализатор продольного профиля APL

APL состоит из специального буксируемого прицепа с одним колесом велосипедного типа, шасси с балластом и специального низкочастотного инерционного маятника, который служит в качестве псевдогоризонтального ориентира. Балансирующее шасси поддерживает колеблющуюся балку с закрепленным контактным датчиком на колесе, которое при помощи балласта системой демпфирования и пружинной подвески сохраняет постоянный контакт с дорожной одеждой. Шасси связано с транспортным средством универсальным прицепным устройством. Вертикальные перемещения колеса вычисляются через угловое перемещение балки, измеренное относительно кронштейна инерционного маятника, независимо от перемещений транспортного средства (рис. 3.15).

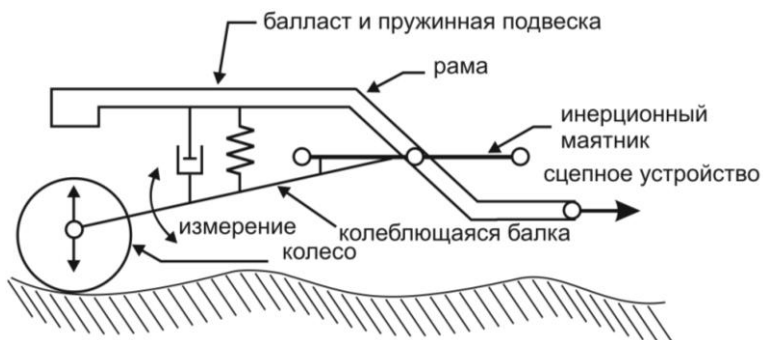


Рис. 3.15. Принципиальная схема анализатора продольного профиля АРЛ

Точность измерения ровности и продольного профиля соответствует требованиям для устройств класса 2. Точность измерения расстояния – 0,1 %.

На анализаторе продольного профиля АРЛ предусмотрена фиксация пройденного пути. Установка оснащена персональным компьютером типа NOTEBOOK для записи, обработки и хранения результатов измерений.

3.2.7. Методика определения ровности измерительной рейкой

Приборы и инструменты. Трехметровая или четырехметровая рейка с измерительным клином (рис. 3.16), рулетка.

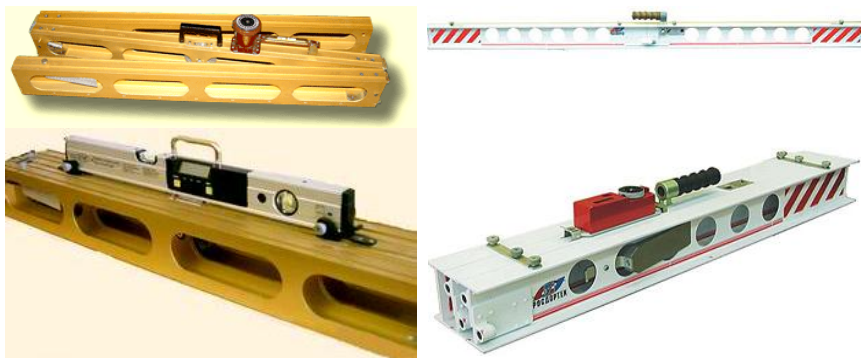


Рис. 3.16. Варианты трехметровых реек

На рейке нанесены метки с интервалом 0,5 м, клин в сечении имеет форму прямоугольного треугольника с соотношением катетов 1 : 10. Вдоль большого катета нанесена шкала с шагом 1 см, что дает возможность измерять просвет между рейкой и покрытием с точностью до 1 мм.

Корпус универсальной рейки представляет собой двухшарнирную складывающуюся либо неразрезную плоскую рамку, на боковой поверхности имеющую шкалу для измерения линейных величин в диапазоне от 0 до 300 см. Штрихи на шкале нанесены через 5 мм и оцифрованы с интервалом 10 см.

На верхней плоскости рейки расположена измерительная головка с цилиндрическим уровнем для измерения продольных и поперечных уклонов поверхности земляного полотна, слоев дорожной одежды и обочин. Измерительная головка имеет подвижный лимб с секторной (влево и вправо) оцифровкой делений двух симметричных шкал от 0 до 100 %. Отсчеты на лимбе считывают по острию неподвижной стрелки-указателя при положении пузырька уровня в нуль-пункте и отождествляют с величиной уклона. Направление ската (уклона) контролируемой поверхности определяют на основании визуальной оценки рельефа этой поверхности вдоль корпуса линейки. Имеются варианты рейки с электронно-цифровым исполнением лимба.

Для измерения заложения откосов насыпей и выемок используют эклиметр, рабочей мерой которого служит дисковый балансир. Ровность поверхности и толщину конструктивных слоев дорожной одежды измеряют с помощью измерительного клинового шаблона. Ручка используется для переноски прибора в транспортном и рабочем положениях.

Испытание. Рейка укладывается вдоль оси и следов наката обследуемой полосы движения в трех створах на каждом пикете. Просвет между рейкой и покрытием измеряется клином в точках, обозначенных на рейке метками (через 0,5 м от концов рейки и одна от другой).

Результаты измерений заносят в журнал (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Автомобильная дорога _____ тип покрытия _____
 Дата измерения _____ Ф.И.О. измеряющего _____

Место измерения					Количество просветов под рейкой, величина которых, мм					Примечание
км	ПК	№ створа	полоса движения	линия по полосе	менее 3	3–5	5–7	7–10	более 10	
20	3	1	Л-1	НП	1	3	1	–	–	
			Л-1	ОН	2	3	–	–	–	
			Л-1	НЛ	1	2	3	–	–	

Полосы движения нумеруются от кромки проезжей части к оси дороги, по ходу измерения (километража) полосы обозначаются буквой «П», а для противоположного направления – буквой «Л». В пределах полосы: НП – накат правый; НЛ – накат левый; ОН – ось наката.

Обработка результатов испытаний. Полученные в полевых условиях данные обрабатывают, как правило, по каждому километру отдельно. При этом определяют общее количество просветов данной величины, а также процентное их значение в общей совокупности просветов. На дороге с многополосной проезжей частью километровая обработка может вестись отдельно для каждой полосы. В итоге составляется таблица (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Результаты обработки материалов исследований

км	Общее количество просветов	Количество просветов под рейкой, величина которых, мм					Заключение о соответствии ровности покрытия
		менее 3	3–5	5–7	7–10	более 10	

Заключение. Оценка соответствия фактической ровности требованиям дается на основе нормативов. Учитывается, что на эксплуатируемых дорогах подавляющая часть просветов под трехметровой рейкой не должна превышать:

- 5 мм – на капитальных покрытиях;
- 7 мм – на облегченных;
- 15 мм – на переходных.

Число просветов, превышающих эти значения, не должно быть больше, чем указано в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Предельное число просветов (%),
превышающих допустимую величину

Тип дорожной одежды	Число просветов (%), превышающих допустимую величину, при интенсивности движения, авт./сут					
	Менее 500	500–1000	1000–3000	3000–5000	5000–7000	Более 7000
Капитальная	–	12	12–7	7–6	6	5
Облегченная	–	10	10–6	–	–	–
Переходная	5	–	–	–	–	–

3.2.8. Метод высокоточного нивелирования

Для оценки ровности состояния покрытия проезжей части дорог по международному индексу ровности (IRI) применяют различные устройства по классам точности согласно Техническому документу № 46 Мирового банка.

К 1-му классу точности относится высокоточное нивелирование и измерение лазерным профилографом. Ко 2-му классу точности относится высокоточное нивелирование и измерения анализатором продольного профиля APL-72. При измерениях классов точности 1 и 2 IRI можно получить только по продольному профилю автомобильной дороги. Требования по точности профилометрических измерений IRI приведены в табл. 3.4.

Требования по точности профилометрических измерений IRI

Диапазон ровности IRI	Максимальный интервал между точками измерений, мм		Точность измерения отсчетов по нивелирной рейке, мм	
	Класс 1	Класс 2	Класс 1	Класс 2
1,0–3,0	250	500	0,5	1,0
3,0–5,0	250	500	1,0	1,5
5,0–7,0	250	500	1,5	2,5
7,0–10	250	500	2,0	4,0
10–20	250	500	3,0	6,0

К 3-му классу точности относятся измерения установкой ПКРС-2У и всеми видами толчкомеров (ИВП-1, ТЭД-2М и др.). Измерения по 3-му классу точности не используют измерения продольного профиля покрытия, и оценка IRI осуществляется по корреляционным зависимостям с оборудованием класса 1 или 2.

Измерение трехметровой рейкой не относится ни к одному из классов точности, и определение корреляционной зависимости с оборудованием класса 1 или 2 не выполняется.

Для измерения профиля и последующего вычисления IRI при помощи нивелирования используются высокоточный нивелир, рейка с уровнем, металлическая измерительная лента. Нивелирная рейка должна иметь опорную часть диаметром 10 см и соединяться с рейкой шарниром (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Маркировка и нивелирование участка исследования

При измерениях металлическая лента укладывается на размеченную полосу наката и производится маркировка мест для последующей установки рейки с требуемым шагом.

После получения результатов измерений данные вводятся в компьютер для дальнейшей обработки.

3.2.9. Методика определения ровности посредством нивелира и нивелирной рейки

Приборы и инструменты. Нивелир и рейка должны быть технически исправны, поверены и отвечать требованиям стандартов. Опорный торец нивелирной рейки необходимо снабжать насадкой с полусферическим подпятником.

Испытание. Длина участка измерений должна быть не менее 400 м. Места установки нивелирной рейки располагаются на одной линии, находящейся на расстоянии 0,5–1,0 м от кромки основания (покрытия) дороги или на оси основания (покрытия) аэродрома и обозначаются метками. Шаг меток $5 \pm 0,2$ м. Измерения следует проводить последовательно, устанавливая нивелирную рейку на каждую из меток.

Обработка результатов испытаний. По данным нивелирования вычисляют относительные отметки h точек поверхности покрытия или основания дороги в местах разметки.

По относительным отметкам точек поверхности в местах разметки отклонения δh этих точек (кроме первой и последней на участке измерений) от прямой линии, проходящей через предыдущую h_{i-1} и последующую h_{i+1} точки (рис. 3.18), определяют по формуле

$$\delta h = \left(\frac{h + h}{2} - h \right),$$

где h_{i-1} и h_{i+1} – относительные отметки предыдущей и последующей точек.

Общее число полученных величин Δh следует принять за 100 % и с точностью до 0,1 % вычислить число величин Δh_i , меньших установленных нормативными требованиями. Следует также найти наибольшую величину Δh_i .

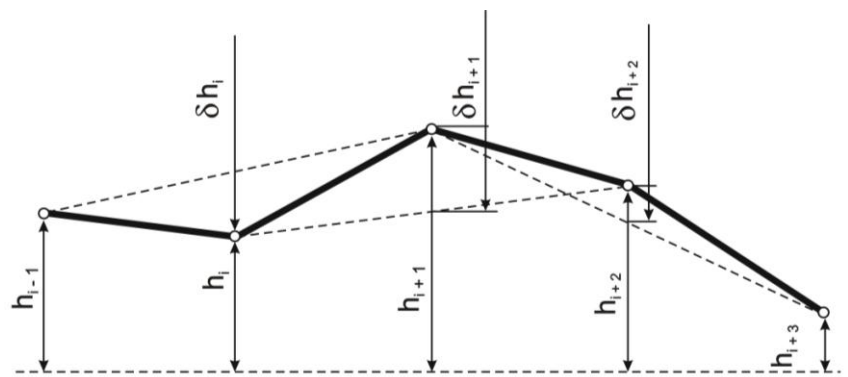


Рис. 3.18. Схема определения высотного отклонения при определении ровности измерения посредством нивелира и нивелирной рейки

При обработке данных измерений, проведенных на участках кривых в продольном профиле дороги, величину Δh , следует рассчитывать с учетом поправки. Значения поправок даны в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Поправки к результатам измерений просветов под рейкой на участках вертикальных кривых

Радиус выпуклой кривой, м	Величина поправки, мм, на расстоянии от торца рейки, м		
	0,0	0,5	1,0
1000	1,1	0,8	0,4
600	1,9	1,3	0,6
400	2,8	1,9	0,9
300	3,8	2,5	1,2
200	5,6	3,8	1,9
Радиус вогнутой кривой, м	Величина поправки, мм, на расстоянии от торца рейки, м		
	0,5	1,0	1,5
1000	0,4	0,8	1,1
600	0,6	1,3	1,9
400	0,9	1,9	2,8
300	1,3	2,5	3,8
200	1,9	3,8	5,6

Использование данных многолетних наблюдений по ровности для сети дорог позволяет прогнозировать изменение транспортно-эксплуатационного состояния дорог. Следовательно, измерения ровности на значительной части дорожной сети должны производиться ежегодно. Современные системы сбора данных и компьютеры позволяют обрабатывать и хранить большое количество измеренных данных. Немаловажным является и то, что измерения ровности можно выполнять со скоростью транспортного потока без нарушения его установившегося режима, которое ранее могло быть вызвано движением измерительной установки с малой или постоянной скоростью измерения.

3.3. Расчетные показатели ровности

Потребность в измерении ровности привела к появлению на рынке многочисленных приборов – от простейших устройств до достаточно сложных систем. Несмотря на то, что измерительные системы с ответной реакцией нашли широкое распространение в мире начиная еще с 40-х годов прошлого века, возникли сложности в получении сопоставимых данных для различных измерительных приборов и транспортных средств, на которых они устанавливались. Потребность в сопоставлении и калибровке различных приборов привела к проведению Международного эксперимента по ровности дорог (IRRE) в Бразилии в 1982 году.

Данный эксперимент проводился с целью установки корреляции и стандарта калибровки для измерения ровности. При обработке данных стало ясно, что почти все измерительные приборы по измерению ровности, используемые во всем мире, были приспособлены для проведения измерений в ранее определенном едином масштабе. Были опробованы различные методы и принято решение перехода к единой универсальной шкале ровности – *Международному индексу ровности (IRI)*.

Для калибровки различных измерительных систем с ответной реакцией была определена виртуальная эталонная система с возможностью выполнения расчетов на вычислительном устройстве. Математическая модель транспортного средства и дорожного измерительного прибора позволяет получить индекс, выраженный в единицах «м/км», как математическую функцию продольного профиля (рис. 3.19).

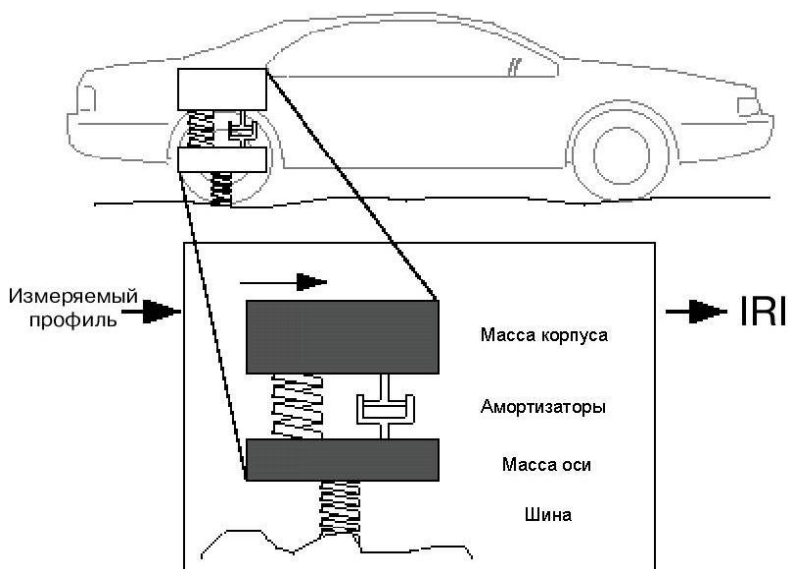


Рис. 3.19. Математическая модель Международного индекса ровности IRI

IRI – первый, наиболее широко используемый индекс профиля, по значениям которого выполняют анализ различных дорожных профилей. Ввиду того, что IRI определяется как качество истинного профиля, результаты измерений в IRI можно сравнивать с измерениями, выполненными на других профилях.

Математическая модель IRI получила наименование «четверти автомобиля». Модель четверти автомобиля была разработана для того, чтобы получить максимальную корреляцию с системами измерения ровности дорог, и является их теоретическим представлением.

По результатам исследований бразильского эксперимента были определены параметры эталонной математической системы четверти автомобиля, получившей название «золотой автомобиль». Такое название было дано ввиду того, что система существовала только виртуально и была необходима для выполнения расчетов в качестве единого эталона для калибровки любых систем измерения ровности.

IRI основывается на моделировании обратной реакции транспортного средства, движущегося со скоростью 80 км/ч, на имеющиеся на проезжей части неровности. Данное моделирование является эта-

лонным средним скорректированным уклоном, который выражается отношением суммарного движения подвески транспортного средства к расстоянию, преодоленному за время измерений. Результаты измерений выражаются в м/км.

В методику расчета IRI заложена модель четверти автомобиля («золотой автомобиль»), включающая в себя: пневмошину, представленную вертикальной пружиной; массу оси подвески, которая служит упором пневмошины; подвеску, представленную рессорой и амортизатором, а также массу части корпуса.

Параметрами «золотого автомобиля» (рис. 3.20) являются пять констант: V , K_1 , K_2 , C и μ со значениями $V = 80$ км/ч; $K_1 = 653$; $K_2 = 62,3$; $C = 6,0$ и $\mu = 0,15$, которые определяются следующим образом:

$$K_1 = k_t / m_s,$$

$$K_2 = k_s / m_s,$$

$$C = c_s / m_s,$$

$$\mu = m_u / m_s,$$

где k_t – коэффициент жесткости пневматической шины колеса;

m_s – подрессорная масса автомобиля;

k_s – коэффициент жесткости рессоры подвески автомобиля;

c_s – коэффициент сопротивления амортизатора подвески автомобиля;

m_u – неподдрессорная масса автомобиля.

Другие параметры для расчета IRI: $L_0 = 11$ м, $B = 0,25$ м, где L_0 – начальная исходная длина пути (при $t = 0,5$ с и $v = 80$ км/ч); B – движущаяся средняя базовая длина.

Индекс IRI характеризует неровности продольного профиля, вызывающие колебания транспортного средства. Ответная реакция IRI к длинам волн на дорожном покрытии имеет большое сходство с фактической ответной реакцией транспортного средства, вызванной автомобильной дорогой. И хотя индекс IRI разрабатывался главным образом для моделирования ответной реакции большинства легковых автомобилей, последующие исследования показали, что он также хорошо коррелируется с легкими и тяжелыми грузовиками.

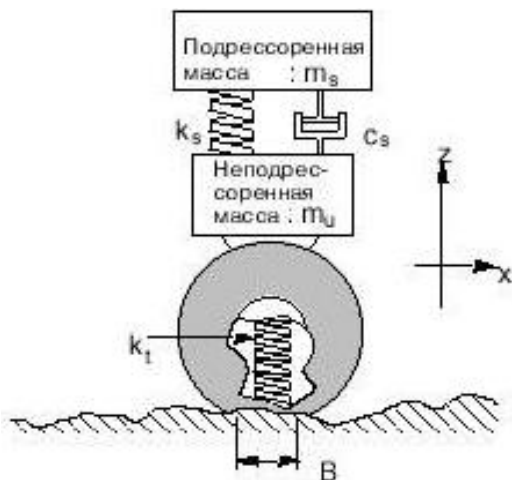


Рис. 3.20. Модель четверти автомобиля («золотой автомобиль»)

Наибольшая чувствительность индекса IRI относится к длинам волн в интервале от 1,2 до 30,5 м.

Величина значений IRI линейно пропорциональна неровностям на дорожном покрытии. Это означает, что если все значения в измеряемом профиле увеличиваются на некоторый процент, то значения IRI увеличатся на точно такой же процент. При $IRI = 0,0$ профиль дорожного покрытия представляет собой абсолютно совершенную линию на плоскости поверхности. Теоретически не существует предела неровной поверхности покрытия. Даже если значение IRI более 10 м/км, можно только говорить о снижении скорости на данном покрытии.

Индекс IRI стал первым репродуцируемым индексом ровности устойчивым во времени.

Индекс IRI является индикатором общего состояния дорожного покрытия и суммирует дорожные неровности, влияющие на воздействие транспортных средств, т. е. на их транспортные издержки, удобство езды и общее состояние поверхности дорожного покрытия. На графике (рис. 3.21) представлены значения IRI для различных видов дорог.

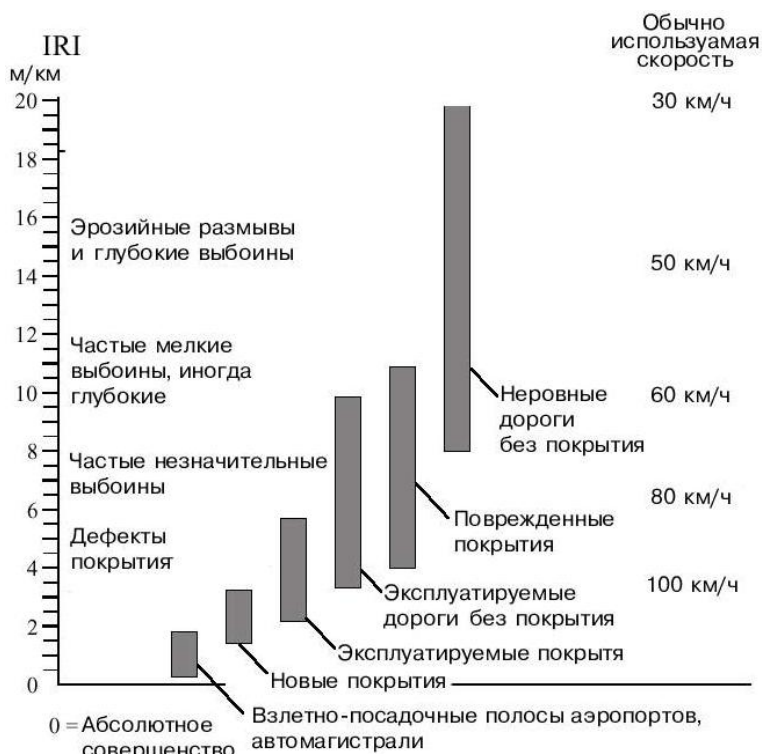


Рис. 3.21. График значений IRI для различных видов дорог

Для дорог, сдаваемых в эксплуатацию, требуемые значения ровности приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Требуемые значения ровности построенных и отремонтированных дорог

Категория автомобильной дороги	Значение ровности по IRI, отнесенное к участку протяженностью 100 м, мм/м	
	Новое строительство	Реконструкция и капитальный ремонт
I	1,5	–
II, III	2,0	–
I, II, III	–	2,0
IV, V, VI	2,5	2,5

Построенная или отремонтированная автомобильная дорога рассчитана на длительный срок эксплуатации.

Очевидно, что с учетом постепенного ухудшения ровности под воздействием транспортных нагрузок и природно-климатических факторов первоначальная ровность покрытия должна быть достаточно хорошей, чтобы к концу срока службы не превысить предельных (плохих) значений.

В различных странах этот показатель неодинаков. Его величина в первую очередь зависит от технологических возможностей строительной организации и отражает уровень общей культуры производства. Так, в Финляндии для автомагистрали он составляет 1,4 м/км, государственных и национальных дорог – 1,6 м/км, прочих – 1,8 м/км; в Литве для дорог со скоростью более 100 км/ч – 2 м/км, менее 100 км/ч – 3 м/км. Согласно рекомендациям Мирового банка показатель должен находиться на уровне 2,3 м/км.

Для оценки ровности дорожных покрытий и эксплуатационных качеств в мировой практике применялись и другие индексы.

3.4. Анализ проектных решений с применением показателя ровности

Повышенное внимание к обеспечению ровности дорог привело к необходимости оценки качества проектных решений. В результате исследований было установлено, что проектная линия влияет на достигаемую при строительстве ровность.

Нормативные требования к линии продольного профиля, заложенные в нормативах, применявшихся ранее, позволяли выполнять проектирование с использованием прямых разного уклона и переломов, однако длина прямых не нормировалась.

По нормам СНиП (в основу которого легли исследования 60-х годов прошлого столетия) переломы прямых в продольном профиле допускались при алгебраической разности уклонов для дорог I и II категорий до 5 %, для дорог III категории – до 10 %, и для дорог IV, V категорий – до 20 %. Длина кривых в продольном профиле нормировалась для выпуклых кривых не менее 300 м и для вогнутых кривых – не менее 100 м.

Существовавшие методы и нормы проектирования неявно предполагали, что автомобильная дорога, запроектированная по строи-

тельным нормам, изначально должна иметь ровную поверхность покрытия. Однако запроектированный продольный профиль в случае ремонта дороги с достижением строительных норм приведет к значительным по толщине выравнивающим слоям либо вовсе к перестройке продольного профиля дороги. Как следствие, при ремонтах необходимо запроектировать продольный профиль, максимально приближенный к существующему покрытию. В распоряжении проектировщиков в настоящее время имеются различные программно-компьютерные комплексы, оснащенные математическим аппаратом, позволяющим проектировать линию профиля как прямыми с переломами уклонов, так и кривыми переменного радиуса (сплайнами), позволяющими вписать плавную кривую, проходящую через любые заданные контрольные точки на продольном профиле.

Данный метод является особенно удобным при проектировании ремонта дорог, когда необходимо пройти профиль «по обертывающей». При таком проектировании почти всегда удастся запроектировать профиль так, чтобы соблюсти требования нормативов при новом строительстве. Однако проектирование ремонта продольного профиля вертикальными кривыми, соответствующими нормативным требованиям, практически никогда не позволяло сохранить существующий продольный профиль. Из этого положения проектировщики выходили следующим образом. Для сохранения существующего продольного профиля проектирование выполнялось короткими отрезками прямых, порядка 20 м, с предельными переломами уклонов.

Нормирование длины элементов прямых в продольном профиле ведет к тем же проблемам – невозможности сохранения существующего продольного профиля при ремонте автомобильной дороги без его переустройства.

Однако в этом случае часто возникает другая серьезная проблема, которая раньше не принималась во внимание. Тогда эксплуатационная ровность покрытия не нормировалась. В настоящее время в мировой практике данному качеству уделяется повышенное внимание. Речь идет об обеспечении ровности по шкале Международного индекса ровности |RI|. Как известно, в последние годы требования к ровности покрытия стали достаточно серьезными и инвестор уделяет их обеспечению особое внимание. В то же время исходная ровность ремонтируемого покрытия в большинстве случаев является

неудовлетворительной, а профиль, запроектированный с использованием переломов прямых линий и кривых, не всегда обеспечивает требуемую ровность проекта, не говоря уже о его реализации.

Для оценки проектного решения продольного профиля по условию комфортного движения (IRI) встает вопрос как об оценке существующих предельных норм проектирования в целом, так и об оценке каждого проектного решения продольного профиля в частности.

Установленное явление влияния структуры продольного профиля на колебания автомобиля позволило разработать принципиально новый метод оценки запроектированного продольного профиля с позиции эксплуатационной ровности.

Суть метода заключается в том, что уже на стадии проектирования продольного профиля дороги его ровность может быть оценена по шкале IRI. При исследовании ровности автомобильных дорог необходимо учитывать не только дефекты ровности, но и геометрические характеристики продольного профиля. Более того, на стадии проектирования новых автомобильных дорог, а также при капитальном ремонте и реконструкции существующих дорог можно прогнозировать ровность и при необходимости вводить коррективы в назначение проектных отметок и геометрической структуры продольного профиля в целом.

Анализ переломов проектной линии 5, 10 и 20 % с восходящими и нисходящими уклонами, выполненный канд. техн. наук И. В. Нестеровичем, показал наличие скачка значений IRI после перелома продольного профиля. При этих переломах проектной линии IRI возрастает с нулевого значения до 1,85, 3,69 и 7,38 м/км. Причем эти показатели не зависят от того, был ли перелом на восходящих или нисходящих уклонах. График изменения индекса ровности приведен на рис. 3.22.

Как видно из рис. 3.22, определяющую роль играют значения переломов уклонов продольного профиля. Максимальное воздействие переломы оказывают в начальный период заезда автомобиля на новый участок, имеющий другой уклон. Чем больше перелом, тем более длителен процесс затухания. В случае попеременного изменения уклона на коротких участках ситуация по ровности покрытия только усугубляется.

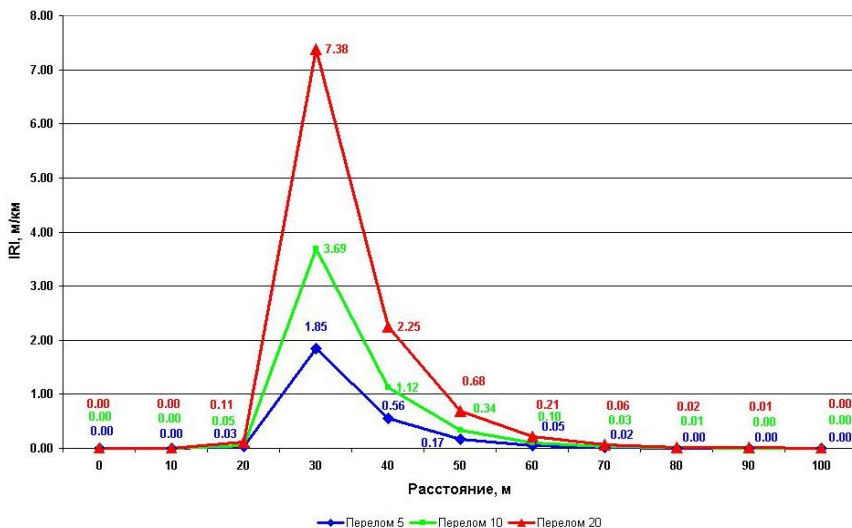


Рис. 3.22. График изменения индекса IRI при преодолении перелома уклонов продольного профиля

Вертикальные кривые являются «абсолютно гладкими» по ровности в теоретическом плане. Однако в настоящее время вынос отметок продольного профиля на дорогу осуществляется элементами отрезков различной длины (5, 10, 20 м) в зависимости от применяемой технологии строительства автомобильной дороги и дорожной одежды. Следовательно, на дороге мы имеем ломаные линии, вписанные в запроектированные кривые, вызывающие те же проблемы, что и переломы уклонов продольного профиля.

Таким образом, проектирование продольного профиля следует проводить в тесной связи с технологией устройства дорожной одежды, которую проектировщик должен рекомендовать для последующей реализации в процессе строительства. Необходимо выполнять оценку проектного решения продольного профиля по индексу IRI, чтобы получить уверенность в обеспечении плавности запроектированного продольного профиля. Особенно важно это выполнять, когда проектирование продольного профиля производится сплайнами (кривыми с переменным радиусом), способными изменять вогнутость и выпуклость кривых на относительно коротком участке.

3.5. Оценка колеиности на покрытии

Оценку колеиности на покрытии осуществляют по участкам длиной 100 м или 1 км. Уровень колеиности устанавливают по ее глубине:

- 1-й уровень – глубина колеи до 1,5 см;
- 2-й уровень – глубина колеи от 1,5 до 3,0 см;
- 3-й уровень – глубина колеи более 3,0 см.

Измерения колеи выполняют ручным и инструментальным способами.

Колею измеряют по каждой полосе движения отдельно в прямом и обратном направлении.

При ручном способе измерений на гребне колеи в полосе наката укладывается рейка с рекомендуемой длиной 2 м. В настоящее время широкое распространение получили двухметровые рейки конструкции Росдортех (г. Саратов, Россия). Они оснащены механическим отсчитывающим устройством (включая измерительный шток) с точностью взятия отсчёта 0,5 мм. Основной фиксируемый параметр – глубина колеи. Рейка оцифрована, что позволяет определять размер колеи по ширине (рис. 3.23).



Рис. 3.23. Рейка для измерения параметров колеи

Глубиной колеи считается максимальный просвет под рейкой, измеренный в миллиметрах. Частота измерений при ручном способе должна составлять не менее одного измерения на каждые 10 м длины участка дороги. Расчет колеи на участке 100 м и 1 км осуществляют путем нахождения среднего из измеренных значений на участках длиной 10 м.

При инструментальном способе измерения колеиности могут использоваться методы измерения с частотой измерения глубины колеи не менее 1 м. Расчет колеи на участке 100 м и 1 км осуществляют путем нахождения среднего из измеренных значений.

Известные приборы для измерения параметров ровности в поперечном направлении основаны на регистрации ее геометрических характеристик. Некоторые виды этих параметров определяют прямым измерением. Это ширина колеи, глубина колеи (просвет под рейкой, уложенной на выпоры), протяжённость характерного участка с колеёй и др. Другие виды этих параметров – промежуточные, для расчёта характеристик, установить которые непосредственным измерением невозможно (площадь воды в колее, общая глубина колеи относительно гребня выпора и др.). В целом получившее распространение в мировой практике оборудование для измерения ровности в поперечном направлении можно классифицировать по следующим признакам.

1. По принципу действия:

- ручное (рейки различных конструкций и геодезические приборы);
- автоматизированное (рейки на передвижной базе, например автомобиле, оснащенные определенным количеством опорных элементов или датчиков (рис. 3.24); преобразователи профиля, в том числе оптоэлектронные и лазерные преобразователи (рис. 3.25)).



Рис. 3.24. Механический измеритель колеи



Рис. 3.25. Ультразвуковая установка TUS для измерения глубины колеи

2. По полноте получаемой информации:

– дискретного считывания (измерения выполняют в намеченных точках);

– сплошного считывания (например, прокатыванием измерительного колеса по профилю).

3. По количеству измеряемых параметров:

– для измерения какого-то одного параметра;

– измерения нескольких или всех требуемых параметров.

Эффективная область применения прибора для измерения колеи зависит от объема работ (протяженности участков, частоты считывания параметров), конечной цели выполнения работ (экспресс-оценки, предварительной оценки, детальной оценки, оценки с целью назначения ремонтных мероприятий) и времени, отведенного на работы.

Анализ режимов движения автомобильного транспорта на разных элементах плана и продольного профиля позволяет выделить геометрические параметры колеи, которые оказывают определяющее влияние на скорость и безопасность дорожного движения:

– общая глубина колеи относительно правого выпора – параметр колеи, определяемый расстоянием по вертикали от дна колеи до гребня правого выпора колеи;

– общая глубина колеи относительно левого выпора – параметр колеи, определяемый расстоянием по вертикали от дна колеи до гребня ее левого выпора.

В мировой практике нормируемыми параметрами являются глубина колеи (средняя глубина колеи) и глубина воды в колее. Основным из этих параметров считают глубину колеи. Исследования показывают, что указанный параметр недостаточно полно отражает влияние колеи на эксплуатационное состояние.

Наличие колеи на поверхности покрытия оказывает существенное влияние на режим движения автотранспортного средства. Можно выделить следующие основные факторы, связанные с нарушением ровности в поперечном направлении и ухудшающие условия нахождения автомобилей на дороге:

– снижение сцепных качеств покрытия и появление опасности глассирования при достаточно высокой скорости движения;

– повышение опасности для движения из-за потери динамической устойчивости и управляемости транспортным средством при маневрах;

– сужение чистой укрепленной поверхности дороги, предназначенной для движения и маневра, при выпадении осадков и некачественной очистке поверхности проезжей части от загрязнений, снега и льда.

Все перечисленные факторы способствуют снижению скорости и безопасности движения.

Опасность эффекта глассирования обусловлена наличием на поверхности дороги воды при необеспеченности поверхностного стока. Наличие колеи представляет собой препятствие для отвода воды, аккумулирует и определяет ее максимально возможную толщину на покрытии.

Наличие колеи на дороге не сказывается на возможности бокового опрокидывания при движении на повороте, если водитель не пытается вывести автомобиль из колеи. Вероятность потери управляемости транспортным средством возникает при обгоне (на повороте или прямолинейном участке).

При смене полосы движения или обгоне сначала на передних колесах, а затем – на задних возникают вертикальная и боковая динамические нагрузки, причем тем большие, чем с большей скоростью движется автомобиль и чем на больший угол водитель поворачивает рулевое колесо. Кроме того, величина динамических нагрузок зависит от профиля дороги под колесами, характеристик подвески и других сложнучитываемых факторов. При выезде из колеи колесо сначала движется по вогнутой кривой, а затем, выезжая на гребень, – по выпуклой.

Потенциальная опасность для движения автомобиля, вызванная образованием на проезжей части свободной водной пленки (слоя воды), заключается в возможности появления эффекта глиссирования (аквапланирования), когда происходит отрыв колеса от поверхности покрытия, что приводит к частичной или полной потере управляемости.

Нарушение ровности проезжей части в поперечном направлении приводит к снижению обеспеченности ливневого и талого стока в зоне образовавшейся колеи. На горизонтальных участках сток в зоне колеи может отсутствовать до полного ее наполнения, т. е. пока толщина жидких образований не сравняется с общей глубиной колеи.

4. ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Одной из важнейших характеристик технического и эксплуатационного состояния автомобильных дорог является прочность дорожных одежд. Она определяется принятой конструкцией земляного полотна и материалами, которые использованы для ее устройства. Требуемая прочность зависит от величины внешних транспортных нагрузок, интенсивности движения транспортных потоков и планируемого срока службы до капитального ремонта или реконструкции. Фактическая прочность варьирует в течение года под влиянием водно-теплового режима местности, солнечной радиации и других климатических факторов. Со временем, в силу старения материалов и износа верхнего слоя покрытия, фактическая прочность также уменьшается.

Дорожные одежды подразделяются на нежесткие и жесткие. Критериями прочности нежестких дорожных одежд являются:

относительная вертикальная деформация, при которой начинается и развивается нарушение монолитности и ровности покрытия;

предел прочности на растяжение при изгибе монолитных конструктивных слоев;

напряжение сдвига в грунте земляного полотна или в слоях дорожной одежды из слабосвязанных зернистых материалов (песок, гравий, щебень).

Оценка прочности дорожной одежды в процессе эксплуатации дороги производится по коэффициенту прочности K_n , равному отношению фактического модуля упругости E_ϕ к требуемому $E_{тр}$, т. е. по формуле

$$K_n = E_\phi / E_{тр}.$$

Требуемый коэффициент прочности дорожной одежды следует принимать в зависимости от категории дороги и капитальности дорожной одежды согласно табл. 4.1.

Таблица 4.1

Коэффициент прочности дорожных одежд

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Требуемый коэффициент прочности $K_{пр}$
Капитальный	I, II	1,00
	III	0,94
Облегченный	III, IV	0,80
Переходный, низший	IV, V	0,60

Если прочность не обеспечена, то требуется ремонт покрытия и усиление дорожной одежды.

4.1. Требуемая прочность дорожной конструкции

Общая конструкция дорожной одежды обычно принимается конструктивно. Далее ведется ее расчет.

Конструкция в целом удовлетворяет требованиям прочности и надежности по величине упругого прогиба при условии

$$E_{об} > E_{мин} K_{пр}^{тр},$$

где $E_{об}$ – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;

$E_{мин}$ – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;

$K_{пр}^{тр}$ – требуемый коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимается в зависимости от требуемого коэффициента надежности.

$$E_{тр} = 98,65(\lg \sum N_p - c),$$

где $\sum N_p$ – суммарное количество расчетных автомобилей на одну полосу за срок службы;

c – эмпирический коэффициент, принимаемый для расчетной нагрузки на ось 100 кН равным 3,55, 110 кН – 3,25, 115 кН – 3,23, 130 кН – 3,05.

Расчетное суммарное количество приложений расчетной нагрузки к дорожной конструкции за весь срок службы определяется по формуле

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n,$$

где N_p – приведенная интенсивность воздействия нагрузки на последний год срока службы, авт./сут;

$T_{\text{рдг}}$ – расчетное число дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции (дорожно-климатический район южный, неустойчиво-влажный $T_{\text{рдг}} = 130$);

k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого (значение коэффициента k_n для II категории дороги капитального типа дорожной одежды равно 1,49);

K_c – коэффициент суммирования, определяемый по формуле

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}, \quad (4.1)$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам;

$T_{\text{сл}}$ – расчетный срок службы дорожной одежды.

Растяжение при изгибе (из асфальтобетона, дегтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими, и др.) и растяжение, возникающее под действием повторных кратковременных нагрузок, не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин, т. е. должно быть обеспечено условие

$$K_{\text{пр}} \leq R_n / \sigma_r,$$

где $K_{\text{пр}}$ – требуемый коэффициент прочности с учетом заданного уровня надежности (принимается по таблице);

R_n – предельно допустимое растягивающее напряжение материала слоя с учетом усталостных явлений, МПа;

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое расчетом, МПа.

Толщины дренажного слоя и толщины стабильных слоев дорожной одежды определяются из условия морозоустойчивости.

Требуемые модули упругости для расчетной нагрузки группы А и группы Б вычисляются по формулам

$$E_A = 125 + 67(\lg N_A - 1);$$

$$E_B = 62 + 72(\lg N_B - 1),$$

где $N_{A(B)}$ – приведенное к расчетному количество автомобилей, проходящих на одну полосу, авт./сут.

За расчетный принимается двухосный автомобиль, имеющий нагрузку на заднюю ось 100 кН и удельное давление 0,6 МПа (нормированная нагрузка группы А). Поскольку большинство транспортных средств имеет иные нагрузки на оси, чем нормированная нагрузка группы А, необходимо определить эквивалент (коэффициент приведения) их расчетной нагрузки. Приведение осевых нагрузок к расчетной нагрузке выполняют по формуле

$$S_i = 10^{n_i} \cdot K,$$

где K – коэффициент, учитывающий давление в шинах (табл. 4.2);

$$n_i = \beta \left(1 - \sqrt{\frac{Q_p}{Q_i}} \right), \quad (4.2)$$

где β – показатель, учитывающий капитальность дорожной одежды (для капитального типа $\beta = 3,359$, облегченного $\beta = 2,306$, переходного $\beta = 1,421$);

Q_p – нагрузка на ось расчетного автомобиля, кН;

Q_i – максимальная, из нескольких осей тележки, нагрузка i -го автомобиля с учетом влияния сближенных осей или нагрузка на заднюю ось двухосного автомобиля, кН.

Таблица 4.2

Значение коэффициента K в зависимости от давления в шинах

Давление в шинах, МПа	Коэффициент K	Давление в шинах, МПа	Коэффициент K
0,4	0,82	1,0	1,30
0,5	0,92	1,1	1,37
0,6	1,00	1,2	1,42
0,7	1,09	1,3	1,48
0,8	1,16	1,4	1,54
0,9	1,23	1,5	1,59

Для определения максимальной осевой нагрузки тележки Q , с учетом влияния сближенных осей вводятся коэффициенты в соответствии с табл. 4.3, после чего просчитывается каждая ось тележки.

Таблица 4.3

Значение коэффициента для определения максимальной осевой нагрузки с учетом влияния сближенных осей

Расстояние между осями, м	Тип покрытия	
	капитальный и усовершенствованный	переходный
0,5	1,80	1,52
1,0	1,43	1,26
1,5	1,24	1,09
2,0	1,13	1,03
2,5	1,08	1,01
3,0	1,00	1,00

Если расстояние между осями одного транспортного средства более 3 м, проезд каждой оси рассматривают как проезд двухосного автомобиля с нагрузкой на заднюю ось, равной нагрузке, приходящейся на рассматриваемую ось транспортного средства. Приведение транспортного средства к нормированной нагрузке группы А в данном случае осуществляется суммированием коэффициентов приведения, определяемых по формуле (4.1).

По этой же формуле выполняют приведение транспортных средств к любой другой расчетной нагрузке, отличной от нагрузки группы А.

В этом случае в формуле (4.2) принимается та расчетная нагрузка Q_p , к которой необходимо привести другие транспортные средства.

4.2. Допустимые нагрузки на дорожную одежду

Допустимую нагрузку на дорожную одежду определяют для различных периодов эксплуатации дороги в течение года. Для конструкций дорожных одежд наиболее неблагоприятны:

- весенний период, когда грунты земляного полотна имеют максимальную влажность и соответственно наиболее разуплотнены;
- летний период, когда слои, содержащие битумные вяжущие, наиболее пластичны.

В летний период при температуре воздуха 25 °С и выше максимально допустимая осевая нагрузка $Q_{\text{доп}}$ на асфальтобетонных покрытиях составляет не более 60 кН исходя из условий недопущения образования колеиности.

В весенний период допустимую осевую нагрузку $Q_{\text{доп}}$ определяют с точностью до 10 кН по формуле

$$Q_{\text{доп}} = Q_{\text{расч}} \cdot K^{0,23}, \quad (4.3)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – расчетная нагрузка, для которой был установлен модуль упругости конструкции дорожной одежды, кН;

$$K = \frac{\sum N_{\text{доп}}}{\sum N_T},$$

где $\sum N_T$ – суммарное количество приложений расчетной нагрузки на рассчитываемый период (например 135 дней), определяемое по формуле

$$\sum N_T = 135 \cdot N_1 T \cdot \frac{q^T - 1}{q - 1} \cdot \frac{1}{q^{T-1}},$$

где q – коэффициент изменения интенсивности движения;

N_1 – суточная интенсивность движения расчетных нагрузок на текущее время;

T – остаточный период срока службы дорожной одежды до очередного капитального ремонта, определяемый по формуле

$$T = T_{p.c} - T_{ф.с},$$

где $T_{p.c}$ – расчетный срок службы, на который была рассчитана дорожная одежда;

$T_{ф.с}$ – фактический срок службы дорожной одежды.

Количество допустимых приложений расчетной нагрузки в сутки $N_{доп}$ определяют по формуле

$$\sum N_{доп} = 10^{\frac{E_p}{98,65} + c},$$

где E_p – расчетный модуль упругости на текущее время, МПа;

c – эмпирический коэффициент, принимаемый для расчетной нагрузки на ось 100 кН равным 3,55; 110 кН – 3,25; 115 кН – 3,23; 130 кН – 3,05.

При отсутствии фактических данных о расчетном модуле упругости нежестких дорожных одежд для оценки несущей способности в весенний период одновременно всей сети автомобильных дорог допустимая осевая нагрузка $Q_{доп}$ может с точностью до 10 кН определяться по формуле

$$Q_{доп} = [(0,72 \cdot \ln N_{гр.А} + 9,4) \cdot e^{\left(\frac{-9 \cdot N_{гр.А}}{10^6} - 0,071\right) \cdot |R|}] \cdot 9,81, \quad (4.4)$$

где $N_{гр.А}$ – фактическое количество приложений расчетной нагрузки 100 кН (группа А) в сутки на одну полосу;

$|R|$ – ровность покрытия на период оценки несущей способности, м/км.

По формуле (4.3) или (4.4) рассчитывается допустимая нагрузка для характерного или километрового участка дороги. Допустимая нагрузка для дороги или рассматриваемой сети определяется по формуле

$$Q_{доп} = Q_{ср} - t \cdot \delta,$$

где Q_{cp} – среднее значение допускаемой нагрузки на рассматриваемом участке, кН;

t – коэффициент нормированного отклонения, зависящий от заданного уровня надежности, принимается при уровне надежности K_n : 0,85 равным 1,06; 0,90–1,32; 0,95–1,71; 0,98–2,19; 0,99–2,49;

δ – стандартное отклонение, рассчитываемое по формуле

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (Q_{cp} - Q_i)^2}{n-1}},$$

где Q_i – допускаемая нагрузка на характерном или километровом участке дороги, кН;

n – количество участков.

4.3. Предпосылки к инструментальному определению прочности дорожной одежды

Упругие прогибы измеряют по внешней колее полосы наката, выбирая полосу движения, находящуюся в наихудшем состоянии. На дорогах I категории измерения выполняют по одной, наихудшей по состоянию полосе каждого направления. Измерения проводят весной, при оттаивании грунтов земляного полотна на глубину не менее 40 см и при температуре покрытия не менее +5 °С. Глубину оттаивания грунтов определяют шурфованием у кромки покрытия. Максимальная температура покрытия, при которой допускается измерять упругие прогибы, должна составлять не более 50 °С. Температуру фиксируют на глубине покрытия 3–4 см. Для этого в верхнем слое асфальтобетона делают отверстие диаметром 6–10 мм и заполняют его смесью глицерина с водой в соотношении 1:1. Температуру покрытия измеряют не менее трех раз в течение дня: в начале рабочей смены, в полдень и при затененности покрытия и облачности. Температуру фиксируют после затухания колебаний показаний термометра до 0,5 °С/мин.

Местоположение точек измерения упругих прогибов фиксируют с точностью до 1 м.

Толщину слоев дорожной одежды, устроенных с применением органических вяжущих, определяют из паспортных данных дороги либо путем отбора кернов, либо другим способом, позволяющим устанавливать толщину слоев с точностью до 0,5 см.

Предварительное выявление участков, требующих детальной оценки прочности методом динамических нагрузок, производят визуально, при свободном от снега и льда покрытии, когда хорошо видны все имеющиеся дефекты.

В зависимости от планируемых объемов определяют участки, состояние покрытия которых требует детального обследования. В план детального обследования включают участки, имеющие наихудшее состояние (табл. 4.4). При этом минимальная длина участка должна составлять 500 м.

Таблица 4.4

Очередность выбора участков для детального обследования

Очередь участка	Состояние покрытия проезжей части
1	Поперечный профиль сильно искажен. Дефекты прочностного характера занимают площадь до 80 %. На покрытии массовая сетка трещин, просадки, проломы, выбоины, заплаты, дорожная одежда в стадии разрушения
2	Поперечный профиль искажен на покрытии, площадь дефектов прочностного характера – до 60 %. Распространены выбоины, заплаты, сетка трещин, частые трещины. Шаг поперечных трещин менее 4 м
3	Поперечный профиль имеет нарушения. На покрытии – дефекты прочностного характера (сетка трещин, частые трещины). Поперечные трещины имеют шаг 4–10 м. На полосах наката продольные трещины. Площадь дефектов прочностного характера – до 30 %. Покрытие имеет выбоины, заплаты, колеиность глубже 30 мм
4	Покрытие проезжей части имеет отдельные трещины с шагом 10–15 м. Площадь дефектов прочностного характера – до 10 %. Местами появляются выбоины
5	Покрытие проезжей части имеет отдельные поперечные трещины с шагом более 20 м. Площадь дефектов прочностного характера (сетка трещин, частые трещины, просадки) – до 5 %. Поперечный профиль не нарушен

Для измерения упругого прогиба нежестких дорожных одежд используются различные методы, приборы и установки. При этом различают два способа нагружения конструкции: статический и динамический.

4.4. Статический метод измерения упругого прогиба

При статическом методе определяют величину упругого прогиба от действия статической нагрузки, передаваемой на покрытие через гибкий штамп.

Для проведения измерений применяют установку, включающую:

– гибкий штамп с нагрузкой $Q = 50 \pm 0,5$ кН, эквивалентным диаметром отпечатка на покрытии дорожной одежды 33 ± 3 см и давлением в колесе $0,6 \pm 0,05$ МПа;

– прогибомер длиннобазовый типа ПД с диапазоном измерения прогибов 20 мм и погрешностью измерения 0,02 мм;

– индикатор часового типа с диапазоном измерения 10 мм и ценой деления 0,01 мм;

– термометр ртутный стеклянный с диапазоном измерения 55 °С и ценой деления 1 °С;

– рулетку измерительную металлическую;

– манометр шинный ручного пользования с диапазоном измерения 1,0 МПа, ценой деления 0,01 МПа;

– глицерин;

– воду.

Схема проведения испытаний приведена на рис. 4.1

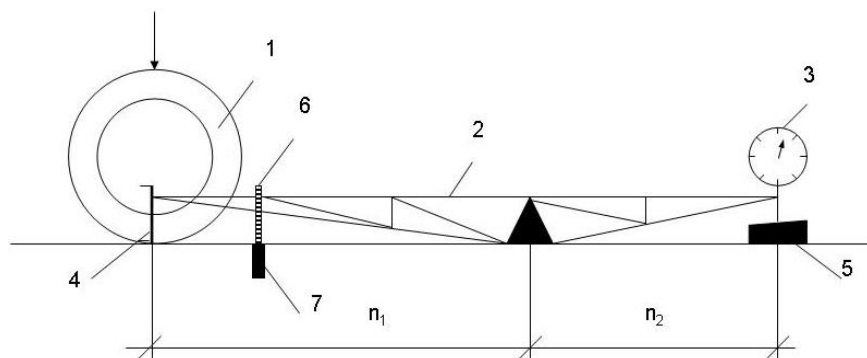


Рис. 4.1. Схема проведения испытаний:

1 – гибкий штамп; 2 – прогибомер; 3 – индикатор часового типа; 4 – опора прогибомера; 5 – опорная подкладка; 6 – термометр; 7 – смесь глицерина с водой; n_1 – длина грузового плеча; n_2 – длина измерительного плеча

Измерения следует проводить на полосе наката (1–1,5 м от края проезжей части). Глубина оттаивания грунтов земляного полотна в весенний период должна составлять более 40 см. Температура покрытия при измерениях – от 0 до 50 °С.

Подготовка к проведению измерений.

1. Определить границы характерных участков – длины характерных участков следует принимать протяженностью от 0,5 до 3 км.
2. С помощью рулетки определить местоположение точек измерения упругого прогиба на характерном участке; расстояние между испытываемыми точками должно быть не более 50 м.
3. Установить гибкий штамп на точку измерения упругого прогиба.
4. В покрытии сделать отверстие глубиной 3–4 см на расстоянии не более 1 м от точки измерения, заполнить его смесью воды и глицерина в соотношении 3:1, вставить термометр, снять показания температуры и занести в таблицу (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Форма для записи результатов измерений прогибов

Местоположение, км + м	Дата и время проведения измерений	Отсчеты по индикатору		Прогиб, мм	Температура покрытия, °С
		i_0	i_1		

Проведение измерений.

1. Установить опору прогибомера по центру между спаренными колесами гибкого штампа.
2. Опорную подкладку установить под стержень индикатора часового типа таким образом, чтобы показания на шкале были в пределах 0,2–0,7 мм.
3. Выдержать автомобиль на точке до тех пор, пока отсчет по индикатору (i_0) не будет изменяться.
4. Значение отсчета зафиксировать с точностью до 0,01 мм и занести показания в таблицу (см. табл. 4.5).
5. Продвинуть автомобиль вперед на расстояние не менее 5 м.
6. Дождаться, пока отсчет по индикатору i_1 после съезда автомобиля с точки не будет изменяться, значение его зафиксировать и показания занести в таблицу (см. табл. 4.5).

Аналогично выполняют измерения на следующих точках характерного участка. Количество измерений на характерном участке должно быть не менее 10.

При обработке результаты измерений следует сгруппировать по каждому характерному участку. При длине характерного участка более 1 км результаты измерений группируют по каждому километровому участку отдельно.

Обработка результатов.

1. На каждой точке рассчитать упругий прогиб L_i с точностью до 0,01 мм по формуле

$$L_i = \frac{n_1}{n_2} (i_1 - i_0),$$

где n_1 – длина грузового плеча;

n_2 – длина измерительного плеча;

i_0, i_1 – отсчеты по индикатору.

2. Рассчитать среднеквадратическое отклонение упругих прогибов на характерном участке по формуле

$$y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{L} - L_i)^2}{n - 1}}, \quad (4.5)$$

где \bar{L} – среднееарифметическое значение упругого прогиба на характерном участке, мм;

L_i – значение упругого прогиба в i -й точке, мм;

n – количество измерений упругих прогибов на характерном участке.

3. Упругий прогиб L , характеризующий участок дороги с заданной надежностью, рассчитать с точностью до 0,01 мм по формуле

$$L = \bar{L} + t \cdot \sigma, \quad (4.6)$$

где t – коэффициент Стьюдента (для дорог с капитальными типами дорожных одежд – 2,0, с облегченными типами – 1,7, с переходными и низшими – 1,6);

σ – среднеквадратическое отклонение, мм.

4.5. Динамический метод измерения упругого прогиба

При динамическом методе определяется величина упругого прогиба от действия динамической нагрузки, передаваемой на покрытие через гибкий или жесткий штамп.

Для проведения измерений применяют установку, включающую:

– гибкий штамп с эквивалентным диаметром отпечатка в динамике 37 ± 1 см и давлением в колесе $0,6 \pm 0,05$ МПа или жесткий штамп с диаметром 33 ± 1 см с нагрузкой $50 \pm 0,5$ кН;

– устройство управления процессом, устройство регистрации результатов измерений и их записи;

– устройство создания и измерения величины нагрузки;

– устройство измерения упругих прогибов с диапазоном измерения 2 мм и точностью 0,02 мм;

– рабочее программное обеспечение;

– устройство измерения расстояния с точностью до 2 %;

– устройство измерения температуры покрытия с диапазоном измерения 55 °С и точностью 1 °С;

– манометр шинный ручного пользования (для гибкого штампа) с диапазоном измерения 1 МПа и ценой деления 0,01 МПа;

– глицерин;

– воду.

Схема проведения испытаний приведена на рис. 4.2.

Условия проведения измерений аналогичны приведенным выше для статического метода.

Перед проведением измерений необходимо выполнить те же подготовительные работы, что и при использовании статического метода. Дополнительно следует активизировать рабочую программу для проведения измерений. Расстояние между точками измерения упругого прогиба определяется с помощью устройства измерения расстояния. Показания температуры покрытия фиксируются автоматически.

Проведение измерений.

1. Опустить штамп на испытываемую точку.
2. Настроить оборудование на требуемую величину нагрузки путем пробного сбрасывания груза на штамп.
3. Выполнить три измерения упругого прогиба в одной точке.
4. Проконтролировать результаты записанных измерений.

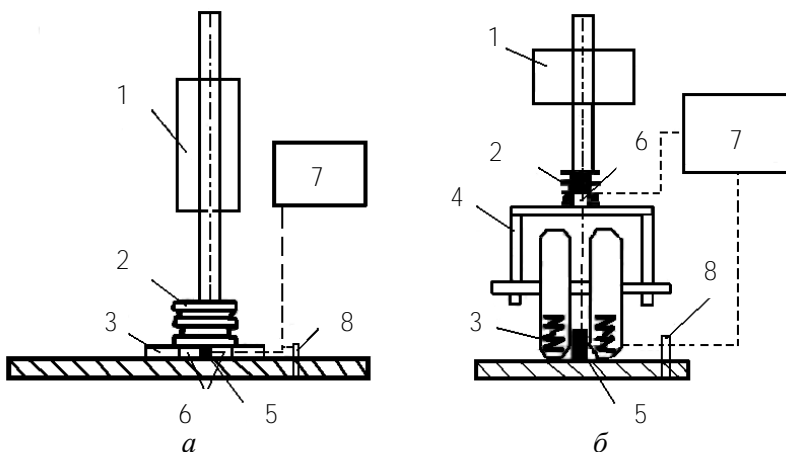


Рис. 4.2. Схема проведения испытания динамическим методом:

а – жесткий штамп; б – гибкий штамп;

1 – груз; 2 – амортизатор; 3 – штамп; 4 – траверса; 5 – устройство для регистрации величины упругого прогиба; 6 – устройство для регистрации нагрузки; 7 – устройство управления процессом, регистрации результатов измерений и их записи; 8 – устройство регистрации температуры покрытия

Результаты измерений записываются и сохраняются автоматически с помощью программного обеспечения по форме, приведенной в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Форма для фиксации результатов измерений упругого прогиба динамическим методом

Местоположение, км + м	Величина упругого прогиба, мм	Величина нагрузки на штамп, кН	Температура покрытия, °С

Аналогично выполняют измерения на следующих точках характерного участка. Количество измерений на характерном участке должно быть не менее 10.

Обработку измерений выполняют по формулам (4.5) и (4.6). Величину прогиба на каждой точке определяют как среднее арифметическое значение из трех измерений.

4.6. Установки для оценки прочности дорожных одежд

Прочность дорожной одежды можно измерять непосредственно на дороге. Для этого часто выполняют измерения прогибов, которые служат исходными данными в расчетных моделях, оценивающих прочность конструкции.

В настоящее время применяются несколько способов измерения прогибов, все они относятся к методам неразрушающего контроля. Среди значительного количества устройств для измерения прогибов наиболее часто применяются следующие:

- длиннобазовый прогибомер, или балка Бенкельмана (например, ПД-2.5);
- дефлектограф Lacroix;
- установка SPA (Seismic Pavement Analyzer);
- установки Dynaflect, Road Rater;
- дефлектометр падающего груза (FWD, Falling Weight Deflectometer);
- установки УДН, УДН-НК;
- установка ДИНА-3М;
- установка TSD (Traffic Speed Deflectometer).

Длиннобазовый прогибомер ПД-2.5. С помощью длиннобазового прогибомера измеряется прогиб под сдвоенным колесом стоящего автомобиля (табл. 4.7, рис. 4.3). В качестве нагрузки используют автомобили, относящиеся к группе А.

Таблица 4.7

Основные характеристики ПД-2.5

Характеристика	Значение
Пределы показаний прогибомера, мм	0–20
Пределы измерения, мм	0–20
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения, мм	$\pm 0,02$
Соотношение длин грузового и измерительного плеча	2 : 1
Длина грузового плеча, мм	2500 ± 5
Применяемое средство измерения	Индикатор часового типа И4-10
Масса прогибомера в рабочем состоянии, кг, не более	17

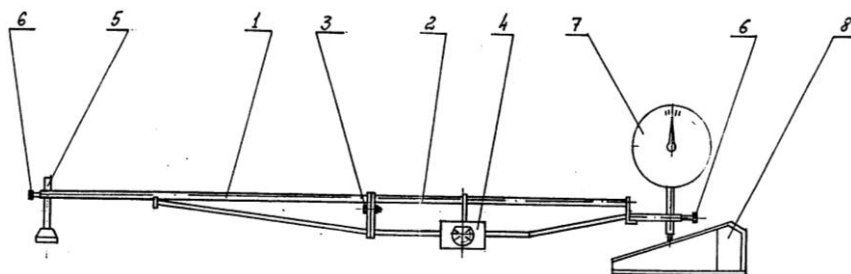


Рис. 4.3. Схема длиннобазового прогибомера ПД-2.5:

1 – фиксирующий винт; 2 – опора грузового плеча; 3 – грузовое плечо; 4 – соединительный болт; 5 – измерительное плечо; 6 – опорный кронштейн с шарикоподшипниками; 7 – гнездо для крепления индикатора на измерительном плече; 8 – клиновидная опорная подкладка

Принцип работы. В процессе работы прогибомер устанавливают так, чтобы шуп с подпятником разместился строго между скатами сдвоенного колеса груженого автомобиля под центром задней оси. Затем устанавливают клиновидную опорную подкладку на покрытие так, чтобы ее наклонная поверхность вошла в контакт с концом измерительного стержня индикатора. Автомобиль на точке измерения выдерживают до тех пор, пока отсчет по индикатору i_0 за 10 с не будет изменяться более чем на 0,005 мм. После этого автомобиль отъезжает вперед на расстояние не менее 5 м. Новый отсчет по индикатору определяют аналогично.

Упругий прогиб дорожной одежды в данной точке

$$l_y = 2(i - i_0),$$

где i – отсчет по индикатору после отъезда автомобиля на расстояние более 5 м;

i_0 – отсчет по индикатору при расположении автомобиля на точке измерения.

Относительную упругую деформацию определяют по формуле

$$\lambda_y = l_y / D,$$

где D – диаметр круга, равновеликого диаметру следа колеса автомобиля, см.

Дефлектограф Lacroix в настоящее время производится французской фирмой Vectra и выполняет измерения вертикальной деформации покрытия под осью тяжелого грузовика (13 т/ось), движущегося вперед с постоянной скоростью.

Дефлектограф используется в следующих случаях:

- для наблюдения за состоянием дорожных одежд и исследования его развития в условиях дорожного движения;
- выявления поврежденных участков дорожных одежд для проведения ремонтных работ;
- контроля эффективности выполнения ремонтных работ;
- определения времени введения и снятия весенних ограничений движения при оттаивании земляного полотна.

Прогиб измеряется между обоими сдвоенными колесами задней оси автомобиля при помощи сдвоенной измерительной балки (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Общий вид дефлектографа Lacroix (а) и сдвоенная балка Бенкельмана – рабочий орган дефлектографа (б)

Балка имеет три точки опоры, расположенные вне зоны влияния нагрузки. После проведения измерений балка перемещается с помощью автоматики.

Установка SPA (Seismic Pavement Analyzer). Сейсмический анализатор дорожного покрытия (SPA) был разработан в рамках Стратегической программы исследования дорог (SHRP) в университете штата Техас в Эль-Пасо. В настоящее время оборудование производится американской компанией Geomedia Research and Development,

Inc в Эль-Пасо. Устройство монтируется на прицепе и в значительной мере напоминает дефлектометр падающего груза (FWD) (рис. 4.5). Но если FWD можно охарактеризовать как устройство для измерения прогиба, то SPA – это устройство для измерения распространения ударной волны в дорожной одежде, на основании результатов которого оценивается прочность.



Рис. 4.5. Установка SPA

SPA состоит из двух аппаратных подсистем: первая включает в себя механические компоненты, преобразователи и ударники, создающие нагрузку, вторая – электрические компоненты для обработки данных и управления оборудованием.

В основе расчетов прочности дорожной одежды лежит использование следующих сейсмических методов:

- спектральный анализ поверхностных волн;
- анализ распространения импульса;
- анализ прохождения ультразвуковых волн в теле;
- анализ прохождения ультразвуковых поверхностных волн;
- импакт-эхо.

Установки Dynaflect и Road Rater. Установка Dynaflect – это электромагнитная система для измерения динамического смещения поверхности, вызванного колебательной нагрузкой (рис. 4.6). Производится американской фирмой Geo-Log, Inc.



Рис. 4.6. Общий вид установки Dynaflex

Все оборудование монтируется на небольшом прицепе. Установкой с использованием специального генератора создается синусоидальная нагрузка с частотой восемь циклов в секунду (рис. 4.7).

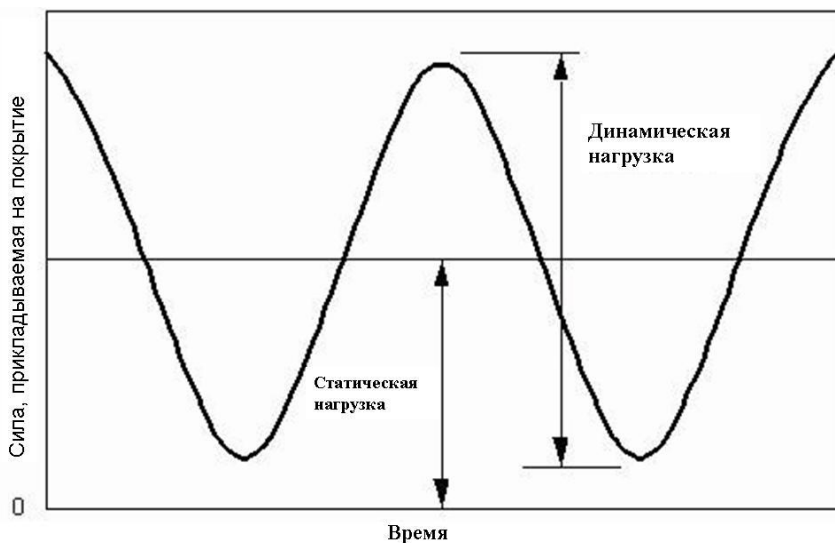


Рис. 4.7. Изменение во времени силы, прикладываемой на покрытие

Нагрузка передается на покрытие через пару жестких колес, опускаемых на него во время измерений. Общее усилие, прикладываемое на покрытие, включает воздействие массы прицепа 907 кг (2000 фунтов) и динамической силы, которая попеременно добавляется и вычитается из этой массы. Динамическая сила от пика до пика нагрузки составляет 10^4 Н.

Прогиб, возникающий на покрытии от действия нагрузки, регистрируется при помощи датчиков (акселерометров, сейсмометров и т. п.). При использовании нескольких датчиков установка может измерять чашу прогиба (рис. 4.8).

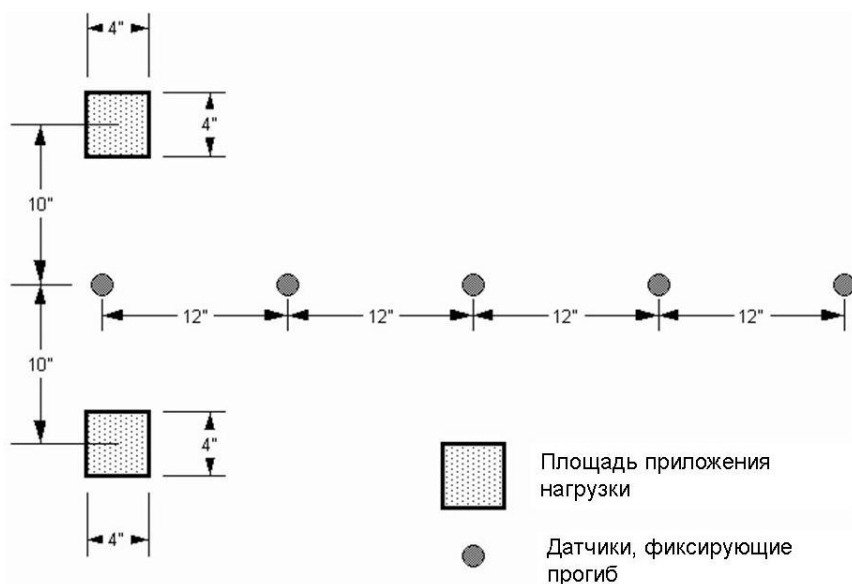


Рис. 4.8. Типовая схема расположения датчиков при проведении измерений

Оборудование применяется в основном на местных дорогах с покрытиями небольшой толщины, а также на автостоянках.

Установка Road Rater аналогична установке Dynaflect и используется при измерениях прогибов от гармоничной нагрузки, создаваемой специальными вибраторами (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Общий вид установки Road Rater

Дефлектометр падающего груза (FWD, Falling Weight Deflectometer). В настоящее время для оценки прочности наиболее часто применяются установки, измеряющие прогиб от ударной нагрузки, – дефлектометры. Они используются для измерения прогибов дорожных одежд разного типа, в первую очередь дорог и аэродромов, а также для оценки больших промышленных площадок. Эти устройства можно разделить на две группы:

FWD – создает нагрузку до 120 кН и применяется преимущественно на дорогах;

HWD (Heavy Weight Deflectometer, дефлектометр тяжелого нагружения) – создает нагрузку до 250 кН и применяется преимущественно для оценки покрытий аэродромов.

В мире используется более 300 установок типа FWD (рис. 4.10) и HWD, из них более 140 – в США и Канаде, более 120 – в Европе, 23 – в Японии. С 1998 года одна установка работает в Беларуси.



Рис. 4.10 Установка FWD фирмы KUAB (Швеция)

Дефлектометр создает нагрузку путем сбрасывания груза с некоторой высоты на специальную нагрузочную плиту (рис. 4.11). Элементы системы, такие как масса груза, высота сбрасывания, могут меняться в зависимости от требуемой ударной нагрузки. Значения прогибов измеряются при помощи датчиков, расположенных в центре приложения нагрузки, а также на некотором расстоянии от него. Обычно во время измерений регистрируются только максимальные значения прогибов, однако также можно зафиксировать всю историю развития прогиба под действием нагрузки, что чаще всего используется в исследовательских целях.

В зависимости от типа покрытия, методов проектирования величина нагрузки бывает разной. Для дорог чаще всего применяется нагрузка 50 ± 5 кН, что соответствует осевой нагрузке 100 кН.

В дефлектометрах используются три вида датчиков прогиба: геофоны, акселерометры, сейсмометры. В большинстве производимых в настоящее время устройств применяются геофоны (рис. 4.12).

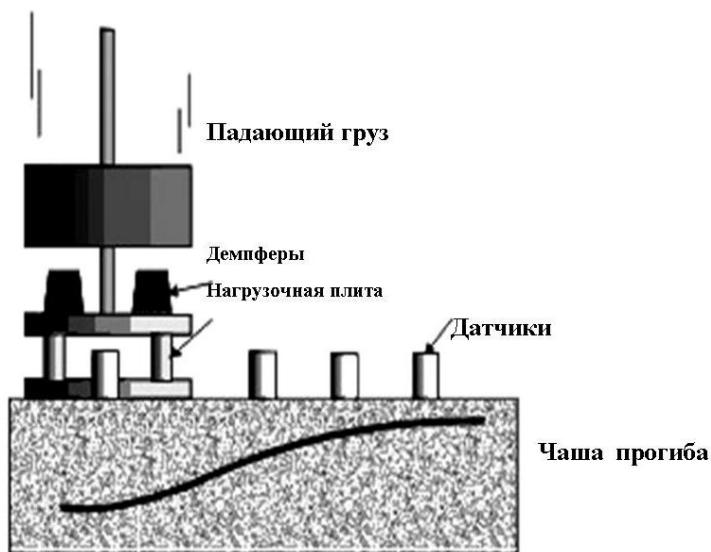


Рис. 4.11. Схема работы дефлектометра падающего груза



Рис. 4.12. Датчики прогибов – набор геофонов, размещенных на балке

Чтобы правильно оценить чашу прогиба, аппарат должен быть оборудован соответствующим количеством датчиков прогиба. По данным мировой практики, их не должно быть менее шести и размещать их нужно следующим образом:

- как минимум один датчик на расстоянии 0–300 мм от центра нагрузки;
- два датчика на расстоянии 150–600 мм;

- два датчика на расстоянии более 600 мм;
- один датчик на расстоянии более 1800 мм.

В случае шести датчиков типовыми расстояниями являются: 0, 300, 600, 900, 1500 и 1800 мм от центра нагружения. Размещение датчиков прогиба зависит от прочности всей дорожной одежды. В конструкциях с тонким слоем асфальтобетона датчики должны размещаться ближе к центру прогиба, с толстым слоем асфальтобетона – максимальное рекомендуемое расстояние 2500 мм.

Нагрузочная плита служит для передачи импульса на покрытие. В зависимости от типа покрытия, методов проектирования или исследований применяются различные нагрузочные плиты, отличающиеся конструкцией и размерами. Для измерений прогибов асфальтобетонных покрытий используются стальные плиты диаметром 300 мм с резиновой накладкой толщиной не менее 5 мм, которая необходима для обеспечения хорошего контакта плиты и покрытия. Некоторые установки оборудованы плитой из полихлорвинила толщиной 20 мм без накладки, в других используются плиты, разделенные на два или четыре сегмента с резиновой накладкой толщиной до 20 мм (рис. 4.13).



Рис. 4.13. Нагрузочная четырехсегментная плита

В Беларуси широко используется дефлектометр падающего груза PRI-2100 FWD Phonix. Оборудование производилось датской фирмой Phonix, которая в настоящее время входит в состав компании Carl Bro (рис. 4.14, табл. 4.8).



Рис. 4.14. Дефлектометр падающего груза PRI-2100 FWD Phonix

Таблица 4.8

Основные характеристики PRI-2100 FWD Phonix

Характеристика	Значение
Диаметр гибкого штампа, см	30
Диапазон колесных нагрузок, кН	7–150
Датчик измерения прогиба	Геофон
Количество видов нагружения	4
Точность измерения прогиба, %	1–2
Точность измерения расстояния, %	0,1
Производительность, измерений в час	15

Принцип работы. Дефлектометр FWD может производить динамическое нагружение путем падения определенной массы с установленной высоты на штамп. Величина нагрузки записывается при по-

мощи элемента, находящегося на штампе, и изменяется путем установки высоты падения груза. Реакция дорожного покрытия (деформация) на эту нагрузку контролируется девятью геофонами. Один геофон расположен в центре штампа, а остальные на различном расстоянии от него. По необходимости их месторасположение можно менять. Температура воздуха и поверхности покрытия дорожной одежды контролируется тремя температурными датчиками. Для фиксации результатов измерений, обработки и хранения информации служит персональный компьютер типа ноутбук. Преимущества данного метода заключаются в определении прочностных характеристик дорожной одежды не только в точке приложения нагрузки, но и на расстоянии, зависящем от местоположения датчиков.

Установки динамического нагружения УДН, УДН-НК применялись в странах бывшего СССР. Принципиальной разницы в их работе нет, за исключением элемента соприкосновения установки с покрытием: УДН – жесткий штамп, УДН-НК – нагрузка колесная (рис. 4.15, табл. 4.9).



Рис. 4.15. Установка УДН-НК

Таблица 4.9

Основные характеристики установки УДН-НК

Характеристика	Значение
Диаметр гибкого штампа, см	33
Пределы измерения упругого прогиба, мм	0,05–2,5
Погрешность измерения прогиба, %	5
Величина динамического усилия Q_d , кН	50 ± 5
Погрешность измерения расстояния, %	0,5
Производительность, измерений в смену	100

Принцип работы. Груз сбрасывается с определенной высоты на жесткий штамп (УДН) или на амортизационное устройство колеса, выполненное из жесткой пружины (УДН-НК). При этом создается кратковременное (0,2–0,4 с) динамическое нагружение, близкое к нагрузке от движущегося автомобиля.

Для регистрации упругой деформации дорожной одежды применяют вибрографы, записывающие испытания на бумажную ленту, или датчики перемещения, фиксирующие деформации с помощью осциллографа. Значение прогиба определяется как среднearифметическое двух измерений, рассчитанное с точностью до двух знаков после запятой:

$$l_{cp} = (l_1 + l_2) / 2,$$

где l_1, l_2 – значение прогибов на точке после двух измерений, мм.

Установка динамического нагружения с жестким штампом снабжена грузом, при сбрасывании которого на амортизатор в виде стальной пружины или прокладки из упругого материала возникает динамическое усилие, воздействующее на дорожную одежду через круглый штамп, равновеликий отпечатку колеса расчетного автомобиля. Для равномерной передачи нагрузки на покрытие применяют составные штампы из двух или четырех сегментов.

Особенность установки с гибким штампом – передача усилия на покрытие от падающего груза через сдвоенные пневматические колеса (амортизаторы), обеспечивающие площадь отпечатка и удельную нагрузку на покрытие, эквивалентные отпечатку и нагрузке расчетного автомобиля группы А.

При падении на амортизатор тележки груз передает динамическое усилие дорожной одежде через траверсу и пневматические сдвоенные колеса, которые одновременно играют роль основного амортизатора и гибкого штампа. Для определения эквивалентного диаметра площади отпечатка штампа под колеса укладывают лист миллиметровой бумаги. После сбрасывания груза по отпечатку колес определяют эквивалентный диаметр по формуле

$$D = 1,13\sqrt{S},$$

где S – площадь отпечатка штампа, м^2 .

Операцию по определению площади отпечатка гибкого штампа повторяют пять раз и рассчитывают среднее значение эквивалентного диаметра.

Величину динамической нагрузки (в ньютонах), развиваемой установкой динамического нагружения, определяют ежегодно при мет-рологической аттестации по формуле

$$Q_d = K \cdot M \cdot g \sqrt{\frac{2H}{a}},$$

где K – коэффициент потерь энергии, возникающих вследствие неполной упругости тел, входящих в соударение (принимается равным 0,9);

M – масса сбрасываемого груза, кг;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

H – высота сбрасывания груза, м;

a – жесткость амортизаторов, м.

Жесткость амортизаторов равна величине их сжатия под статическим действием веса груза. Определять ее рекомендуется не реже одного раза за сезон измерений.

Установку ставят штампом на ровную площадку и измеряют расстояние от верха площадки до верха амортизатора, воспринимающего удар сбрасываемого груза. На амортизатор опускают груз. Измеряют расстояние от верха площадки до верха амортизатора. Разница высот, определенная с точностью до 0,5 мм, и есть жесткость амортизаторов. Величина динамического усилия должна составлять $50 \pm 5 \text{ кН}$. Она также может быть определена с помощью тензометрического датчика, устанавливаемого в штампе.

Величину удельного давления штампа на покрытие под действием динамической нагрузки рассчитывают по формуле

$$P = \frac{Q_d}{S} \cdot 10^{-6},$$

где Q_d – динамическое усилие установки, Н;
 S – площадь отпечатка штампа, м^2 .

Величина удельного давления должна составлять $0,6 \pm 0,05$ МПа.

Проведение испытаний и обработка результатов. При обследовании сети дорог общего пользования установками динамического нагружения количество измерений на характерном участке должно быть не менее 13; для обеспечения надежной оценки прочности на каждой точке выполняют по три измерения. В расчет принимается среднее арифметическое из трех измерений. Расхождение между результатами измерений по одной точке не должно превышать 10 %. При измерении прогибов фиксируют температуру на глубине 3–4 см от поверхности покрытия, для чего в покрытии делают отверстие диаметром 5–10 мм, заполненное смесью глицерина с водой в соотношении 1:1.

При измерении упругих прогибов установкой с жестким штампом для стабилизации его положения на каждой точке выполняют первое измерение.

Результаты измерений группируют по каждому километру или характерному участку. За характерный участок принимается однотипный участок дороги, в пределах которого не наблюдается существенных изменений конструкции дорожной одежды и земляного полотна, интенсивности, состава движения, состояния покрытия по видам дефектов и изменения значений упругих прогибов в пределах коэффициента вариации 0,15. Длина характерного участка принимается равной 0,5–3,0 км. Рекомендуется оценивать каждый километр.

Среднеквадратическое отклонение прогибов на характерном участке рассчитывают по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{l} - l_i)^2}{n-1}},$$

где \bar{l} – среднеарифметическое значение прогиба на характерном участке, мм;

l_i – среднее из трех значений прогиба на i -й точке, мм;

n – количество измерений прогибов на характерном участке.

Прогиб, характеризующий участок дороги с заданной надежностью, определяют по формуле

$$l_d = \bar{l} + t \cdot \sigma,$$

где t – коэффициент нормированного отклонения, зависящий от требуемого уровня надежности дорожной одежды (принимается по табл. 4.10);

σ – среднеквадратическое отклонение, мм.

Таблица 4.10

Коэффициент нормированного отклонения

Количество измерений на участке	Уровень надежности		
	0,85	0,90	0,95
10	1,10	1,37	1,81
11	1,09	1,36	1,80
12	1,08	1,36	1,78
13	1,08	1,35	1,77
14	1,08	1,34	1,76
15	1,07	1,34	1,75
16	1,07	1,34	1,75
17	1,07	1,33	1,74
18	1,07	1,33	1,73
19	1,07	1,33	1,73
20	1,06	1,32	1,72
21	1,06	1,32	1,72
22	1,06	1,32	1,72
23	1,06	1,32	1,72
24	1,06	1,32	1,72
25	1,06	1,32	1,71

Основными недостатками установки являются низкая надежность механической части оборудования, невозможность измерить чашу прогиба и невысокая производительность.

Установка ДИНА-3М. Саратовским филиалом ГипродорНИИ разработана и изготовлена автоматизированная установка динамического нагружения ДИНА-3М с жестким штампом (рис. 4.16, табл. 4.11).



Рис. 4.16. Установка ДИНА-3М

Таблица 4.11

Основные характеристики установки ДИНА-3М

Характеристика	Значение
Масса установки, кг	740
Динамическое усилие нагружения, кН	50 ± 25
Потребляемая мощность, Вт	360
Диапазон измерений прогиба, мм, до	3
Точность измерений прогиба, мкм	40
Производительность в смену, км	20

Принцип работы. Установка представляет собой серийный прицеп ГАЗ-704, на шасси которого смонтирована динамическая установка. В процессе измерения создается кратковременное (0,2–0,4 с) динамическое нагружение, близкое к нагрузке от движущегося автомобиля. Светофотодиод, закрепленный на пружине, регистрирует прогиб и передает его значение на микропроцессор. По результатам измеренного прогиба определяется модуль упругости дорожной одежды.

В комплект установки входит пульт дистанционного управления процессом нагружения, устройство подхвата груза после отскока, датчик измерения прогиба и электронное устройство с цифровой индексацией для обработки данных.

5. ШЕРОХОВАТОСТЬ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

5.1. Общая характеристика шероховатости

Шероховатость – это наличие на поверхности дорожного покрытия неровностей, образуемых чередующимися выступами и впадинами, а также собственной шероховатостью каменных материалов или искусственно созданными бороздками на поверхности дорожного покрытия. В зависимости от диапазона длины волн и амплитуды между пиками различают микрошероховатость, макрошероховатость и мегашероховатость. Соответственно бывает и различная текстура дорожного покрытия.

Микрошероховатость – это собственная шероховатость частиц каменного материала, характеризующаяся длиной волн менее 2–3 мм и высотой выступов 0,2–0,3 мм. Неровности такого характера зрительно не воспринимаются, но ощущаются на ощупь.

Макрошероховатость – это неровности поверхности покрытия длиной волны от 2 до 100 мм и высотой от 0,2 до 10 мм. Эти неровности создаются выступающими частицами каменного материала покрытия или в результате обработки его поверхности (нарезка борозд).

Мегашероховатость – это характеристика шероховатости покрытия, имеющего длину волн того же порядка, что и размер контакта шины с дорогой. Она определяется как отклонение покрытия дорожной одежды от истинной плоской поверхности. Для мегаструктуры характерной является амплитуда высоты неровности 0,1–50 мм при длине волн 50–500 мм.

В соответствии с ВСН 38–90 шероховатость поверхности покрытия разделена на семь групп (табл. 5.1).

Таблица 5.1

**Классификация дорожных покрытий
в зависимости от значений параметров шероховатости**

Тип шероховатости	Параметры шероховатости, мм	
	Средняя высота выступов	Средняя глубина впадин
Гладкие	0,1–0,5	0,02–0,25
Мелкошероховатые	0,5–3,0	0,25–2,5
Среднешероховатые	3,0–6,0	1,0–5,0
Крупношероховатые	6,0–9,0	2,0–7,0
Мелкошипованные	0,5–3,0	1,5–2,5
Среднешипованные	3,0–6,0	3,0–5,0
Крупношипованные	6,0–9,0	4,5–7,0

**5.2. Терминология по теме шероховатости
дорожного покрытия**

При анализе шероховатости дорожного покрытия и разработке мер по ее обеспечению в требуемых пределах необходимо пользоваться следующими терминами и определениями.

Реальная поверхность покрытия – поверхность, которая отделяет покрытие автомобильных дорог от окружающей среды.

Шероховатость поверхности покрытия – совокупность неровностей реальной поверхности покрытия, расстояние между вершинами которых не превышает 40 мм.

Базовая линия поверхности покрытия – линия пересечения реальной поверхности покрытия с вертикальной поверхностью.

Выступ шероховатости поверхности покрытия – участок профиля, который находится между двумя локальными соседними минимумами профиля (рис. 5.1).

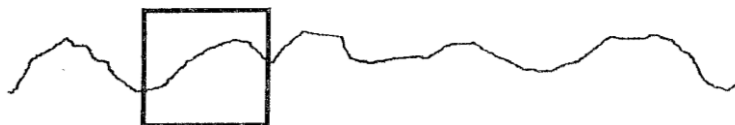


Рис. 5.1. Выступ шероховатости поверхности покрытия

Впадина шероховатости поверхности покрытия – участок профиля, который находится между двумя локальными соседними максимумами профиля (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Впадина шероховатости поверхности покрытия

Линия выступов профиля поверхности покрытия – прямая, которая проходит через две самые высокие вершины выступов профиля (рис. 5.3).



Рис. 5.3. Линия выступов профиля поверхности покрытия

Линия впадин профиля поверхности покрытия – прямая, которая проходит через самую низкую точку профиля параллельно линии выступов (рис. 5.4).

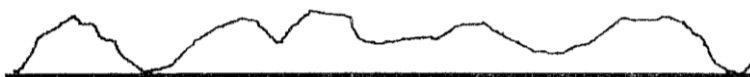


Рис. 5.4. Линия впадин профиля поверхности покрытия

Наибольшая высота неровностей профиля поверхности покрытия h_{\max} – параметр шероховатости, который определяется как расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в границах базовой длины l_b (рис. 5.5).

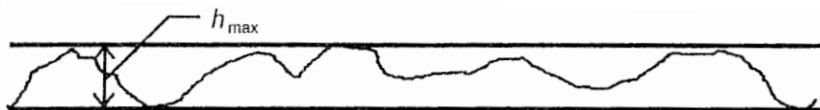


Рис. 5.5. Наибольшая высота неровностей профиля поверхности покрытия

Глубина i -й точки профиля поверхности покрытия h_i – расстояние от линии выступов до i -й точки профиля (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Глубина i -й точки профиля поверхности покрытия

Средняя глубина впадин шероховатости поверхности покрытия $h_{\text{ср}}$ – параметр шероховатости поверхности, который определяется как среднее арифметическое значение глубин точек профиля:

$$h_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i.$$

Средняя плотность выступов шероховатости поверхности покрытия i_n – параметр шероховатости поверхности, который определяется отношением количества выступов шероховатости n в границах базовой линии к ее длине l_b :

$$i_n = \frac{n}{l_b}.$$

Радиус выступа шероховатости поверхности покрытия R_i – радиус окружности, вписанной в выступ шероховатости поверхности покрытия (рис. 5.7).

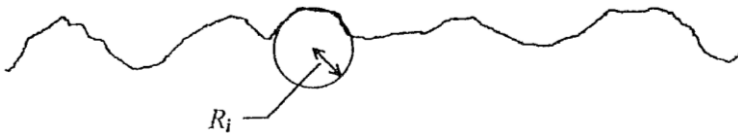


Рис. 5.7. Радиус выступа шероховатости поверхности покрытия

Расстояние между выступами l_m – среднее расстояние между вершинами выступов, образующих шероховатую поверхность.

Средний радиус выступов шероховатости поверхности покрытия $R_{\text{ср}}$ – параметр шероховатости поверхности, который определяется как среднее арифметическое значение радиусов R_i отдельных выступов:

$$R_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i.$$

Секущая прямая – прямая, которая пересекает профиль поверхности покрытия параллельно линии выступов (рис. 5.8).

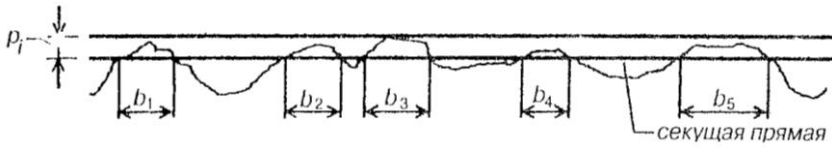


Рис. 5.8. Секущая прямая

Уровень пересечения профиля ρ – расстояние между линией выступов профиля поверхности покрытия и секущей прямой (см. рис. 5.8).

Опорная длина профиля η_p – сумма длин b_i отрезков, в границах которых секущая прямая проходит через материал профиля (см. рис. 5.8):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^k b_i.$$

Относительная опорная длина профиля t_p – отношение опорной длины профиля к базовой длине l_b .

Относительная опорная кривая профиля – графическое изображение зависимости относительной опорной длины профиля t_p от уровня пересечения профиля ρ (рис. 5.9).

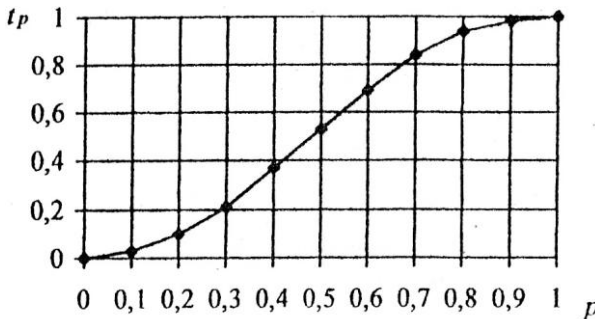


Рис. 5.9. Относительная опорная кривая профиля

Коэффициент сцепления ψ – отношение средней за время торможения касательной реакции покрытия T_{cp} (рис. 5.10) к его нормальной реакции N :

$$\text{ш} = \frac{T_{\text{ср}}}{N},$$

где

$$T_{\text{ср}} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} T(t) dt}{t_2 - t_1}.$$

На рис. 5.10 показана зависимость касательной реакции покрытия $T = T(t)$ от времени t при торможении колеса.

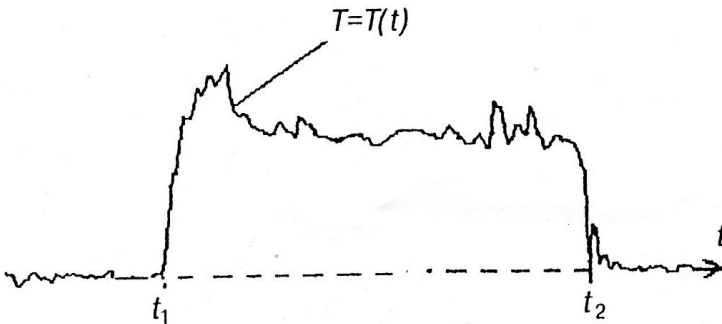


Рис. 5.10. Зависимость касательной реакции покрытия от времени

5.3. Методы измерения шероховатости покрытия

Измерение шероховатости покрытия обычно производится в полевых условиях на действующих автомобильных дорогах. Для этого выбираются характерные участки, которые по своему состоянию можно считать репрезентативными для оценки всей диагностированной дороги. Методы измерения весьма разнообразны. Непосредственно шероховатость измеряют методом «песчаного пятна» или методом вытекания воды из-под цилиндрической трубы, установленной вертикально на поверхность покрытия. Этими методами определяется средняя глубина шероховатости.

Косвенные методы определения шероховатости базируются на измерении коэффициента сцепления (трения). Информация об этих методах приведена в разделе 6.

5.4. Метод песчаного пятна

Сущность метода песчаного пятна состоит в определении средней глубины впадин шероховатости по размерам песчаного пятна, которое образуется на поверхности покрытия после разравнивания на ней определенного объема песка (рис. 5.11).

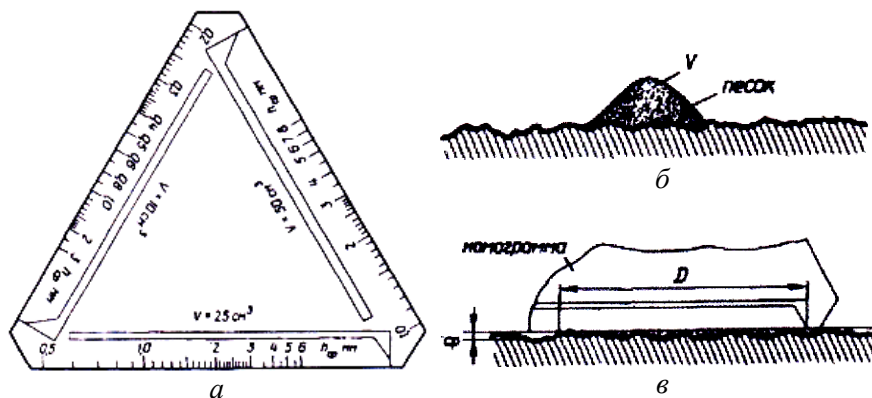


Рис. 5.11. К методу измерения «песчаное пятно»:

а – измерительная линейка; *б* – песок для измерения; *в* – измерение

Метод песчаного пятна может использоваться для определения только параметра $h_{\text{ср}}$ крупно- и среднешероховатых поверхностей в случаях невозможности применения профильного метода. При этом поверхность покрытия должна быть сухой.

При использовании метода песчаного пятна применяют следующие средства измерения и вспомогательные устройства:

- мерный цилиндр или специально изготовленные мерные емкости объемом не меньше 100 см^3 и ценой деления шкалы измерения объема не больше 1 см^3 ;
- песок фракции 0,14–0,071 мм;
- линейки измерительные или линейки чертежные.

В качестве вспомогательного устройства для разравнивания песка может использоваться плоский диск диаметром $(15 \pm 1) \text{ см}$ с ручкой; нижняя поверхность диска покрыта резиной.

Порядок проведения измерений. В мерный цилиндр набирают песок, объем которого при измерениях на крупношероховатых поверхностях должен быть не меньше 90 см^3 , на среднешероховатых

поверхностях – 50 см^3 . Объем песка V определяют по шкале измерения объема с точностью 1 см^3 и записывают.

Песок высыпают на поверхность и распределяют линейкой или диском в уровень с вершинами выступов таким образом, чтобы образовалось пятно по форме, близкой к кругу (рис. 5.12). Если диаметр круга получается больше 30 см , объем песка допускается уменьшить.



Рис. 5.12. Общий вид инструментов для измерения методом «песчаное пятно»

Измерительной или чертежной линейкой измеряют не менее четырех значений диаметра пятна с погрешностью $\pm 5 \text{ мм}$, каждое значение записывают. Вычисляют среднее арифметическое значение диаметра D и определяют площадь песчаного пятна по формуле

$$S = \frac{\pi D^2}{4}.$$

Значение параметра $h_{\text{ср}}$ определяют по формуле

$$h_{\text{ср}} = \frac{V}{S}.$$

Требования к точности метода. Погрешность определения объема песка не должна превышать $\pm 1 \text{ см}^3$. Погрешность измерения диаметра пятна не должна превышать $\pm 0,5 \text{ см}$.

Результат вычисления h_{cp} указывают в миллиметрах с точностью 0,1 мм.

5.5. Метод объемного пятна

Шероховатость методом объемного пятна измеряется с использованием в качестве заполнителя впадин мелких стеклянных шариков. Процесс измерения и показатели шероховатости аналогичны, как и при методе «песчаное пятно». Использование стеклянных шариков имеет как преимущества, так и недостатки. Преимущества заключаются в том, что стеклянные шарики меньше подвержены влиянию влаги, а недостатки – в том, что повторное использование шариков невозможно, в то время как они являются искусственным продуктом, требующим определенных затрат на их производство.

5.6. Метод вытекания

При использовании метода вытекания в качестве меры шероховатости используется время вытекания воды (1 дм^3) между резиновым кольцом, установленным на покрытии, и шероховатой поверхностью. Данный метод применяется на относительно гладких покрытиях.

5.7. Организация измерений параметров шероховатости

Выбор участков, мест и точек измерения. Под *участком измерения* понимают участок дороги, который характеризуется однородностью параметров шероховатости поверхности покрытия.

Под *местом измерения* понимают часть площади покрытия, на котором проводится оценка шероховатости поверхности во время одной остановки автомобиля – ходовой лаборатории.

Под *точкой измерения* понимают положение измерительного средства в границах одного и того же места измерения.

Выбор участков, мест и точек измерений зависит от цели проведения измерений.

При устройстве новых покрытий, когда измерения проводятся как составляющие операционного контроля с целью внесения коррективов в технологический процесс, места измерения шероховатости выбирают на пробных участках, размеры которых имеют минимально возможное значение с технологической точки зрения. При этом

выбирают не меньше трех мест измерений, равномерно распределенных по площади пробного участка.

После устройства новых покрытий, когда измерения проводятся как составляющие приемочного контроля, выбирают не меньше трех мест измерений на участке длиной 1000 пог. м покрытия, которые должны быть равномерно распределены в границах указанной длины.

На стадии эксплуатационного контроля покрытий визуально выделяют участки, которые отличаются по внешнему виду, материалу или способу устройства как в продольном направлении, так и в поперечном профиле. На каждом из таких участков выбирают не меньше трех мест измерений, которые должны быть равномерно распределены в границах указанных участков.

В первую очередь эксплуатационный контроль параметров шероховатости поверхности дорожных покрытий следует выполнять в таких местах:

- на горизонтальных кривых малого радиуса и на подходах к ним;
- в границах перекрестков и примыканий дорог в одном уровне и на подходах к ним;
- на переходно-скоростных полосах;
- участках с ограниченной видимостью;
- в местах контрольно-диспетчерских и контрольно-пропускных пунктов;
- местах, где возможно вынесение грязи на покрытие;
- местах частого образования гололеда и возникновения тумана.

Очередность выполнения эксплуатационного контроля в других случаях определяется размещением участков концентрации ДТП, где коэффициент относительной аварийности больше 0,725 ДТП/млн авт.·км.

Объем измерений. На каждом месте измерения определение параметров шероховатости следует выполнять в трех точках, расположенных на расстоянии не менее 1 м друг от друга. При наличии на месте измерения выраженных полос наката колес транспортных средств две из трех точек измерения выбирают на этих полосах, одну – между полосами наката. На каждом участке, выбранном в соответствии с вышеприведенными требованиями, общий объем измерений должен быть не менее девяти.

Оформление результатов измерений. Результаты измерений для каждого участка оформляются в виде протокола, в котором указывают следующие данные:

- название и код дороги;
- характеристику участка измерений (пикетажное положение, тип покрытия);
- значение параметра шероховатости (одного или нескольких) для каждой точки измерений;
- среднее значение параметра шероховатости (одного или нескольких) на участке измерений;
- данные об использованных средствах измерения;
- дату проведения измерений;
- ссылку на этот стандарт.

Для операционного контроля качества шероховатой поверхности, уровня шероховатости, обеспечивающего требуемый коэффициент сцепления, а также для контроля состояния и степени износа шероховатости поверхности покрытия в процессе эксплуатации можно использовать график-триграмму (рис. 5.13).

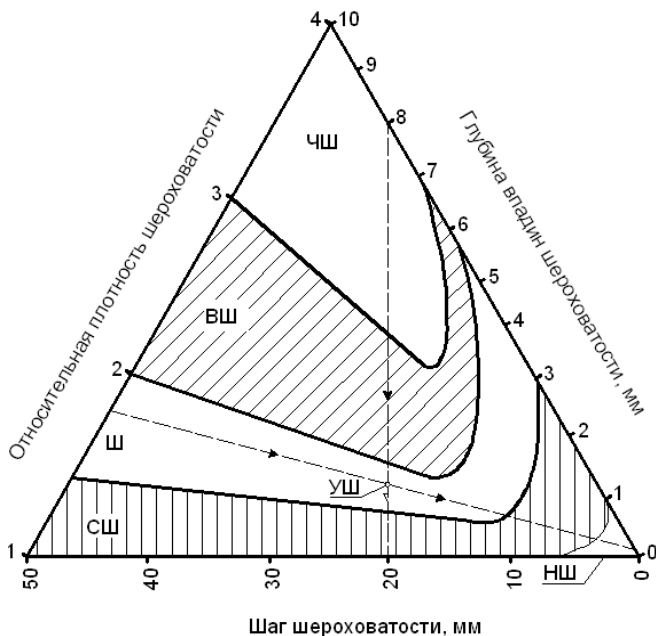


Рис. 5.13. График для оценки уровня шероховатости покрытия:
 ЧШ – зона чрезвычайно шероховатой структуры; ВШ – зона весьма шероховатой структуры; Ш – зона шероховатой структуры; СШ – зона слегка шероховатой структуры; НШ – зона нешероховатой структуры

Для оценки уровня шероховатости покрытия в практических целях в процессе строительства или эксплуатации автомобильных дорог достаточно определить три основные характеристики шероховатых структур:

- среднюю глубину впадин (высоту неровностей);
- средний шаг шероховатости;
- относительную степень активности шероховатости.

6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С ДОРОЖНЫМ ПОКРЫТИЕМ И КРИТЕРИИ ЭТОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Автомобильная дорога предназначена для обеспечения транспортных коммуникаций на территории государства или отдельного его региона. Главным транспортным средством является автомобиль. Взаимодействие автомобиля с проезжей частью происходит как в процессе движения, так и при его остановке или стоянке на соответствующей площадке.

Проблема взаимодействия автомобиля с покрытием с позиции диагностики автомобильных дорог важна во многих отношениях. Основными из них можно считать:

- распределение давления на покрытие по следу автомобиля;
- динамические нагрузки, создаваемые автомобилем на дорожную конструкцию;
- плавность движения, а следовательно, и его комфорт;
- поперечную устойчивость при маневрах или движении на закруглениях;
- сцепление и трение колес при различных скоростных режимах движения;
- динамику самого автомобиля, обусловленную реактивными силами, существующими в контакте колес с поверхностью покрытия.

Учет этих проблем и решение на их основании конкретных задач является необходимым условием безопасности движения и эффективной работы автомобильного транспорта.

6.1. Статическое взаимодействие колес автомобиля с покрытием

Нагрузка кузова передается через ось на колесо, которое является последним звеном в системе воздействия автомобиля на покрытие. Колесо может находиться в различном состоянии:

- статическом;
- равномерном движении;
- ускоренном (замедленном) движении.

В статическом состоянии нагрузка колеса на покрытие может быть представлена в виде, приведенном на рис. 6.1.

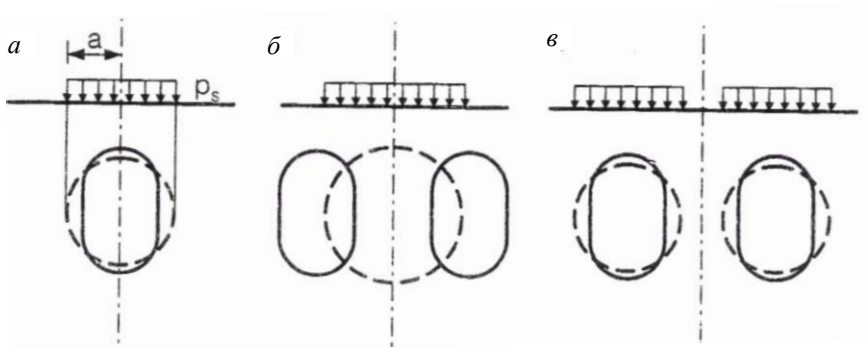


Рис. 6.1. Схемы нагружения дорожного покрытия

Отпечаток колеса заменяется кругом, равновеликим отпечатку. При этом для определения диаметра круга используются формулы:

- по схеме *a* и *v*

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{P}{p}};$$

- по схеме *б*

$$D = 1,60 \sqrt{\frac{P}{p}},$$

где P – общая нагрузка, приходящаяся на колеса, кН;
 p – контактное давление, кПа.

На рис. 6.2 представлено разложение контактных сил по длине отпечатка при свободном качении ($M = 0$), ускоренном ($M_{\text{нар}}$) и торможении ($M_{\text{нам}}$).

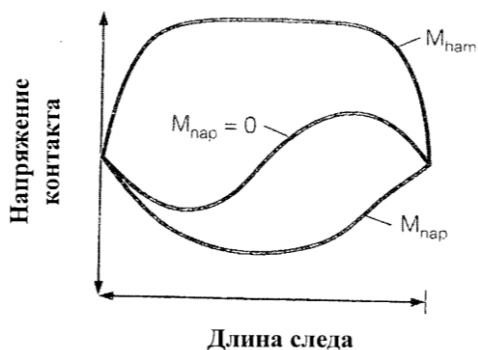


Рис. 6.2. Разложение контактных сил по длине отпечатка

Распределение контактного давления в шине колеса и нагрузки в контакте шины и покрытия показано на рис. 6.3 и 6.4.

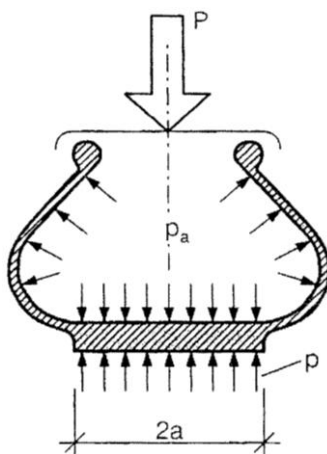


Рис. 6.3. Распределение контактного давления и давления в шине колеса

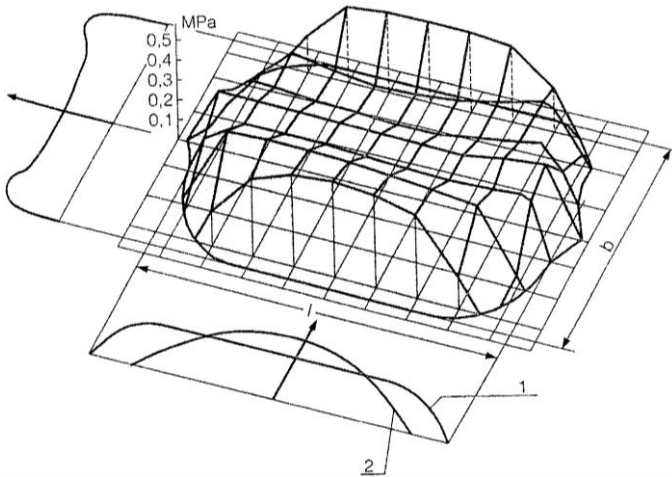


Рис. 6.4. Распределение нагрузки в контакте шины и покрытия:
1 – середина следа; 2 – край следа

6.2. Динамическое воздействие автомобиля на дорожное покрытие

Оценка динамического воздействия автомобиля на дорожное покрытие может быть дана на основании модели, учитывающей наличие возмущающих сил (неровностей). Простейшие модели представлены на рис. 6.5.

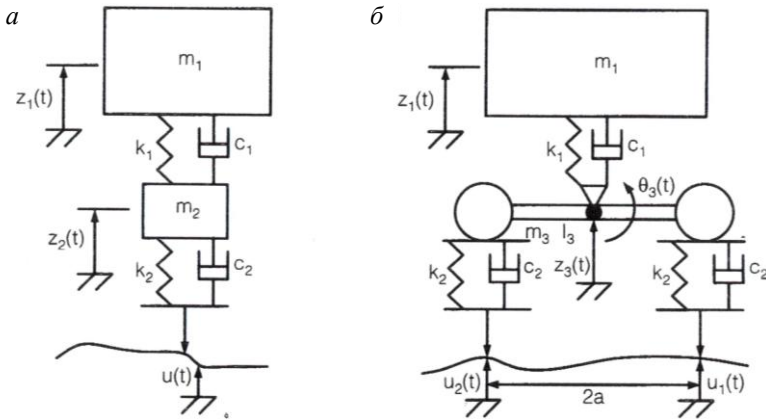


Рис. 6.5. Модели колебания автомобиля:
a – четверть автомобиля; *б* – поперечный разрез автомобиля (осевая схема)

Динамические нагрузки по этим моделям можно выразить зависимостями:

$$P_{\text{дин}} = m_1 \cdot z_1(t) + m_2 \cdot z_2(t);$$

$$P_{\text{дин}} = 0,5 \cdot m_1 \cdot z_1(t) + m_2 \cdot a \cdot z_3(t) \pm \frac{l_3 \cdot \theta_3(z)}{2 \cdot a}.$$

Исследования ряда ученых показывают, что динамические нагрузки, вызванные неровностями дорожных покрытий, колеблются в значительных пределах. На покрытиях, имеющих высокие эксплуатационные качества, средняя динамическая нагрузка равна статической.

6.3. Повторяемость транспортных нагрузок

При определении долговечности и надежности автомобильных дорог необходимы данные об интенсивности транспортных потоков, их составу и уровню загрузки дороги движением. Кроме этих показателей необходимо знать суммарную нагрузку за определенный период. Можно использовать две зависимости:

$$\sum_{i=0}^T N_i = N_0 (365) \int_0^T (1+q)^T dT;$$

$$\sum_{i=0}^T N_i = \frac{N_0 (365)}{\ln(1+q)} \left[(1+q)^T - 1 \right],$$

где N_i – суточное число повторяющихся нагрузок в году ($i = 0 - T$);

N_0 – суточное число повторяющихся нагрузок в начальный год ($i = 0$);

q – процент прироста движения в течение года;

T – остаточный год прогноза.

На практике используется также упрощенная зависимость

$$\sum_{i=0}^T N_i = 0,5 \cdot (N_0 + N_T) \cdot 365 \cdot T,$$

где N_T – суточное число повторяющихся нагрузок в T -м году.

Распределение нагрузок по ширине проезжей части определяется по формуле

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_1} = 1,$$

где N_i – допустимое число нагружений, которое может принять материал при нагрузке.

6.4. Сцепные качества дорожных покрытий

Сцепные качества дорожных покрытий являются важным показателем, влияющим на безопасность движения автомобилей. В Республике Беларусь сцепные качества оценивают по величине коэффициента сцепления. Под **коэффициентом сцепления** понимается отношение максимального касательного усилия, действующего вдоль дороги на площади контакта заблокированного колеса с дорожным покрытием, к нормальной реакции в площади контакта колеса с покрытием.

Коэффициент сцепления зависит от многих факторов. На его величину влияют:

- шероховатость покрытия;
- скорость движения измерительного прибора;
- полная или частичная блокировка колеса;
- конечные боковые силы, т. е. катится ли измерительное колесо под углом 0° к направлению движения;
- размеры испытательной машины, резиновая смесь, рисунок протектора, давление в шине, нагрузка и пр.;
- толщина слоя воды;
- загрязненность покрытия (например, маслом, мусором и т. п.);
- температура воздуха, шины, воды.

Так, на мокром асфальте сцепление примерно в два раза меньше, а при гололеде – в 10 раз меньше, чем на сухом асфальте. Соответственно уменьшается тормозная сила и увеличивается тормозной путь. При полном истирании рисунка протектора шины коэффициент сцепления снижается на 35–45 %.

На сухих и чистых дорожных покрытиях, практически независимо от модели шин и степени их износа, коэффициент сцепления до-

вольно высок: приблизительно от 0,6 до 1,4, что при необходимости обеспечивает быстрое торможение автомобиля и его высокую боковую устойчивость. Для сравнения: на заснеженных и обледенелых покрытиях он колеблется в значительно более низких пределах – от 0,05 до 0,3, но водителя при этом выручает верная психологическая установка на опасность, которую в подавляющем большинстве случаев бывает легко определить.

Наиболее коварными, как показывает практика, являются мокрые дорожные покрытия. Дело в том, что на них особенно резко меняются значения коэффициента сцепления – от 0,00 до 0,75. Во время дождя на поверхности дорожного покрытия всегда образуется пленка воды. Когда колесо катится, пленка из-под него выжимается выступами протектора в дренажные канавки и прорези, а частично – и за пределы зоны контакта шины с дорогой. Понятно, что для этого процесса всегда необходимо известное, хотя бы совсем малое, время. Поэтому при движении по мокрому покрытию в какой-то части пятна контакта покрывка всегда бывает оторвана от дороги водяной пленкой. Естественно, чем толще слой воды, тем больше времени требуется для его вытеснения выступами протектора и тем обширнее площадь пятна контакта, оторванная от дороги, а значит, и ниже коэффициент сцепления.

На коэффициент сцепления существенное влияние оказывает характер дорожного покрытия. На шероховатых поверхностях зона контакта осушается в основном благодаря выступающим каменным частицам, между которыми образуются дополнительные каналы, обеспечивающие быстрое удаление воды. При этом даже в дождь на подобных дорогах сохраняется довольно высокий коэффициент сцепления – от 0,4 до 0,75. С уменьшением шероховатости покрытия, естественно, возрастает роль дренажных канавок протектора, а на гладких поверхностях влага отводится только через них. Наименьший коэффициент сцепления характерен для заснеженных и обледенелых дорожных покрытий.

Согласно ТКП 140–2008 (02191) минимально допустимые значения коэффициента сцепления (табл. 6.1) установлены при скорости 60 км/ч. При этих значениях коэффициента сцепления рекомендуется проведение мероприятий по его повышению.

Минимально допустимые значения коэффициента сцепления

Категория дороги	Минимальные значения коэффициента сцепления при $v = 60$ км/ч
I–III	0,42
IV	0,40
V–VI	0,38

6.5. Измерение коэффициента сцепления прибором ППК-МАДИ

Прибор портативный ППК-МАДИ (рис. 6.3) предназначен для оперативного измерения коэффициента сцепления дорожных покрытий при строительстве и ремонте автомобильных дорог; приемке дорог в эксплуатацию; периодическом и текущем контроле состояния дорожных покрытий; обследовании мест дорожно-транспортных происшествий.

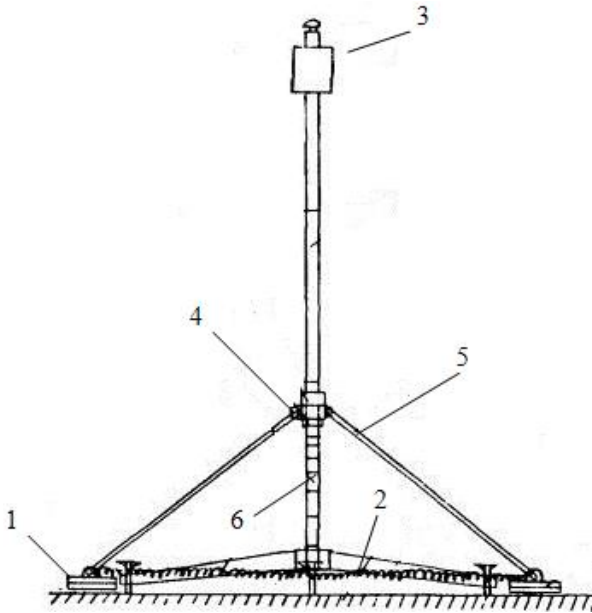


Рис. 6.3. Портативный прибор ППК-МАДИ:

1 – имитатор шин; 2 – пружина; 3 – груз; 4 – муфта; 5 – толкающая тяга; 6 – шкала

Габаритные размеры прибора в собранном виде $160 \times 730 \times 1760$ мм; время приведения прибора в рабочее состояние из транспортного 5 мин.

Принцип действия прибора основан на оценке потерь кинетической энергии сбрасываемого груза при трении имитаторов колеса автомобиля о покрытие при стандартизированной величине начальной потенциальной энергии.

При диагностировании дорог измерения следует проводить на каждой полосе движения по полосе наката. Температура воздуха должна быть не менее 0°C . Коэффициент сцепления следует измерять через каждые 200 м. Дорожное покрытие в местах измерения должно быть мокрым.

6.6. Определение коэффициента сцепления путем торможения

При отсутствии динамометрических прицепов степень скользкости оценивается путем торможения автомобиля на мокрых покрытиях. Измерения тормозного пути выполняются на прямых горизонтальных участках дороги при отсутствии сильного ветра и закрытии движения на участке измерений. Непосредственно перед каждым измерением коэффициента сцепления дорожное покрытие должно быть искусственно увлажнено так, чтобы обеспечить на нем расчетную пленку толщиной 1 мм.

Метод экстренного торможения. Автомобиль разгоняют до скорости 50 км/ч и производят торможение с полной блокировкой колес. В этом случае коэффициент сцепления вычисляют по длине тормозного пути:

$$\varphi_{\text{сц}} = \frac{v^2}{2g \cdot S_{\text{T}}} \pm i,$$

где v – начальная скорость торможения, м/с;

S_{T} – длина тормозного пути, м;

i – уклон участка, доли единицы.

Зависимость между тормозным путем и длиной видимого следа торможения на покрытии имеет вид

$$S_T = 1,09 / l_{\text{слт}},$$

где $l_{\text{слт}}$ – длина видимого следа торможения на покрытии, м.

Метод отрицательного ускорения. Автомобиль разгоняют до скорости 50 км/ч, трансмиссию отключают и производят торможение. Значение возникающего при этом отрицательного ускорения считают с показаний деселерометра.

Вычисляют среднее значение отрицательных ускорений в каждом направлении движения:

$$a = \sum_{i=1}^n a_i / n,$$

где a_i – ускорение при i -м замере;

n – число замеров.

Затем вычисляют расчетное значение отрицательного ускорения, которое принимается как среднее арифметическое измерений по ходу и против километража.

Коэффициент сцепления вычисляют по формуле

$$\varphi_{\text{сц}} = a / g \pm i.$$

Полученные данные сравниваются с предельно допустимыми, и, при необходимости, принимаются решения по ликвидации скользкости или снижению скорости движения на рассмотренном участке.

Анализ сцепных качеств дорожного покрытия

Сцепные качества покрытий характеризуются коэффициентом сцепления и шероховатостью покрытия. Для дорог, находящихся в эксплуатации, минимальные значения коэффициента сцепления, при которых рекомендуется проведение мероприятий по его повышению, приведены в табл. 6.1.

Для определения значения коэффициента сцепления могут применяться методы, обеспечивающие точность не менее 10 %.

Количественная оценка шероховатости покрытия проезжей части характеризуется значением средней глубины впадин $h_{\text{ср}}$.

Предельно допустимые значения средней глубины впадин эксплуатируемых покрытий приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Предельно допустимые значения средней глубины впадин эксплуатируемых покрытий

Категория дороги	Средняя глубина впадин $h_{\text{ср}}$, мм
I–III	0,45
IV	0,40
V–VI	0,35

Для определения значения средней глубины впадин могут применяться методы, обеспечивающие точность не менее 5 %.

По исходным данным к проекту коэффициент сцепления для исследуемой автомобильной дороги IV категории составляет 0,42. Сравнивая его с минимально допустимым значением коэффициента сцепления для автомобильной дороги IV категории, равным 0,40, заключаем, что данная дорога соответствует техническим нормам и не требует мероприятий по улучшению сцепных качеств дорожного покрытия.

Для измерения коэффициента сцепления на линиях разметки используются маятниковые приборы различных конструкций (рис. 6.4, 6.5).

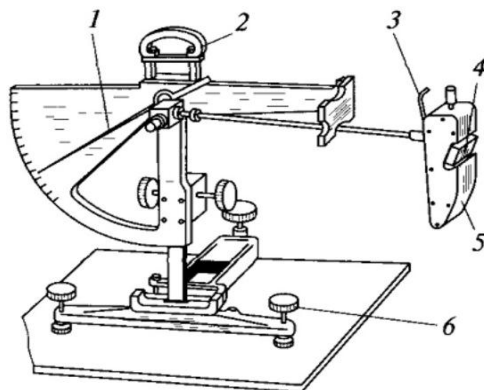


Рис. 6.4. Маятниковый прибор транспортной исследовательской лаборатории Великобритании:

1 – стрелка, фиксирующая отклонения маятника; 2 – ручка для переноски прибора; 3 – рычаг, перемещающий указательную стрелку при падении маятника; 4 – вставка из протекторной резины; 5 – маятник; 6 – установочные винты, обеспечивающие касание резины с поверхностью покрытия

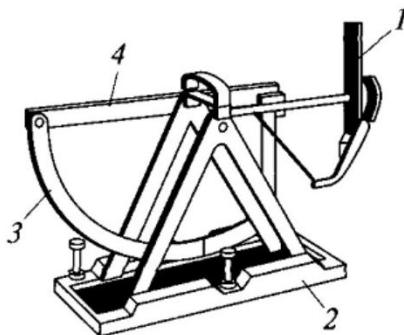


Рис. 6.5. Маятниковый прибор МП-3:
1 – маятник; 2 – станина; 3 – мерная шкала; 4 – штанга

Испытания следует производить по полосе наката на каждой полосе движения дороги с продольным уклоном на участке не более 10 %. Температура воздуха должна быть не ниже 0 °С. Коэффициент сцепления следует измерять через каждые 200 м. Дорожное покрытие в местах измерения должно быть мокрым.

7. ТВЕРДОСТЬ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

Одним из показателей эксплуатационных состояний нежестких дорожных одежд является твердость покрытия. Под твердостью подразумевается способность верхнего слоя покрытия сопротивляться проникновению других твердых тел. Твердость зависит от структуры и состояния асфальтобетона и особенности внедряемого тела.

7.1. Прибор для измерения твердости покрытия

Твердость покрытия определяют на всех типах покрытий, устроенных с использованием органических вяжущих, с помощью прибора – *твердомера*. Твердомер конструкции казахского филиала СоюздорНИИ (проф. О.А. Красиков) состоит из ударника с конической насадкой (ударник ДорНИИ) и измерительного устройства для замера глубины погружения конуса в покрытие. Аналогичная конструкция твердомера (модели ИП-18, И.А. Орехов) рекомендована к использованию в Беларуси (рис. 7.1).

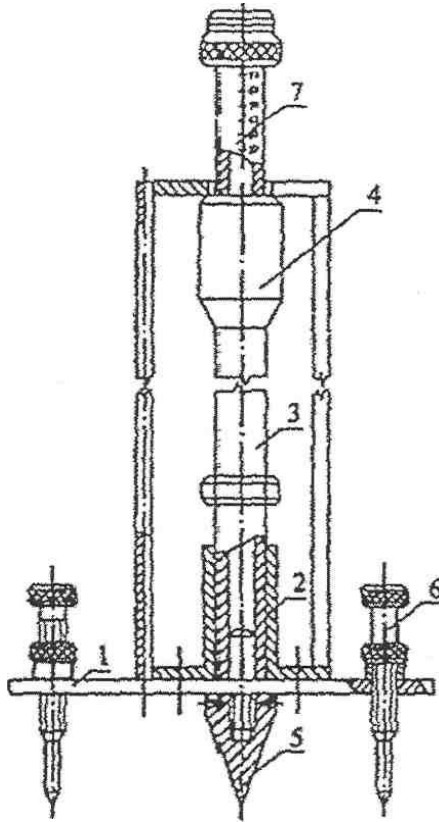


Рис. 7.1. Твердомер ИП-18:

- 1 – треугольная станина; 2 – направляющая втулка со стойками;
 3 – штанга с ограничителем; 4 – груз; 5 – коническая насадка;
 6 – установочные винты; 7 – шкала

7.2. Методика измерения твердости покрытия

Для определения твердости в выбранной точке верхнего слоя дорожного покрытия твердомер устанавливают на покрытие так, чтобы вершина конической насадки оказалась между щебенками покрытия. Затем с помощью установочных винтов и уровня треугольную станину 1 (см. рис. 7.1) устанавливают в горизонтальное положение. Перед началом испытания снимают первоначальный отсчет h_0 по

шкале 7 с точностью до 0,5 мм. После 10-кратного сбрасывания груза 4 массой 2,5 кг вдоль штанги 3 с высотой 300 мм снимают второй отсчет (h_i). Разность отсчетов определяет глубину погружения конуса в покрытие в миллиметрах, которая характеризует твердость (h_2) верхнего слоя покрытия при фиксированной температуре покрытия. Производится не менее 10 измерений с регистрацией средней температуры покрытия. Точки для измерения назначаются через равные расстояния (от 40 до 50 см) с чередованием полос наката. Показатель твердости подсчитывают как среднее арифметическое значение из 10 измерений.

Глубина погружения конической насадки определяется из выражения

$$H = h_1 - h_0.$$

Точки измерения назначаются через равные расстояния по полосе наката. Среднее значение твердости покрытия:

$$H_{\text{ср}} = (h_1 + h_2 + \dots + h_n) / n.$$

Температура покрытия на глубине 2–3 см от поверхности определяется по формуле

$$T_{\text{п}} = 1,3 t_b + 7,$$

где t_b – температура воздуха.

Одновременно с определением величины погружения конической насадки с помощью термометра производят измерение температуры покрытия на глубине от 2 до 3 см от поверхности. С помощью номограммы (рис. 7.2) среднее значение показателя твердости h для участка покрытия приводят к расчетной температуре 50 °С (если в процессе измерений температура покрытия резко изменялась, то к расчетной температуре приводят отдельные показатели твердости и лишь затем определяют его среднее значение). По полученному значению твердости назначают оптимальный для одиночной поверхностной обработки размер щебня.

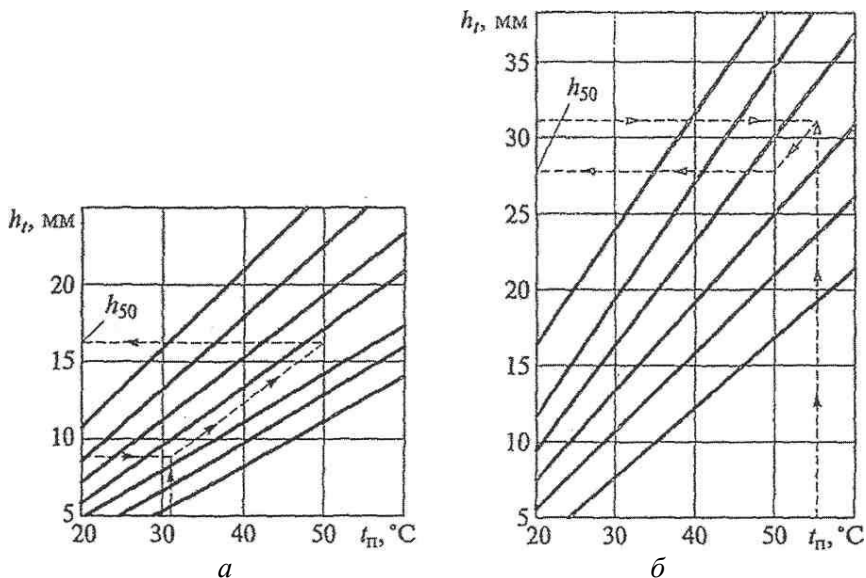


Рис. 7.2. Номограмма для приведения показателя твердости покрытия к расчетной температуре 50 °С:

a – для покрытий из горячих асфальтобетонных смесей; *б* – для покрытий из холодных битумино-минеральных смесей; стрелками показан порядок пользования номограммой

По глубине погружения конической насадки и температуре покрытия в момент измерения степень твердости покрытия выбирается в соответствии с таблицей.

Степень твердости покрытия

Степень твердости покрытия	Глубина погружения конической насадки, мм, при температуре покрытия, °С				
	10	20	30	40	50
Твердое	3,0–5,0	4,0–6,5	5,0–8,5	7,0–10,5	9,0–14,0
Нормальное	3,1–6,0	6,6–9,0	8,6–11,5	8,6–14,5	14,1–18,0
Мягкое	6,1–7,0	9,1–10,0	11,6–13,5	14,6–18,0	18,1–23,0
Очень мягкое	Более 7,0	Более 10,0	Более 13,5	Более 18,0	Более 23,0

Степень твердости учитывается при выборе способа устройства поверхностной обработки.

Одиночная поверхностная обработка устраивается при интенсивности движения до 1000 авт./сут на двухполосных дорогах (до 2000 авт./сут – на четырехполосных) независимо от твердости покрытия, а также при интенсивности движения до 4000 авт./сут на двухполосных дорогах (до 8000 авт./сут – на четырехполосных) на твердом, нормальном и мягком покрытиях.

Двойная поверхностная обработка устраивается при интенсивности движения более 4000 авт./сут на двухполосных дорогах (более 8000 авт./сут – на четырехполосных) на твердом и нормальном покрытиях и при выпотевании вяжущего до 80 % общей площади покрытия.

Одиночная поверхностная обработка с двукратной россыпью щебня устраивается при интенсивности движения более 4000 авт./сут на двухполосных дорогах (более 8000 авт./сут – на четырехполосных) на твердом и нормальном покрытиях и при выпотевании вяжущего более 80 % общей площади покрытия, а также на мягком покрытии.

При интенсивности движения более 1000 авт./сут на двухполосных дорогах (более 2000 авт./сут – на четырехполосных) на очень мягком покрытии устройство шероховатых слоев износа методом поверхностной обработки не рекомендуется. В этом случае рекомендуется устройство шероховатых покрытий с применением горячих и теплых асфальтобетонных смесей с повышенным содержанием щебня или по способу втапливания щебня в недоуплотненную горячую асфальтобетонную смесь.

8. УЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ И СОСТАВА ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Интенсивность движения автотранспорта и состав транспортных потоков являются основными показателями напряженности и работоспособности автомобильной дороги в целом и отдельных ее конструктивных элементов в частности. Учет интенсивности движения проводится с целью использования полученных данных при планировании развития дорожной сети, проектировании, строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог и сооружений на них, а также проведения мероприятий по организации дорожного движения.

Интенсивность движения – это количество транспортных средств, проходящих через сечение дороги в единицу времени.

Интенсивность движения на автомобильных дорогах определяется по перегонам. Для определения границ перегонов используется информация предыдущего учета интенсивности движения. Интенсивность движения считается одинаковой на всем перегоне.

Транспортные средства при учете подразделяются по группам и категориям.

Разделение по группам и категориям транспортных средств приведено в табл. 8.1–8.3 и на рис. 8.1.

Таблица 8.1

Классификация транспортных средств по группам при автоматическом учете стационарными счетчиками

Группа транспортных средств	Характеристика группы транспортных средств
1	Мотоциклы
2	Легковые автомобили и микроавтобусы
3	Легковые автомобили с прицепом
4	Грузовые автомобили
5	Автопоезда
6	Автобусы

Таблица 8.2

Классификация транспортных средств по группам
при автоматическом учете мобильными счетчиками

Группа транспортных средств	Характеристика группы транспортных средств
1	Легковой автомобиль, легковой автомобиль с прицепом
2	Двухосный грузовой автомобиль, микроавтобус
3	Трехосный грузовой автомобиль
4	Четырехосный грузовой автомобиль
5	Автопоезд, имеющий четыре оси (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)
6	Автопоезд, имеющий пять осей (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)
7	Автопоезд, имеющий три оси (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
8	Автопоезд, имеющий четыре оси (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
9	Автопоезд, имеющий пять осей (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
10	Автопоезд, имеющий пять осей (трехосный седельный тягач с полуприцепом)
11	Автопоезд, имеющий шесть осей
12	Автобусы
13	Другие неклассифицированные транспортные средства

Таблица 8.3

Классификация транспортных средств по группам
при визуальном учете

Группа транспортных средств	Характеристика группы транспортных средств
1	2
1	Мотоциклы, мотоциклы с коляской
2	Легковой автомобиль, легковой автомобиль с прицепом
3	Двухосный легкий грузовой автомобиль, микроавтобус
4	Двухосный грузовой автомобиль

1	2
5	Трехосный грузовой автомобиль
6	Четырехосный грузовой автомобиль
7	Автопоезд, имеющий четыре оси (двухосный грузовой автомобиль с прицепом)
8	Автопоезд, имеющий пять осей (трехосный грузовой автомобиль с прицепом)
9	Автопоезд, имеющий три оси (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
10	Автопоезд, имеющий четыре оси (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
11	Автопоезд, имеющий пять осей (двухосный седельный тягач с полуприцепом)
12	Автопоезд, имеющий пять осей (трехосный седельный тягач с полуприцепом)
13	Автопоезд, имеющий шесть осей
14	Сельскохозяйственная техника
15	Автобусы

В соответствии с классификацией Конвенции о дорожном транспорте Европейской экономической комиссии ООН транспортные средства подразделяются на следующие категории:

– *категория А*: механические транспортные средства, имеющие не более трех колес (мотоциклы с коляской или без коляски, включая мотороллеры и трехколесные мотоциклы);

– *категория В*: пассажирские и грузовые транспортные средства малой грузоподъемности (автомобили, включая грузопассажирские автофургоны, с количеством мест для сидения не более девяти, включая место водителя, и легкие автофургоны, допустимый максимальный вес которых не превышает 3,5 т). Пассажирские и грузовые транспортные средства малой грузоподъемности учитываются независимо от наличия или отсутствия прицепов, включая жилые прицепы и транспортные средства для отдыха;

– *категория С*: грузовые дорожные транспортные средства (грузовые автомобили, допустимый максимальный вес которых превышает 3,5 т; грузовые автомобили с одним или несколькими прицепами; тягачи с одним или несколькими прицепами и тягачи без прицепов

и полуприцепов) и специализированные транспортные средства (сельскохозяйственные тракторы, специализированные транспортные средства, такие как самоходные дорожные катки, бульдозеры, автокраны, автоцистерны армейского образца и другие дорожные механические транспортные средства, не указанные в других пунктах);

– категория *D*: городские автобусы, автобусы дальнего следования и троллейбусы.

Категории А и В характеризуют движение легких механических транспортных средств, а категории С и D – тяжелых.

По данным учета интенсивности движения на каждом перегоне автомобильной дороги рассчитывается:

- среднегодовая суточная интенсивность движения;
- наибольшая часовая интенсивность движения, повторяющаяся в течение не менее 50 ч в год;
- интенсивность движения, приведенная к легковому автомобилю;
- интенсивность движения по категориям транспортных средств.

Другие показатели интенсивности движения рассчитываются при необходимости.

Периодичность учета интенсивности движения на сети автомобильных дорог общего пользования I–IV категории – один раз в пять лет. На автомобильных дорогах V–VI категории учет интенсивности выполняют при необходимости.

Учет интенсивности движения проводится автоматизированным или визуальным (ручным) методом на стационарных и мобильных пунктах.

Для определения максимальной часовой и суточной интенсивности учет рекомендуется проводить в наиболее теплые дни в июле-августе по пятницам с 15 до 19 ч.

8.1. Учет интенсивности движения на стационарных пунктах

Учет интенсивности движения на стационарных пунктах ведется постоянно или периодически.

Стационарный пункт оборудуется автоматическим устройством учета интенсивности движения с постоянной записью данных в память устройства или только индуктивными петлями, заложенными

в покрытие дорожной одежды для последующего подключения счетчиков при периодическом учете интенсивности движения.

Учет интенсивности движения на стационарных пунктах ведется по группам транспортных средств в соответствии с классификационной схемой, представленной на рис. 8.1.













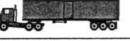
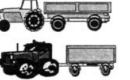

Система классификации транспортных средств с учетом рекомендаций ЕЭК ООН		№ группы	Графическое обозначение транспортных средств	Виды транспортных средств
Характеристика движения	Категория транспортных средств			
Движение легких механических транспортных средств	А	1		2-колесные и 3-колесные мотоциклы, мотороллеры, в том числе с коляской
		В	2	
	3			Пассажирские, грузопассажирские и грузовые легкие автомобили, автофургоны допустимый максимальный вес которых до 3,5т, микро-автобусы вместимостью 9 чел. (РАФ, ГАЗель, Форд-транзит и др.)
Движение тяжелых механических транспортных средств	С	4		2-осные грузовые автомобили
		5		3-осные грузовые автомобили
		6		4-осные грузовые автомобили
		7		4-осные автопоезда (2-осный грузовой автомобиль с прицепом)
		8		5-осные автопоезда (3-осный грузовой автомобиль с прицепом)
		9		3-осные седельные автопоезда (2- осный седельный тягач с полуприцепом)
		10		4-осные седельные автопоезда (2- осный седельный тягач с полуприцепом)
		11		5-осные седельные автопоезда (2- осный седельный тягач с полуприцепом)
		12		5-осные седельные автопоезда (3- осный седельный тягач с полуприцепом)
		13		6-осные седельные автопоезда
		14		Сельскохозяйственные тракторы и специализированная дорожная техника
		Д	15	

Рис. 8.1. Классификация транспортных средств по группам и категориям при визуальном учете

Данные стационарного автоматизированного учета интенсивности движения применяются для определения коэффициентов приведения (часовых, дней недели, месяцев) к среднегодовой суточной интенсивности движения по данным краткосрочного учета.

Наибольшая часовая интенсивность движения, повторяющаяся в течение не менее 50 ч в год, выбирается из данных часовой интенсивности стационарных пунктов учета по каждому суткам учета интенсивности.

Среднегодовая суточная интенсивность движения по данным стационарных пунктов рассчитывается в следующем порядке:

– определяется суточная интенсивность движения по каждой группе транспортных средств, для каждого суток учета – $N_{сут}$. Некорректные данные (при наличии сбоев) в работе автоматизированных средств учета в расчете $N_{сут}$ не принимаются;

– рассчитывается среднемесячная суточная интенсивность движения $N_{ср.м}$ по формуле

$$N_{ср.м} = \frac{\sum_1^n N_{сут}}{n},$$

где $N_{сут}$ – суточная интенсивность, авт./сут;

n – количество суток учета интенсивности.

При отсутствии данных в целом за месяц интенсивность движения за этот период рассчитывается по формуле

$$N_{ср.м.сут} = N_{ср.м.сут} \cdot K_{б.м},$$

где $N_{ср.м.сут}$ – среднемесячная суточная интенсивность движения базового месяца, авт./сут;

$K_{б.м}$ – коэффициент перехода от интенсивности базового месяца к определяемому месяцу для соответствующего типа автомобильной дороги.

Среднегодовая суточная интенсивность движения $N_{ср.г}$ рассчитывается по формуле

$$N_{ср.г} = \frac{\sum_1^{12} N_{ср.м}}{12}. \quad (8.1)$$

8.2. Учет интенсивности движения на мобильных пунктах

Учет интенсивности движения на мобильных пунктах следует проводить непрерывно не менее четырех часов в понедельник–пятницу в период с 8 до 20 ч, начиная и заканчивая с целого часа. Учет интенсивности следует начинать в период с 8 до 16 ч.

Учет интенсивности на мобильном учетном пункте может выполняться автоматизированным или ручным способом.

Учет интенсивности движения в праздничные, предпраздничные, выходные дни и дни, когда проходят общественные мероприятия и события, проводить не рекомендуется.

Минимальное количество раз проведения учета интенсивности движения визуальным методом на каждой точке учета при пятилетнем цикле учета – не менее четырех, один раз в квартал с перерывом в два месяца. При этом каждый раз учет интенсивности рекомендуется проводить в различные дни недели. Учет интенсивности проводится в течение всего года.

При интенсивности движения менее 1000 автомобилей в сутки учет интенсивности при пятилетнем цикле учета допускается проводить один раз в полугодие. Интенсивность движения допускается принимать по данным предыдущего учета.

Для оперативного определения среднегодовой суточной интенсивности движения расчет допускается выполнять по одноразовому учету.

При автоматизированном методе учет интенсивности ведется по группам транспортных средств в соответствии с классификационными схемами, приведенными в табл. 8.1–8.2.

При визуальном методе учет интенсивности ведется по группам транспортных средств согласно классификационной схеме, представленной в табл. 8.3. Среднегодовая суточная интенсивность движения рассчитывается в зависимости от количества раз кратковременного учета.

При одноразовом кратковременном учете среднегодовая суточная интенсивность движения рассчитывается по формуле

$$N_{\text{ср.г}} = N_{\text{ч}} \cdot K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{м}},$$

где $N_{\text{ч}}$ – учетная интенсивность движения за определенное (не менее 4 часов) количество часов, авт./сут;

$K_{\text{ч}}$ – коэффициент, учитывающий количество часов учета интенсивности движения;

$K_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий день недели учета интенсивности движения (табл. 8.4);

$K_{\text{м}}$ – коэффициент, учитывающий месяц учета интенсивности движения на республиканских и местных автомобильных дорогах (табл. 8.5, 8.6).

Таблица 8.4

Значение коэффициентов дня недели $K_{\text{д}}$

День проведения учета	Республиканские автомобильные дороги (Р)	Республиканские автомобильные дороги (М)	Местные автомобильные дороги
Понедельник	1,09	1,28	1,04
Вторник	1,00	1,06	1,05
Среда	1,01	1,03	1,00
Четверг	0,99	0,96	0,94
Пятница	0,92	0,88	0,91
Суббота	1,03	0,92	1,07
Воскресенье	1,02	1,06	1,09

Таблица 8.5

Таблица коэффициентов месяца $K_{\text{м}}$

Республиканские дороги	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
М	1,29	1,20	1,14	1,06	1,02	0,87	0,82	0,81	0,86	1,03	1,04	1,05
Р	1,21	1,18	1,12	1,06	1,01	0,94	0,88	0,86	0,9	0,99	0,99	1,00

Таблица 8.6

Таблица коэффициентов месяца K_M

Местные дороги	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
	1,39	1,27	1,21	1,05	1,00	0,91	0,87	0,84	0,85	0,90	0,97	1,04

При многоразовом кратковременном учете среднегодовая суточная интенсивность движения определяется по формуле

$$N_{\text{ср.г}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{ср.г}}^i}{n},$$

где $N_{\text{ср.г}}^i$ – среднегодовая суточная интенсивность движения, рассчитанная по формуле (8.1) для одноразового кратковременного учета, авт./сут;

n – количество раз кратковременного учета интенсивности движения.

Доверительный интервал $I_{\text{с.с}}$ среднегодовой суточной интенсивности движения определяется для 95 %-го уровня надежности по формуле

$$I_{\text{с.с}} = 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

где σ – стандартное отклонение, авт./сут, определяемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (N_i - N_{\text{ср}})^2}{n-1}},$$

где N_i – интенсивность движения i -го измерения;

$N_{\text{ср}}$ – средняя интенсивность движения из n измерений;

n – количество раз учета интенсивности движения.

Наибольшая часовая интенсивность движения, повторяющаяся в течение не менее 50 ч в год, рассчитывается по формулам:

- для республиканских автомобильных дорог (Р)

$$N_{50} = 0,082 \cdot N_{\text{ср.г}} ;$$

- республиканских магистральных автомобильных дорог (М)

$$N_{50} = 0,162 \cdot N_{\text{ср.г}} ;$$

- местных автомобильных дорог

$$N_{50} = 0,051 \cdot N_{\text{ср.г}} .$$

Максимальная часовая интенсивность движения рассчитывается по зависимости:

- для республиканских автомобильных дорог (Р)

$$N_{\text{макс. ч}} = 0,152 \cdot N_{\text{ср.г}} ;$$

- республиканских магистральных автомобильных дорог (М)

$$N_{\text{макс ч}} = 0,205 \cdot N_{\text{ср.г}} ;$$

- местных автомобильных дорог

$$N_{\text{макс. ч}} = 0,101 \cdot N_{\text{ср.г}} .$$

Максимальная суточная интенсивность движения рассчитывается по зависимости:

- для республиканских автомобильных дорог (Р)

$$N_{\text{макс. сут}} = 1,384 \cdot N_{\text{ср.г}} ;$$

- республиканских автомобильных дорог (М)

$$N_{\text{макс. сут}} = 1,523 \cdot N_{\text{ср.г}} ;$$

– местных автомобильных дорог

$$N_{\text{макс. сут}} = 1,308 \cdot N_{\text{ср.г.}}$$

Рассмотрим пример расчета среднегодовой суточной интенсивности движения.

Пример

Произведен двухразовый кратковременный учет интенсивности движения на автомобильной дороге с индексом Р. Дата учета: 11 апреля (среда) и 23 августа (четверг) 2007 года. Учет выполнялся по 4 часа непрерывно в период с 9 до 13 часов.

Рассчитать среднегодовую суточную интенсивность движения по результатам двухразового учета.

Исходные данные: учтенная интенсивность 11 апреля – 523 автомобиля, 23 августа – 712 автомобилей.

Расчет:

1. Определяем коэффициенты:

$$11 \text{ апреля } K_{\text{ч}} = 3,56; K_{\text{д}} = 1,01; K_{\text{м}} = 1,06;$$

$$23 \text{ августа } K_{\text{ч}} = 3,56; K_{\text{д}} = 0,99; K_{\text{м}} = 0,86.$$

2. Среднегодовая суточная интенсивность по данным 11 апреля

$$N_{\text{ср.г}} = 523 \cdot 3,56 \cdot 1,01 \cdot 1,06 = 1993 \text{ авт./сут.}$$

3. Среднегодовая суточная интенсивность по данным 23 августа

$$N_{\text{ср.г}} = 712 \cdot 3,56 \cdot 0,99 \cdot 0,86 = 2158 \text{ авт./сут.}$$

4. Среднегодовая суточная интенсивность движения по данным двухразового учета

$$N_{\text{ср.г}} = (1993 + 2158)/2 = 2076 \text{ авт./сут.}$$

5. Интервал доверия среднегодовой суточной интенсивности движения по результатам двухразового учета

$$I_{с.с} = 1,96 \cdot 162 / \sqrt{2} = 224 \text{ авт.},$$

что составляет 10,9 % от расчетной среднегодовой суточной.

6. Среднегодовая суточная интенсивность движения составляет

$$2076 \pm 224 \text{ авт./сут или } 2076 \pm 10,9 \% \text{ авт./сут.}$$

8.3. Метод краткосрочного (периодического) автоматизированного учета интенсивности дорожного движения и состава транспортного потока

Для проведения учета применяют счетчик-классификатор транспортных средств (далее – счетчик), включающий:

- микропроцессорный блок, обеспеченный клавиатурой, жидкокристаллическим экраном и устройствами считывания и записи информации, объемом памяти для хранения информации не менее 200 кбайт, специальным программным обеспечением (рис. 8.2);

- устройства, выполняющие прием сигнала от транспортных средств, проходящих через поперечное сечение автомобильной дороги, и передачу сигнала микропроцессорному блоку (далее детекторы транспорта);

- источник питания (автономный или внешний);

- вспомогательные средства;

- крепежные элементы детекторов транспорта.

Учет интенсивности необходимо производить одновременно по каждому направлению движения.

Минимальное время измерения на учетной точке – 4 ч. Температура воздуха должна быть не ниже 0 °С.

При подготовке к проведению учета интенсивности необходимо выполнить следующие работы:

- проверить наличие напряжения в соответствии с инструкцией по эксплуатации;

- визуально проверить внешнее состояние детекторов;

- установить и закрепить детекторы транспорта в соответствии с инструкцией по эксплуатации счетчика;

- настроить счетчик на требуемую схему учета интенсивности движения.



Рис. 8.2. Микропроцессорный блок счетчика-классификатора транспортных средств

При проведении учета необходимо выполнить следующие операции:

- активизировать программное обеспечение;
- зафиксировать дату и время начала измерения интенсивности;
- по окончании измерений проверить и сохранить информацию;
- отключить сенсоры.

Обработку результатов следует выполнять в следующей последовательности.

1. Определить суточную интенсивность движения каждой группы транспортных средств с точностью до 1 авт./сут по формуле

$$И_{\text{сут}} = N \cdot K,$$

где N – количество транспортных средств по группам, измеренные за t часов, авт.;

K – коэффициент приведения краткосрочных замеров к суточным.

2. Определить среднемесячную интенсивность движения за первый месяц квартала каждой группы транспортных средств с точностью до 1 авт./сут по формуле

$$I_1 = \frac{I_{1 \text{сут.р}} \cdot D_p + I_{\text{сут.в}} \cdot D_v}{D_p + D_v},$$

где $I_{1 \text{сут.р}}$ – суточная интенсивность движения в рабочий день первого месяца квартала, авт./сут;

$I_{\text{сут.в}}$ – то же в выходной день, авт./сут;

D_p – среднее количество рабочих дней месяца в квартале;

D_v – то же выходных дней.

3. Определить среднемесячную интенсивность движения за второй и третий месяцы квартала каждой группы транспортных средств с точностью до 1 авт./сут по формулам

$$I_2 = \frac{I_{2 \text{сут.р}} \cdot I_1}{I_{\text{сут}}};$$

$$I_3 = \frac{I_{3 \text{сут.р}} \cdot I_1}{I_{\text{сут}}},$$

где $I_{2 \text{сут.р}}$, $I_{3 \text{сут.р}}$ – суточная интенсивность движения в рабочий день второго и третьего месяца квартала соответственно, авт./сут.

4. Определить среднесуточную интенсивность движения за квартал каждой группы транспортных средств с точностью до 1 авт./сут по формуле

$$I_{\text{кв}} = \frac{\sum_{i=1}^3 I_i \cdot D_i}{\sum_{i=1}^3 D_i},$$

где D_i – количество дней в i -м месяце квартала.

5. Определить среднегодовую суточную интенсивность движения каждой группы транспортных средств с точностью до 1 авт./сут по формуле

$$I_{\text{год}} = \frac{\sum_{j=1}^4 I_{\text{кв } j} \cdot D_{\text{кв } j}}{D_{\text{г}}},$$

где $D_{\text{кв } j}$ – количество дней в j -м квартале;

$D_{\text{г}}$ – количество дней в году.

8.4. Пропускная способность автомобильных дорог

Пропускная способность – максимальное число автомобилей, которое может пропустить участок в единицу времени в одном или двух направлениях в рассматриваемых дорожных и погодно-климатических условиях.

Пропускная способность зависит от большого числа факторов: дорожных условий (ширины проезжей части, продольного уклона, радиуса кривых в плане, расстояния видимости и др.), состава потока автомобилей, наличия средств регулирования, погодно-климатических условий, возможности маневрирования автомобилей по ширине проезжей части, психофизиологических особенностей водителей и конструкции автомобилей. Изменение этих факторов приводит к существенным колебаниям пропускной способности в течение суток, месяца, сезона и года. При частом расположении помех на дороге происходят значительные колебания скорости, приводящие к появлению большого числа автомобилей, движущихся в группах, а также снижению средней скорости всего потока.

На пропускную способность маршрута в целом существенно влияет время, затрачиваемое на преодоление узких мест отдельных участков дороги. Продолжительность этого времени может меняться от нескольких десятков секунд на регулируемых пересечениях до нескольких минут на затяжных подъемах и железнодорожных переездах. Увеличение этого времени может резко изменить пропускную способность и создать заторы, а также увеличить протяжение участка, на котором сказывается влияние затора на режим движения автомобилей. Поэтому снижение продолжительности преодоления узких мест позволяет улучшить условия движения не только в их зоне, но и в целом по дороге, повысить ее пропускную способность.

Определение пропускной способности необходимо не только для выявления участков, требующих улучшения условий движения, но и

для оценки экономичности и удобства движения всего потока автомобилей по маршруту, выбора эффективных средств организации движения. Любая дорога может работать при загрузках различной интенсивности. При этом предельной будет интенсивность, соответствующая пропускной способности дороги. Эффективность транспортной работы дороги может характеризоваться как пропускной способностью, так и интенсивностью, при которой движение по дороге наиболее экономично и оптимально по условиям работы водителя.

Следует различать: теоретическую, практическую и расчетную пропускную способность.

Теоретическую пропускную способность P_T определяют расчетом для горизонтального участка дороги, считая постоянными интервалы между автомобилями и однородным составом транспортного потока (состоящим только из легковых автомобилей). Теоретическая пропускная способность полосы автомобильной магистрали составляет около 2900 легковых авт./ч.

Под *практической* понимают пропускную способность, которая обеспечивается на дорогах в реальных условиях движения. Различают два вида практической пропускной способности: максимальную P_{\max} , наблюдаемую на этапном участке; практическую P – в конкретных дорожных условиях.

Эталонный участок с максимальной практической пропускной способностью P_{\max} характеризуется следующими дорожными условиями: имеются горизонтальные прямолинейные участки, расстояние между пересечениями – более 5 км;

полос движения – не менее двух;

ширина полосы 3,75;

укрепленные обочины шириной 3 м;

расстояние видимости превышает 800 м;

сухое покрытие ровное, шероховатое;

транспортный поток состоит только из легковых автомобилей – на обочинах отсутствуют боковые препятствия, снижающие скорость; благоприятные погодные-климатические условия.

Практическая пропускная способность P соответствует пропускной способности участков, имеющих худшие условия по сравнению с эталонным.

Расчетная пропускная способность характеризует экономически целесообразное число автомобилей, которое участок может пропу-

стить в единицу времени в рассматриваемых дорожных условиях при принятой схеме организации движения.

Расчетная пропускная способность рассматривается как проектный показатель в совокупности с расчетной интенсивностью движения, который служит основой для назначения размеров геометрических элементов дорог и их сочетаний и на расчетную 20-летнюю перспективу обеспечивает оптимальные параметры работы дороги в специфических погодно-климатических условиях рассматриваемого района проектирования.

Показатель расчетной пропускной способности обосновывают расчетом.

Пропускная способность одной полосы движения, т. е. то максимальное количество единиц подвижного состава, которое может проследовать по дороге при движении с расчетной скоростью в одном направлении за определенный период времени, например 1 ч, определяется исходя из следующих данных:

v – заданная техническая скорость движения автомобилей, км/ч;

x – среднее расстояние (габаритная длина), занимаемое одним автомобилем (автопоездом), м;

t – интервал (промежуток времени) между следующими один за другим автомобилями, ч.

При этих показателях в течение 1 ч по дороге может быть пропущено N автомобилей (искомая пропускная способность), следующих друг за другом с интервалом

$$t = \frac{x}{v}.$$

Отсюда

$$N = \frac{1}{t} = \frac{1000 \cdot v}{x}, \text{ авт./ч.} \quad (8.2)$$

Коэффициент 1000 введен в числитель с целью обеспечить единство измерителей (поскольку скорость учитывается в км/ч, а расстояние – в м).

Однако на этом вывод выражения пропускной способности не заканчивается, так как величина x должна быть расшифрована и представлена как функция скорости v .

Величина x может быть представлена как сумма трех элементов – l_1, l_2, l_3 (рис. 8.3). l_1 – средняя габаритная длина единицы подвижного состава; l_2 – расстояние, проходимое автомобилем с установившейся скоростью за время так называемой реакции водителя (т. е. до момента осознания необходимости торможения); l_3 – дистанция торможения. Величина l_1 постоянная, а l_2 и l_3 – переменные, функционально зависящие от величины расчетной скорости движения. Величина l_2 представляет собой произведение

$$l_2 = \alpha v, \quad (8.3)$$

где α – продолжительность реакции водителя (обычно в пределах 0,5–1,0 с).

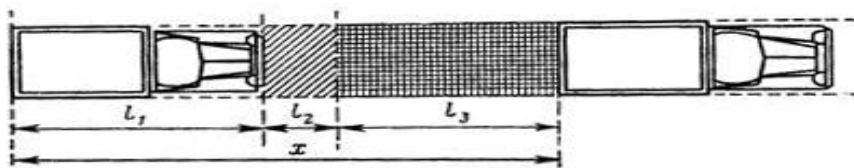


Рис. 8.3. Положение двух идущих один за другим автомобилей в условиях максимального использования пропускной способности одной полосы движения дороги

Так как величина l_2 должна быть получена в метрах, тогда как v берется в км/ч, а α – в секундах, то в формулу (8.3) вводятся дополнительные коэффициенты и она принимает следующий вид:

$$l_2 = \frac{1000}{3600} \alpha v = 0,277 \alpha v.$$

Дистанция торможения l_3 определяется исходя из величины живой силы, накопленной автомобилем к моменту начала торможения и полностью погашаемой к моменту остановки:

$$\frac{Mv^2}{2} = Q_M \cdot l_3,$$

где M – масса автомобиля;

Q – вес автомобиля (при условии, что все его колеса заторможены);

μ – коэффициент сцепления колес автомобиля с поверхностью проезжей части дороги при движении «юзом» (коэффициент трения скольжения).

Значения μ для сухой дороги 0,5–0,7; для обледеневшей – 0,1.

Поскольку живая сила может быть выражена через величину веса автомобиля, то

$$\frac{\omega^2}{g \cdot 2} = Q\mu \cdot l_3,$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести.

После сокращения обеих частей уравнения на величину Q определяют l_3 , одновременно преобразуя скорость из м/с в км/ч:

$$l_3 = \frac{v^2}{2 \cdot 9,81 \cdot \mu} \left(\frac{1000}{3600}\right)^2 = 0,004 \frac{v^2}{\mu}.$$

Учитывая, что χ определяется как сумма частных значений l_i , найденные значения подставляют в формулу (8.2) и получают формулу для определения пропускной способности одной полосы движения в окончательном виде:

$$N = \frac{1000}{l_1 + 0,28\alpha v + 0,004 \frac{v^2}{\mu}}.$$

Из анализа функциональной зависимости величины пропускной способности от скорости движения видно, что в данном случае приходится иметь дело с кривой второго порядка (рис. 8.4).

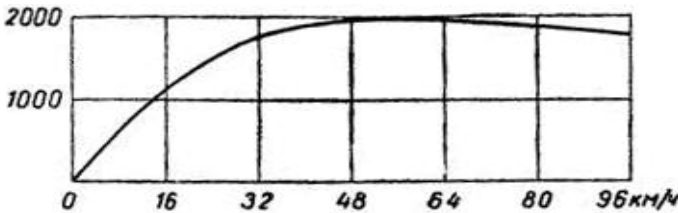


Рис. 8.4. Зависимость пропускной способности дороги от расчетной скорости движения для двухполосной дороги

Отсюда следует, что при каком-то определенном значении скорости пропускная способность достигает максимума, после чего начинается ее уменьшение. Это происходит потому, что при дальнейшем увеличении v возрастающая в квадратичной прогрессии и входящая в знаменатель дроби величина тормозной дистанции $\frac{1}{3}$ приобретает такие размеры, что общая величина дроби уменьшается, а пропускная способность снижается.

Аналогичным образом получены графики для дорог с числом полос, отличающимся от двух (рис. 8.5).

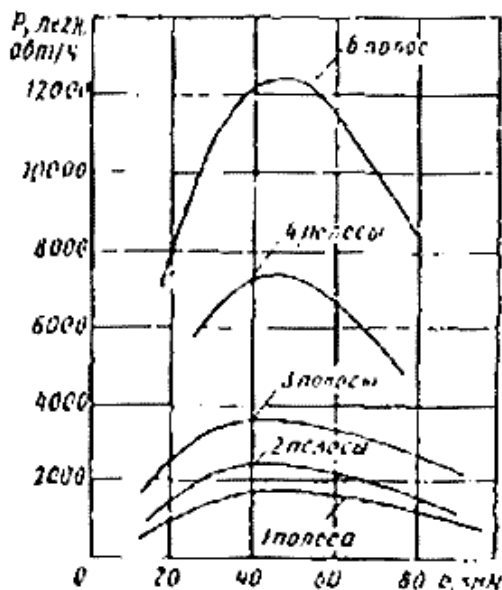


Рис. 8.5. Зависимость максимальной практической пропускной способности от скорости движения для дорог

От величины пропускной способности зависит количество полос движения, следовательно, и ширина проезжей части дороги.

Пропускная способность автомобильных дорог может быть повышена:

- 1) проектированием сочетания элементов плана и продольного профиля, не вызывающих резкого изменения скоростей;
- 2) назначением ширины проезжей части, позволяющей разделить поток автомобилей по составу (дополнительные полосы на подь-

емах, на пересечениях в одном уровне) и обеспечивающей оптимальную загрузку, при которой движение происходит с достаточно высокими скоростями;

3) повышением ровности покрытия и его сцепных качеств;

4) реконструкцией пересечений в одном уровне (например, устройство разных типов канализированных пересечений) или устройством пересечений на разных уровнях;

5) выбором средств регулирования, обеспечивающих рациональный режим движения;

6) снабжением водителей полной информацией об условиях движения по маршруту;

7) улучшением работы дорожно-эксплуатационной службы, особенно зимой.

Существенного увеличения пропускной способности дорог можно достигнуть путем повышения динамических качеств автомобилей, особенно их приемистости (возможность быстро набирать скорость с места), и мастерства водителей. Повышением пропускной способности можно добиться и увеличения скоростей с одновременным обеспечением безопасности движения. Это будет способствовать значительному повышению производительности автомобильного транспорта.

Для обоснования мероприятий по организации движения, оценки уровня удобства движения, инженерных мероприятий по повышению безопасности движения и пропускной способности за расчетную принимают часовую интенсивность движения N_q , составляющую 0,8 от максимальной N_{\max} , т. е. $N_q = 0,8 \cdot N_{\max}$.

Расчетная часовая интенсивность движения

$$N_q = 0,076 \cdot N_c,$$

где N_c – среднегодовая суточная интенсивность движения в обоих направлениях авт./сут.

Разрабатывая мероприятия, повышающие пропускную способность отдельных элементов дорог с ярко выраженным различием условия движения по направлениям (например, подъемы, пересечения в одном уровне и т. д.), необходимо учитывать эту неравномерность. Коэффициент неравномерности распределения интенсивности движения по направлениям в среднем можно принять равным 0,55. Тогда расчетная часовая интенсивность движения:

в одном направлении $N_1 = 0,046 \cdot N_c$;
 в другом направлении $N_2 = 0,03 \cdot N_c$.

При обосновании оптимальной загрузки дороги и планировании стадийных мероприятий, повышающих пропускную способность, необходимо устанавливать не только интенсивность движения на начальный и конечный годы перспективного периода, но и динамику ее изменения по годам по отношению к начальному году.

Определить перспективную интенсивность движения при ее линейном ежегодном изменении можно с использованием номограмм (рис. 8.6, 8.7).

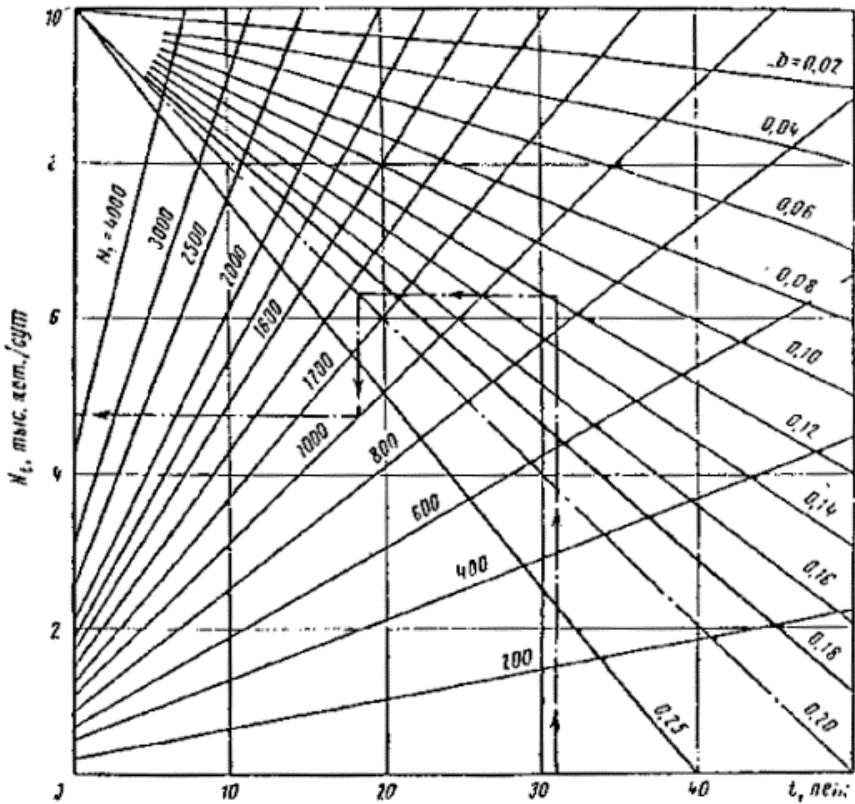


Рис. 8.6. Номограмма для определения перспективной интенсивности движения при линейном ежегодном приросте интенсивности

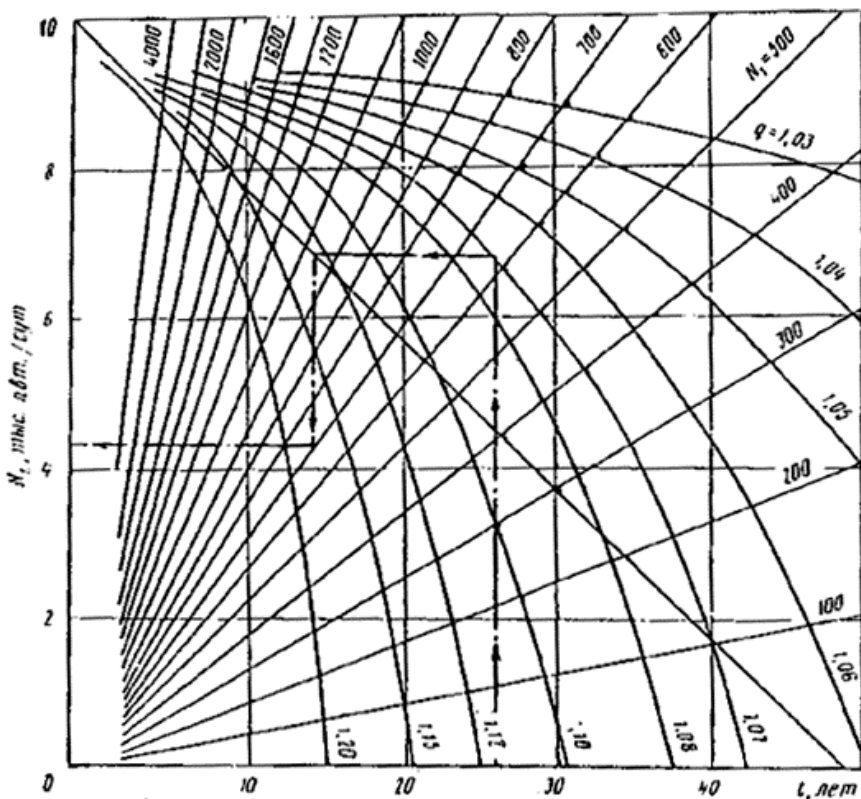


Рис. 8.7. Номограмма для определения перспективной интенсивности движения при ежегодном приросте интенсивности по геометрической прогрессии с постоянными темпами роста

8.5. Характеристика уровней удобства движения

Состояние потока автомобилей и условия движения на дороге характеризуются уровнем удобства движения, являющимся комплексным показателем экономичности, удобства и безопасности движения. Основными характеристиками уровней удобств являются: коэффициент загрузки движения Z , коэффициент скорости c , коэффициент насыщения движением Γ .

Коэффициент загрузки движением

$$z = N / P,$$

где N – интенсивность движения (существующая или перспективная), легковых автомобилей, авт./ч;

P – практическая пропускная способность легковых автомобилей, авт./ч.

Коэффициент скорости движения

$$c = v_z / v_0,$$

где v_z – средняя скорость движения при рассматриваемом уровне удобства, км/ч;

v_0 – скорость движения в свободных условиях при уровне удобства A , км/ч.

Коэффициент насыщения движением

$$\rho = q_z / q_{\max},$$

где q_z – средняя плотность движения, авт./км;

q_{\max} – максимальная плотность движения, авт./км.

Различают четыре уровня удобства движения на дорогах.

1. *Уровень удобства А.* Уровень удобства А соответствует условиям, при которых отсутствует взаимодействие между автомобилями. Водители свободны в выборе скоростей; максимальные скорости на горизонтальном участке – более 70 км/ч. Максимальная интенсивность движения не превышает 20 % от пропускной способности

Скорость практически не снижается с ростом интенсивности движения.

По мере увеличения загрузки число дорожно-транспортных происшествий не уменьшается и практически все они имеют менее тяжелые последствия.

2. *Уровень удобства Б.* При уровне удобства Б проявляется взаимодействие между автомобилями, возникают отдельные группы автомобилей, увеличивается число обгонов. При верхней границе уровня Б число обгонов наибольшее. Максимальная скорость на горизонтальном участке составляет примерно 80 % от скорости в свободных условиях, максимальная интенсивность – 50 % от пропускной способности.

Скорости движения быстро снижаются по мере роста интенсивности. Число дорожно-транспортных происшествий увеличивается с ростом интенсивности движения.

3. *Уровень удобства В.* При уровне удобства В происходит дальнейший рост интенсивности движения, что приводит к появлению колонн автомобилей. Число обгонов сокращается по мере приближения интенсивности к предельному значению для данного уровня. Максимальная скорость на горизонтальном участке составляет 70 % от скорости в свободных условиях; отмечаются колебания интенсивности движения в течение часа. Максимальная интенсивность составляет 75 % от пропускной способности.

С ростом интенсивности движения скорости снижаются незначительно.

Общее число дорожно-транспортных происшествий увеличивается с ростом интенсивности движения.

4. *Уровень удобства Г.* Уровень удобства Г разделяют на два подуровня (Г-а и Г-б), которые характеризуют изменение движения плотного потока автомобилей при интенсивности, близкой к пропускной способности или равной ей.

Уровень удобства Г-а. При уровне удобства Г-а создается колонное движение с небольшими разрывами между колоннами. Обгоны отсутствуют. Между проходами автомобилей в потоке преобладают интервалы меньше 2 с. Наибольшая скорость составляет 50–55 % от скорости в свободных условиях. Максимальная интенсивность движения равна пропускной способности; наблюдается значительное колебание интенсивности в течение часа.

Скорости движения с ростом интенсивности меняются незначительно. Число дорожно-транспортных происшествий непрерывно увеличивается и начинает несколько снижаться при интенсивности движения, близкой к пропускной способности.

Уровень удобства Г-б. При уровне удобства Г-б автомобили движутся непрерывной колонной с частыми остановками; скорость в периоды их движения составляет 35–40 % от скорости в свободных условиях, а при заторах равна нулю. Интенсивность меняется от нуля до интенсивности, равной пропускной способности.

Число дорожно-транспортных происшествий уменьшается по сравнению с другими уровнями. Снижаются также их тяжесть и величина потерь.

Уровни удобства, характеризующие изменение взаимодействия автомобилей в транспортном потоке, следует использовать:

для обоснования числа полос движения как на всей дороге, так и на ее отдельных участках (в первую очередь на тех, где в дальнейшем будет затруднена реконструкция: большие мосты; участки, проходящие через плотную застройку; участки с высокими насыпями и др.);

для обоснования ширины полосы отвода;

при разработке стадийных мероприятий по повышению пропускной способности;

для выбора средств регулирования движения;

при установлении предельной интенсивности для рассматриваемой категории дороги с учетом района ее приложения и движения на ней.

Уровень удобства движения может меняться по длине дороги и для каждого участка в течение суток, месяца, года. Расчеты следует проводить на оптимальный уровень удобства (средний для всей дороги или ее участка). При проектировании и эксплуатации дорог необходимо обеспечивать оптимальный уровень удобства движения для дороги каждой категории.

9. СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ И ЭЛЕМЕНТЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБУСТРОЙСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

9.1. Основные светотехнические величины

Свет представляет собой электромагнитное излучение, имеющее длину волны в пределах 380–760 нм. Мощность светового излучения, оцениваемая по способности создавать ощущение света, называется световым потоком F . Единица светового потока – люмен (лм). Для характеристики пространственной плотности светового потока введено понятие силы света. **Сила света** источника представляет собой отношение светового потока F к величине телесного угла ω , в котором равномерно распределено излучение:

$$I_s = \frac{F}{\omega}.$$

Телесным углом называется часть пространства, ограниченная конической поверхностью. За единицу телесного угла – стерадиан (стер) – принимается угол, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную квадрату радиуса данной сферы.

Силу света измеряют в канделах (кд).

Световой поток от источника излучения, падая на поверхность, освещает ее. Интенсивность освещения оценивается величиной освещенности E . *Освещенность* равна отношению светового потока F к площади освещаемой поверхности S , на которой он равномерно распределен:

$$E_s = \frac{F}{S}.$$

Единица освещенности носит название люкс (лк). В зависимости от расположения поверхности, на которой проводятся измерения, по отношению к источнику света можно измерять горизонтальную и вертикальную освещенность.

Для расчетов расстояний видимости на дорогах ночью и оценки эффективности осветительных установок измеряют горизонталь-

ную освещенность проезжей части и вертикальную освещенность встречающихся на дороге препятствий.

Одним из наиболее важных понятий в светотехнике является яркость, так как она характеризует свечение источников света и освещаемых предметов. Она является той величиной, которую глаз непосредственно воспринимает. Яркость какого-либо предмета или источника света зависит от направления наблюдения, но не зависит от расстояния, на котором этот предмет рассматривается. Яркость B бесконечно малой поверхности dS под углом α к ней можно определить как отношение ее силы света dI к величине светящей в этом направлении поверхности $dS \cos \alpha$.

За единицу яркости принята кандела (нит).

$1 \text{ нит} = 10^{-4} \text{ кд/см}^2 = 10^{-4} \text{ стиль} = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ ламберт.}$

Яркость освещаемых поверхностей зависит от коэффициентов яркости или коэффициентов отражения. Эти коэффициенты изменяются в зависимости от угла падения и отражения света и от оптических свойств поверхности, отражающей световой поток.

Учитывая направление освещения и отражения светового потока, можно рассматривать следующие разновидности коэффициентов яркости и коэффициентов отражения: коэффициент направленного освещения γ ; коэффициент рассеянного или полурассеянного отражения ρ ; интегральный коэффициент отражения при рассеянном освещении R .

Коэффициент яркости направленного освещения γ_i определяется по отношению яркости исследуемой поверхности B_i в строго определенном направлении к яркости B_v , одинаково освещенной с ней равнорядкой поверхности, имеющей коэффициент отражения ρ , равный единице.

Коэффициентом отражения ρ называется отношение отраженного потока к величине потока, упавшего на данную поверхность.

Коэффициенты отражения изменяются в пределах от 0 до 1, а коэффициенты яркости могут быть больше 1. Коэффициент яркости направленного освещения γ_i используется для расчетов яркости проезжей части и препятствий при стационарном освещении и освещении дороги светом фар.

Коэффициент яркости рассеянного освещения также иногда используется для расчетов яркости проезжей части дорог и улиц. С помощью коэффициента рассеянного и полурассеянного отражения

оценивают светотехнические характеристики различных поверхностей. Для общей оценки отражательной способности дорожного покрытия можно использовать интегральный коэффициент отражения.

9.2. Требования к освещенности автомобильных дорог

Восприятие водителем дорожной ситуации, его психофизиологическое состояние во многом зависят от светотехнических характеристик дорожного покрытия и системы освещения дороги.

Освещение дороги предусматривается в местах повышенной опасности (на больших мостах, автобусных остановках, автозаправочных станциях, переездах, пересечениях дорог I и II категорий, в транспортных тоннелях и под путепроводами), на дорогах I категории при расчетной интенсивности 20 тыс. авт./сут. Средняя горизонтальная освещенность обочин должна быть не менее: 8 лк на дорогах I категории, 6 лк – на дорогах II категории и 4 лк – на соединениях, ответвлениях и пересечениях в разных уровнях. Яркость проезжей части дорог и мостов должна быть: I категория – $0,8 \text{ кд/м}^2$; II категория – $0,6 \text{ кд/м}^2$ и на соединениях, ответвлениях и пересечениях в разных уровнях – $0,4 \text{ кд/м}^2$. Однако вне населенных пунктов основным источником освещения дороги являются фары автомобилей. На гладких покрытиях лучи света отражаются, и для водителя создается определенный дискомфорт, который приводит к утомляемости, снижению производительности труда. Кроме того, высокая зеркальность покрытия усугубляет слепимость водителей встречного транспорта. Шероховатые покрытия способствуют рассеиванию света и световозвращению, что обеспечивает лучшее восприятие водителем особенностей проезжей части и других участников дорожного движения.

При оценке светотехнических качеств дорожного покрытия обычно определяют коэффициент диффузного отражения светового потока и индикатрису рассеивания светового потока.

9.3. Определение коэффициента диффузного отражения

Приборы и инструменты. Приборы СФБ-2 и ФБО содержат блок питания, измерительный микроамперметр, головку, эталонную поверхность с диффузным отражением светового потока. В головке приборов имеются: источник светового потока, оптическая система,

позволяющая получать прямолинейный пучок световых лучей, и селеновый фотоэлемент, преобразующий отраженный от измеряемой поверхности световой поток в электрический сигнал.

Порядок выполнения работ. Прибор устанавливается на горизонтальную поверхность. Блескомер подключается к сети, а кнопка переводится в положение «сеть», выдерживается 5–10 мин, и после этого производится корректировка микроамперметра до нулевого положения.

Измерение коэффициента диффузного отражения начинают с эталонного образца. При этом головка прибора устанавливается на эталонную поверхность, а с помощью рукояток настройки «грубо» и «точно» микроамперметр выводится на отметку 1,0. Затем головка переводится на исследуемую поверхность. Отсчет берется по микроамперметру. Результаты измерений в различных точках покрытия и при различном его состоянии заносятся в ведомость (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Результаты измерений коэффициента диффузного отражения

Место измерения			Номер измерения	Показания прибора		Значение коэффициента диффузного отражения		Примечание
км	ПК	+				Сухое покрытие	Мокрое покрытие	

Среднее значение коэффициента диффузного отражения вычисляется по формуле

$$\rho = S_{\text{н}}(\text{ср}) / S_{\text{эт}}$$

где $S_{\text{эт}}$ – площадь индикатрисы эталонной поверхности.

На основе данных измерений могут быть вычислены необходимые статистические характеристики эксперимента.

По данным измерения и вычисленного ρ делается анализ отражательной способности покрытия. Как показывают измерения, для асфальтобетонных покрытий $\rho = 0,14-0,17$, а для цементобетонных $\rho = 0,30-0,35$.

9.4. Определение светорассеивающей способности дорожного покрытия

Приборы и инструменты: установка в виде координатно-поворотной базы, на которой размещены источник питания БС-23, объектив, механический модулятор, фотоэлектронный умножитель ФЭУ-84, усилитель В6-9, самописец Н-339 и осциллограф С1-65А (рис. 9.1).

Принципы работы установки заключаются в следующем. Оптическая ось приемного устройства (объектива) наводится в заданную точку освещенного покрытия. Отраженный дорожным покрытием световой поток собирается в фокусе объектива O и модулируется модулятором M . Модулированный световой поток с частотой 1 кГц подается в фотоприемник, который преобразовывает его в электрический сигнал. Далее этот сигнал поступает в усилитель Б6-9, настроенный на частоту модулятора, после которого записывается на самописец. Осциллограф С1-65А служит для визуального контроля сигналов с фотоприемника и микровольтметра В6-9. Все приборы установки питаются от двух аккумуляторов общим напряжением 24 В. Постоянный ток аккумуляторов с помощью преобразователя преобразуется в переменный ток напряжением 220 В.

Порядок выполнения работ. Автомобиль с включенными фарами устанавливается на расстоянии с таким расчетом, чтобы оптическая ось фар пересеклась с дорожным покрытием в исследуемом участке дороги. Правильность выбора местоположения автомобиля контролируется по освещенности с помощью люксметра. Затем в работу включается измерительная установка (рис. 9.2).

Измерение проводится под углом от 0 до 180° с разрешением 5° в перпендикулярной полотну дороги плоскости, проходящей по оси движения транспорта (рис. 9.3).

Одновременно производится измерение отражения света от эталонной поверхности. Результаты заносятся в таблицу (табл. 9.2).

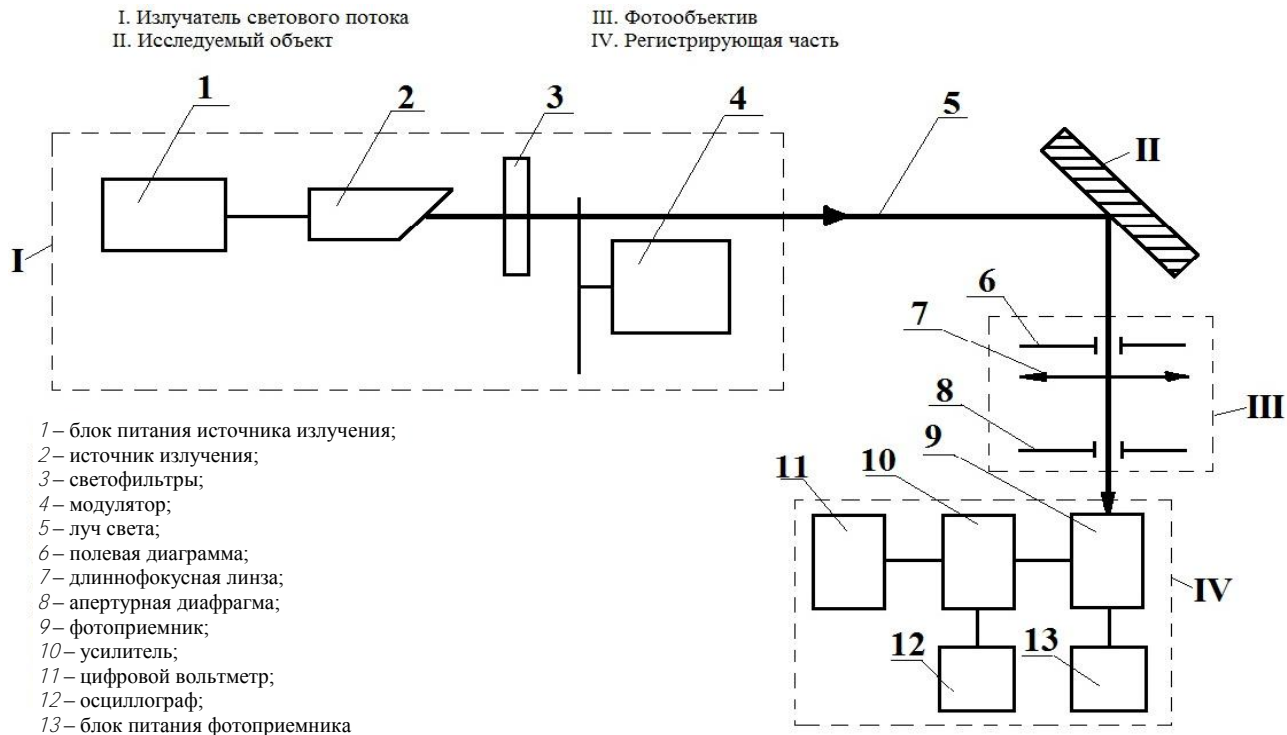


Рис. 9.1. Блок-схема установки для измерения индикатрис рассеивания светового потока в лабораторных условиях

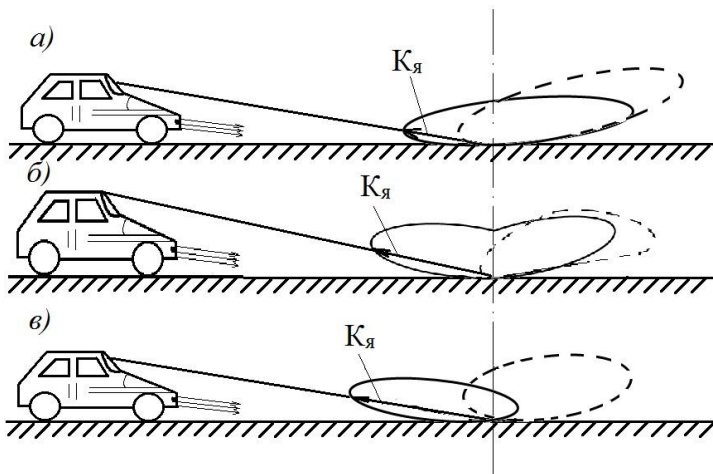


Рис. 9.2. Схема отражения света фар автомобиля и видимости покрытия:

- щебень, обработанный битумом;
- - - щебень, не обработанный битумом;
- a* – щебень 2,5–5 мм;
- б* – щебень 5–10 мм;
- в* – щебень 10–15 мм

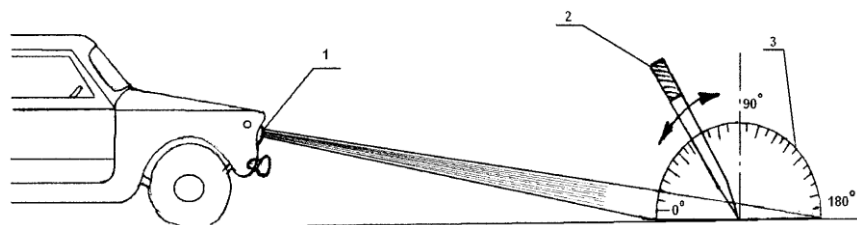


Рис. 9.3. Схема измерения индикатрис рассеивания светового потока в полевых условиях:

- 1 – источник света; 2 – установка для измерения индикатрис; 3 – лимб

Таблица 9.2

Результаты измерения отражающей способности покрытия

Место измерения			Номер измерения	Угол измерения	Значение индикатрисы	
км	ПК	+			возвратной	попутной
				0		
				5		
				...		
				180		

Обработка результатов измерений. На основании данных табл. 9.2 можно вычислить ряд светотехнических характеристик, а именно:

1. Коэффициент яркости $K_{я}$:

$$K_{я} = \frac{x_{и}}{x_{эт}}$$

где $x_{и}$ – численное значение индикатрисы исследуемой поверхности в направлении глаз водителя;

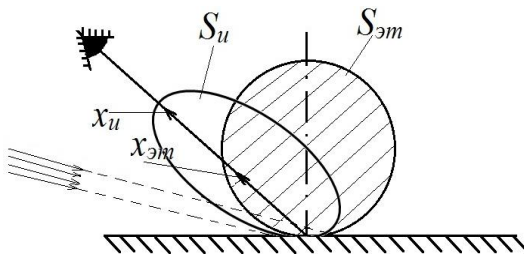
$x_{эт}$ – численное значение индикатрисы эталонной поверхности в направлении глаз водителя.

2. Коэффициент отражения S :

$$S = \frac{S_{и}}{S_{эт}}$$

где $S_{и}$ – площадь индикатрисы исследуемой поверхности;

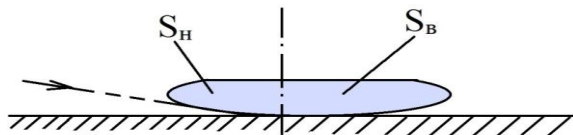
$S_{эт}$ – площадь индикатрисы эталонной поверхности с коэффициентом отражения, равным единице.



3. Коэффициент световозвращения K_c :

$$K_c = \frac{S_{\text{и}}}{S_{\text{н}} + S_{\text{в}}},$$

где $S_{\text{н}}$ и $S_{\text{в}}$ – площади индикатрисы, характеризующие количество света, отраженного соответственно назад и вперед.



На основании анализа данных измерений можно сделать выводы о светотехнических характеристиках дорожного покрытия. При $S_{\text{вз}} > S_{\text{пт}}$ на дороге появление бликов маловероятно, световозрастающая способность хорошая. При $S_{\text{вз}} = S_{\text{пт}}$ индикатриса имеет форму круга, а отражение света носит диффузный характер. При $S_{\text{вз}} < S_{\text{пт}}$ имеет место зеркальное отражение, создающее неблагоприятные условия для водителей встречного транспорта, и требуются меры по повышению шероховатости покрытия.

9.5. Измерение светотехнических характеристик дорожных знаков и разметки

Для контроля светотехнических качеств дорожных знаков используются спектрофотометры и ретрорефлектометры различных моделей. Спектрофотометры могут работать в различных диапазонах длин волн, а следовательно, измерять различные цвета на текстурированных и структурированных поверхностях. К числу стационарных и переносных спектрофотометров, получивших широкую известность, можно отнести приборы, выпускаемые американской компанией X-Rite, немецкие Elektro-Phisik и ВУК-Gardner, британской Sheen.

Для оценки световозвращающих качеств дорожной разметки используются различные ретрорефлектометры. Среди них ZRM-1013, Retro-Sign, QD30, LTL 2000SQ и др. С помощью этих приборов определяется коэффициент световозвращения дорожной разметки и дорожных знаков с прямым считыванием показаний (кд/лк·м²).

10. ДЕФОРМАЦИИ И ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В процессе эксплуатации автомобильных дорог под влиянием транспортных нагрузок и погодных-климатических факторов их конструктивные элементы изнашиваются, деформируются и повреждаются. В итоге возникают различные дефекты. Принято считать, что дефект – это любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам, нарушающим исправность, работоспособность или правильность функционирования объекта. Применительно к автомобильным дорогам в зависимости от вида объекта различают дефекты земляного полотна, дорожной одежды, искусственных сооружений, элементов инженерного и архитектурного благоустройства.

10.1. Классификация дефектов

Дефекты могут быть конструктивными (проектными), производственными, технологическими и эксплуатационными. К конструктивным (проектным) относят дефекты, которые были допущены в процессе разработки проекта в силу неправильного исполнения технического задания и использования нормативной документации, ошибочности в вычислениях. Производственные дефекты возникают в результате несоответствия требованиям проектной документации, фактически реализованным техническим решениям (ширина земляного полотна, уклон дороги, радиус скругления и т. д.). Технологические дефекты обусловлены нарушением технологической дисциплины, несоблюдением технологических правил и режима производства работ, отсутствием настоящего контроля за ходом работ. В процессе эксплуатации дороги возникают дефекты, которые являются следствием естественного старения материалов, износа конструкций, влияния погодных-климатических факторов, воздействия транспортных нагрузок и других причин. Их можно назвать эксплуатационными дефектами.

Эксплуатационные дефекты бывают двух видов: организационно-технологические дефекты и дефекты, возникшие в результате повреждения дорожной конструкции транспортными средствами или погодных-климатическими факторами. Первые возникают при нарушении дорожными рабочими технологических правил содер-

жания и ремонта дорог, а вторые – вследствие естественного взаимодействия транспортных потоков с дорогой и влияния на дорогу окружающей среды. Таким образом, *повреждением* считается дефект, образовавшийся в результате воздействия на дорогу климатических, механических, химических и других факторов.

По значимости и их месту в системе оценки состояния дорожно-го объекта дефекты подразделяются на следующие разновидности:

– *м а л о з н а ч и т е л ь н ы е* дефекты – дефекты, которые существенно не влияют на использование сооружения по назначению и его долговечность;

– *с к р ы т ы е* дефекты – дефекты, для выявления которых в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, не предусмотрены соответствующие правила, методы и средства;

– *в а н ы е* дефекты – дефекты, для выявления которых в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, предусмотрены соответствующие правила, методы и средства;

– *у с т р а н и м ы е* дефекты – дефекты, устранение которых технически возможно и экономически целесообразно;

– *н е у с т р а н и м ы е* дефекты – дефекты, устранение которых технически невозможно или экономически нецелесообразно;

– *з н а ч и т е л ь н ы е* дефекты – дефекты, которые существенно влияют на использование сооружения (продукции) по назначению и на его долговечность, но не являются критическими;

– *к р и т и ч е с к и е* дефекты – дефекты, при наличии которых использование сооружения (продукции) по назначению практически невозможно или недоступно.

Классифицировать дефекты автомобильных дорог можно и по другим классификационным признакам. Так, например, по влиянию на сплошность дорожной конструкции, деформации, разрушению, содержанию и т. п.

Сплошность дорожной конструкции нарушается при появлении трещин (одиночных, частных, сетки трещин, раскрытых и др.). Деформации дорожного покрытия приводят к образованию дефектов в виде волн, просадок, колеи и сдвигов. К разрушениям относятся выбоины, выкрашивания, шелушение, проломы, сколы кромок, гребенка. Повышенное содержание битума в асфальтобетонном покрытии при высокой температуре воздуха приводит к выпотеванию вяжущего, а это тоже считается дефектом. К дефектам зимнего со-

держания относятся: снежный накат, снежный вал, зимняя скользкость, гололед, рыхлый снег на проезжей части и др.

10.2. Отказы дорожных объектов

Отказом называется событие, при котором нарушается работоспособное состояние объекта вследствие недопустимого изменения его параметров или свойств под влиянием внутренних физико-химических процессов и внешних механических, климатических или иных воздействий. Критерии отказа зависят от особенностей и характера рассматриваемого объекта, однако во всех случаях под ними следует понимать признаки или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической (проектной) документации. Отказ – это одно из основных понятий теории надежности.

Причинами отказа являются условия, в которых функционирует рассматриваемая техническая система, явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа. Последствия отказа могут быть самые различные в зависимости от объекта и значимости отказа. Отказы классифицируются по ряду признаков – уровню прямых и косвенных потерь, трудоемкости восстановления работоспособности и т. п. *Критичность* отказа – это совокупность признаков, характеризующих последствия отказа.

Терминологическая классификация для отказов представлена на рис. 10.1.

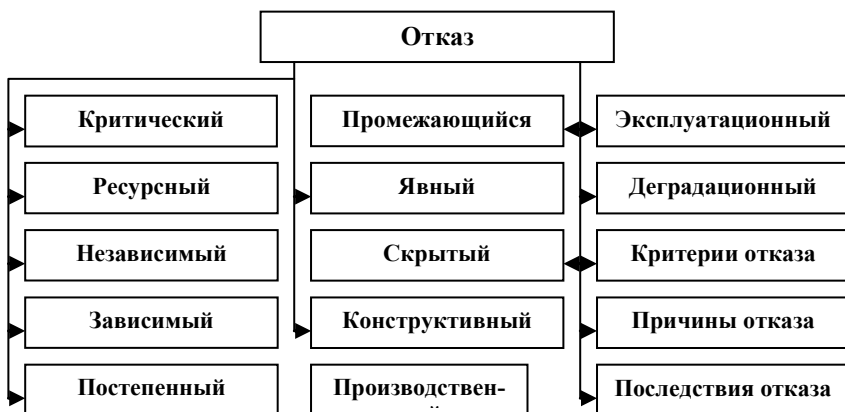


Рис. 10.1. Классификация отказов

Каждый из этих терминов имеет свое значение, а поэтому целесообразно учитывать их определения.

Критический отказ – отказ, при котором дальнейшая эксплуатация объекта может привести к опасным последствиям.

Ресурсный отказ – отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния.

Независимый отказ – отказ, не обусловленный другими отказами.

Зависимый отказ – отказ, обусловленный другими отказами.

Внезапный отказ – отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или несколько параметров.

Постепенный отказ – отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

Промежающийся отказ – многократно возникающий, самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

Явный отказ – отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к приемке в эксплуатацию.

Скрытый отказ – отказ, не обнаруживаемый визуально, штатными методами и средствами контроля, диагностированием, но выявленный при проведении технического обслуживания или с помощью специальных методов исследования.

Конструктивный отказ – отказ, возникающий по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ – отказ, возникающий по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса строительства или ремонта объекта.

Эксплуатационный отказ – отказ, возникающий по причине, связанной с нарушением установленных правил и условий эксплуатации.

Деградационный отказ – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и норм проектирования, строительства и эксплуатации.

Отказы автомобильных дорог и отдельных сооружений имеют решающее значение при определении надежности и долговечности покрытий. Специфика эксплуатации дорог требует особого подхода как в установлении, так и в определении надежности.

10.3. Дефекты асфальтобетонных дорожных покрытий*

Под влиянием света, тепла, кислорода воздуха битумные материалы, используемые для покрытий дорог, стареют. В процессе старения одни их составные части улетучиваются или окисляются, другие агрегируют и уплотняются. Пластичность битумов уменьшается, увеличивается хрупкость, появляются трещины. Это особенно опасно в агрессивных химических средах.

Соединения, входящие в состав битумных материалов, благодаря сложности и высокой степени полимеризации обладают относительно высокой кислотостойкостью. Однако от продолжительного воздействия концентрированных растворов минеральных кислот битумные материалы разрушаются. Битумы и композиции на их основе, изготовленные с применением кислотостойких заполнителей (природных и искусственных), стойки против длительного воздействия серной кислоты при концентрации ее не более 50 %, соляной – 30 %, азотной – 25 %, уксусной – 70 %, фосфорной – 80 %.

Длительное воздействие концентрированных водных растворов (до 40–50 %), едких щелочей и карбонатов щелочных металлов при обычной и повышенной температуре вызывает постепенное разрушение битумных составов. Даже насыщенные растворы извести, например в бетоне, омыляют битумы. На них не действуют водные растворы минеральных и органических солей. Битумные материалы хорошо противостоят неокисленным органическим кислотам, но в органических растворителях растворяются.

Коррозия битумов приводит к снижению физико-механических свойств асфальтобетона и возникновению в дорожных покрытиях различного рода дефектов.

Дефекты дорожных покрытий (дорожных одежд) – это отклонения геометрических параметров, текстуры и структуры дорожной одежды от нормативных требований. В зависимости от характера, местоположения и величины дефекты подразделяются на следующие виды.

Трещины – дефекты нарушения сплошности дорожного покрытия, возникающие в результате знакопеременной нагрузки, усталостных явлений, температурного расширения и других факторов (рис. 10.2).

* Параграф 10.3 написан с участием И. С. Мельниковой.

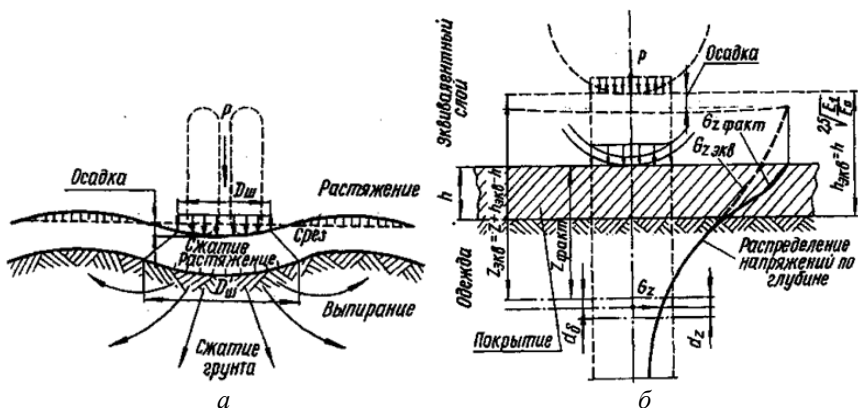


Рис. 10.2. Деформации и напряжения в дорожной конструкции: а – под нагрузкой автомобиля; б – при выборе расчетной модели

Увеличение числа и протяженности трещин свидетельствует о начале процесса разрушения дорожной одежды. Для асфальтобетонных покрытий характерны температурные, отраженные, силовые, технологические, усталостные трещины.

Температурные трещины образуются за счет возникновения температурных растягивающих напряжений при охлаждении покрытия. Появляются, как правило, по истечении нескольких лет вследствие старения битума, из-за чего асфальтобетон теряет свою деформационную способность при отрицательной температуре. Образуются на всю ширину покрытия с четко выраженным шагом от 2 до 25 м, ширина раскрытия меняется при суточном изменении температур (рис. 10.3).

Отраженные трещины (рис. 10.4) возникают в результате концентрации напряжений в асфальтобетоне в зоне существующих швов и трещин основания при перемещениях плит и блоков основания (рис. 10.5) в результате охлаждения слоев. Развиваются в асфальтобетонном покрытии на цементобетонном основании, имеющем деформационные швы, а также при укладке новых слоев асфальтобетона на старое покрытие с наличием трещин (средний и капитальный ремонты). Имеет место значительная извилистость и ширина раскрытия трещин. Также их образованию способствует действие транспортных нагрузок, неоднородность подстилающих

грунтов или переувлажнение отдельных участков, наличие пучинистых грунтов. Через определенный период эксплуатации приобретают вид силовых трещин.



Рис. 10.3. Температурные трещины



Рис. 10.4. Отраженные трещины

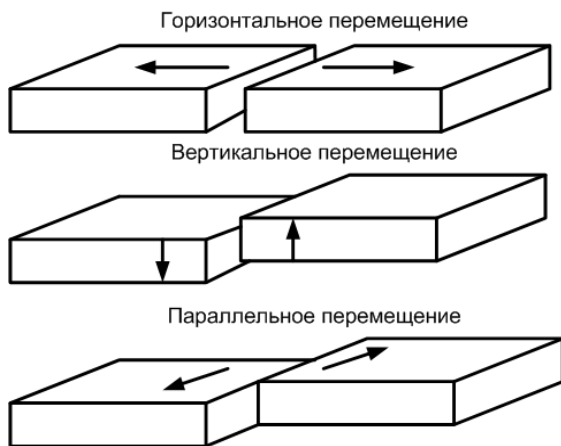


Рис. 10.5. Виды деформаций нижележащего слоя покрытия

С и л о в ы е трещины образуются за счет возникновения напряжений от действия транспортной нагрузки при недостаточной несущей способности основания и (или) при недостаточной прочности асфальтобетона на изгиб. Это одиночные трещины с ответвлениями и искривлениями под разными углами к оси проезжей части или сетка трещин (рис. 10.6).



Рис. 10.6. Силовые трещины

Технологические трещины возникают в результате неправильного подбора состава асфальтобетонной смеси, нарушения технологии устройства слоев и уплотнения смеси, а также в местах продольных и поперечных сопряжений смежных полос асфальтобетонного покрытия, сопряжения покрытия проезжей части с остановочными, переходно-скоростными полосами. Для них характерны незначительная глубина и прогрессирующее развитие разрушения кромок трещин (рис. 10.7).



Рис. 10.7. Технологические трещины

Усталостные трещины образуются из-за циклического воздействия транспортной нагрузки с последующим накоплением повреждаемости в структуре материала и его разрушением. Возникают преимущественно в виде поперечных трещин на нижней поверхности дорожного покрытия вследствие прогиба слоев дорожной одежды, затем в течение 6–12 лет, в зависимости от интенсивности движения и климатических факторов прорастают на всю толщину дорожного покрытия.

Различают также отдельные частые трещины и сетку трещин.

Отдельные трещины – поперечные и косые трещины, не связанные между собой, среднее расстояние между которыми – четыре и более метра. При определении дефектов дорог записывается общая длина трещин в погонных метрах.

Частью трещины – поперечные и косые трещины с ответвлениями, иногда связанные между собой, но, как правило, не образующие замкнутых фигур; среднее расстояние между соседними трещинами – 1–4 м. При диагностировании дорог площади участков с трещинами измеряются в квадратных метрах.

Сетка трещин – взаимопересекающиеся поперечные, продольные и криволинейные трещины, делящие поверхность ранее монолитного покрытия на ячейки. Дефекты измеряются в квадратных метрах.

Существует несколько направлений по обеспечению трещиностойкости дорожных покрытий. Основные из них на стадии проекта – материаловедческий (связан с улучшением свойств асфальтобетонов на восприятие растягивающих напряжений) и конструктивно-технологический (основан на выборе эффективного конструктивного решения).

Своевременный ремонт и устранение трещин являются важной задачей и на стадии эксплуатации. Ремонт производят, как правило, весной и осенью, когда трещины имеют значительное раскрытие. Работы выполняют при сухом покрытии, в сухую погоду при температуре воздуха не ниже +5 °С. При наличии отраженных трещин с вертикальными перемещениями плит, а также силовых в виде сетки трещин предусматривается замена разрушенных конструктивных слоев дорожной одежды, устройство слоев усиления. Борются с трещинами также герметизацией без разделки, разделкой с последующим заполнением минеральной смесью или битумно-полимерным вяжущим. В местах, где несколько трещин расположены рядом или образовалась сетка трещин, устраивается поверхностная обработка на всей площади. Также возможно принятие кардинального решения – через три–четыре года эксплуатации производить нарезку деформационных швов сжатия в асфальтобетонных покрытиях аналогично цементобетону.

Выбоины – местные разрушения дорожного покрытия, имеющие вид углублений с резко очерченными краями, образовавшиеся за счет разрушения материала покрытия. При диагностике дорог измеряются в квадратных метрах. Причинами образования выбоин могут быть недоуплотнение материала в данном месте, применение неоднородного или загрязненного примесями материала, образование трещин или мест повышенного динамического воздействия колес автомоби-

лей из-за неровности покрытия и т. д. Для предотвращения развития выбоин по площади и глубине необходимо принимать экстренные меры по их устранению сразу после обнаружения (рис. 10.8).



Рис. 10.8. Выбоины

Заплаты – участки, на которых исходное дорожное покрытие было удалено и заменено сходным или другим материалом; измеряются в метрах квадратных и являются результатом применения ямочного ремонта, при некачественном выполнении которого ровность ухудшается за счет разности в уровнях поверхности покрытия и заплат. Заплаты также оказывают влияние на однородность яркости покрытия (рис. 10.9).



Рис. 10.9. Заплаты

Колейность – дефект дорожного покрытия, обусловленный наличием на проезжей части колеи – продольных углублений правильной формы в местах наката, систематического приложения нагрузок от колес подвижного состава (рис. 10.10, 10.11).

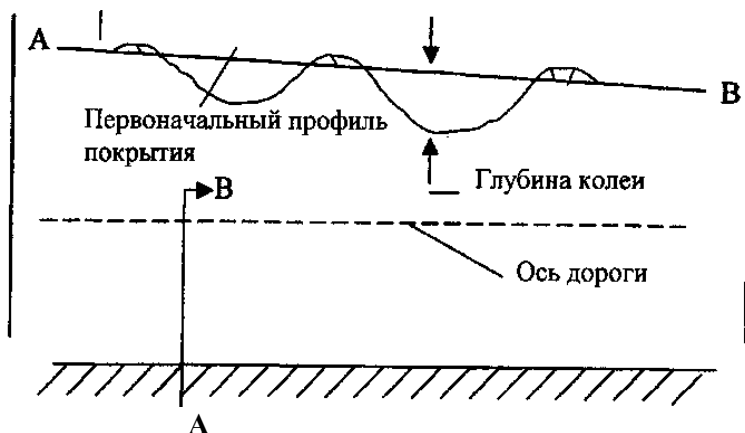


Рис. 10.10. Поперечный профиль покрытия с образовавшейся колеи (схема)



Рис. 10.11. Измерение колеиности

Колейность образуется при значительных (предельных) осевых нагрузках вследствие реологических свойств материалов и недостаточной прочности конструкции дорожной одежды. Под влиянием тяжелых автомобилей, при интенсивном движении колеиность может прогрессировать и привести к образованию трещин, проломов. Наличие колеиности затрудняет выполнение маневров автомоби-

лей, ухудшает водоотвод с покрытия и повышает опасность дорожного движения. При диагностике автомобильных дорог колейность различают по глубине: до 15 мм (рис. 10.12), от 15 до 30 мм (рис. 10.13), свыше 30 мм (рис. 10.14); ее протяженность измеряют в метрах погонных.



Рис. 10.12. Колейность менее 15 мм



Рис. 10.13. Колейность от 15 до 30 мм



Рис. 10.14. Колейность более 30 мм

Измерения колеи выполняют ручным и инструментальным способами. При ручном способе измерений на гребни колеи в полосе наката укладывается рейка с рекомендуемой длиной 2 м. Глубиной колеи считается максимальный просвет под рейкой, измеренный в миллиметрах. Колея измеряется по каждой полосе движения отдельно в прямом и обратном направлении. Основной инструментальный способ измерения колеи – лазерным профилографом. При использовании профилографа глубина колеи рассчитывается при помощи программного обеспечения, входящего в состав оборудования. Допускается использование другого оборудования для измерения глубины колеи, в том числе ультразвукового. В этом случае результаты следует привести к измеренным с помощью рейки.

Ремонтные мероприятия по устранению колеи делятся на две группы:

1. Способы ликвидации колеи без устранения или с частичным устранением причин колееобразования:

а) частичное холодное или горячее фрезерование, при котором срезаются гребни вдоль колеи, а глубина колеи уменьшается до допустимых пределов;

б) частичное горячее фрезерование по полосам наката методом Remix и укладки снятого слоя на всю глубину колеи с добавлением нового материала с его перемешиванием и уплотнением;

в) двойная поверхностная обработка или укладка слоя холодных литых асфальтобетонных смесей;

г) укладка тонкого слоя покрытия на всю ширину проезжей части горячим или холодным способом без фрезерования старого покрытия.

2. Способы ликвидации колеи с устранением причин колееобразования:

а) ремонт и усиление дорожной одежды с исправлением поперечного профиля всей проезжей части и укладкой новых, дополнительных слоев покрытия, усиление их геосетками и т. д.;

б) перестройка всей старой дорожной одежды, а иногда и укрепление или замена грунта верхней части земляного полотна, а также замена дорожной одежды нежесткого типа на одежду с цементобетонным покрытием.

Выкрашивание – разрушение дорожного покрытия в результате потери им отдельных зерен минерального материала – гравийного, щебеночного на покрытиях переходного типа за счет потери связи между зернами материала на усовершенствованных покрытиях нежесткого типа при плохом сцеплении (адгезии) зерен щебня с битумом; при плохом перемешивании смеси, использовании в покрытии некачественных материалов; при укладке материала в дождливую или холодную погоду или при недоуплотнении покрытий. При диагностике дорог измеряется в квадратных метрах (рис. 10.15).



Рис. 10.15. Выкрашивание и шелушение

Шелушение – разрушение поверхности покрытия за счет отделения наружных тонких пленок материала, вызванное воздействием воды и отрицательных температур (см. рис. 10.15). Особенно интенсивно происходит при частом замерзании и оттаивании покрытия и при использовании соляных смесей для борьбы с гололедом. Интенсивность шелушения зависит от качества материалов.

Пористые и слабые материалы более чувствительны к колебаниям температуры и чаще подвержены шелушению. Шелушение асфальтобетонных покрытий наиболее интенсивно происходит в весенний период при частом оттаивании и замерзании верхних слоев. С увеличением числа переходов температуры через ноль интенсивность шелушения возрастает. При диагностике дорог измеряется в квадратных метрах.

Разрушение кромок – разрушение краев покрытия в виде сетки трещин или откалывания от материала (рис. 10.16). Обламывание кромок происходит при переезде колес тяжелых автомобилей через кромку, при ударах колес на стыках цементобетонных плит, а также при недостаточной прочности дорожной одежды в прикромочной зоне. При диагностике автомобильных дорог измеряется в погонных метрах. Для предохранения кромок покрытия от повреждения в местах сопряжения их с обочинами устанавливают бордюры, устраивают краевые полосы, укрепляют обочины, швы между плитами заделывают мастикой.



Рис. 10.16. Разрушение кромок

Среди приведенных выше дефектов наиболее характерными можно считать трещины. Показателем наличия трещин является трещиноватость, которая характеризуется индексом трещиноватости

$$\text{ИТ} = \frac{\sum \bar{l}_{\text{п}} + \sum \bar{l}_{\text{пр}} + \sum \bar{l}_{\text{к}}}{1000}, \quad \frac{\text{п.м.}}{1000 \text{ м}^2},$$

где $\bar{l}_{\text{п}}$, $\bar{l}_{\text{пр}}$, $\bar{l}_{\text{к}}$ – длина продольных, поперечных и косых трещин соответственно.

На дороге, ширина которой постоянна, трещиноватость может оцениваться индексом как отношение общей длины трещин к гектометру или километру ее длины.

Появление температурных трещин снижает эксплуатационные качества дорожного покрытия, в частности, ухудшает ровность. При достаточной ширине раскрытия они могут стать причиной усталостных разрушений. Проникающая через трещины вода приводит к протеканию деструктивных процессов в нижних конструктивных слоях, уменьшению несущей способности грунта земполотна и всей дорожной конструкции.

Количество трещин увеличивается с повышением жесткости асфальтобетонных слоев, интенсивности движения, старением покрытия.

Трещины на асфальтобетонных покрытиях, уложенных на несвязные гравийные и щебеночные основания, как правило, начинают образовываться через две зимы на третью. Площадь покрытия, пораженная температурными трещинами, вычисляется по зависимости

$$F_t = \frac{1000}{\left[105 \cdot (t_T - 2)^{-1,44} + (505 \cdot (t_T - 2)^{-1,13}) \cdot (H_n - 80)/100 \right]} \cdot K_T \cdot K_6, \text{ м},$$

где t_T – срок службы покрытия от момента строительства или капитального ремонта до момента прогнозирования, лет;

H_n – толщина слоев, содержащих органическое вяжущее;

K_T – коэффициент, учитывающий влияние типа асфальтобетона и свойств вяжущего на релаксационную способность (табл. 10.1);

K_6 – коэффициент влияния типа (марки) битума (табл. 10.1).

Таблица 10.1

Значение коэффициентов K_T и K_B

Влияющие факторы асфальтобетона	K_T	K_B
Тип А	1,1	–
Тип Б	1,0	–
Тип В	0,9	–
Тип Г, Д	0,8	–
Марка битума БНД 60/90	–	0,9
Марка битума БНД 90/130	–	1,0
Марка битума БНД 130/200	–	1,2
Битум, модифицированный полимерами	–	1,5

10.4. Дефекты цементобетонного покрытия

Трещины. Для цементобетонных покрытий характерны поверхностные (очень тонкие) и сквозные трещины. Поверхностные тонкие трещины, расположенные через каждые 0,5–1 см в различных направлениях, образуются в период твердения бетона в результате усадки при неудовлетворительном уходе за ним. Сквозные трещины имеют произвольное очертание и расположение. Причины появления таких трещин могут быть разными. Трещины могут образоваться в связи с недостаточной прочностью земляного полотна, вызванной морозным пучением, а также малой толщиной бетонной плиты или неоднородностью самого бетона. Кроме того, несовпадение в плане прокладки шва по горизонтали, недостаточная устойчивость конструкции каркаса шва и плохое закрепление штырей приводят к образованию сквозных трещин, расположенных параллельно поперечным швам на расстоянии около 25 см от них. При диагностике дорог определяется общая длина трещин в погонных метрах (рис. 10.17), для частых трещин определяется площадь участка с дефектом в метрах квадратных.

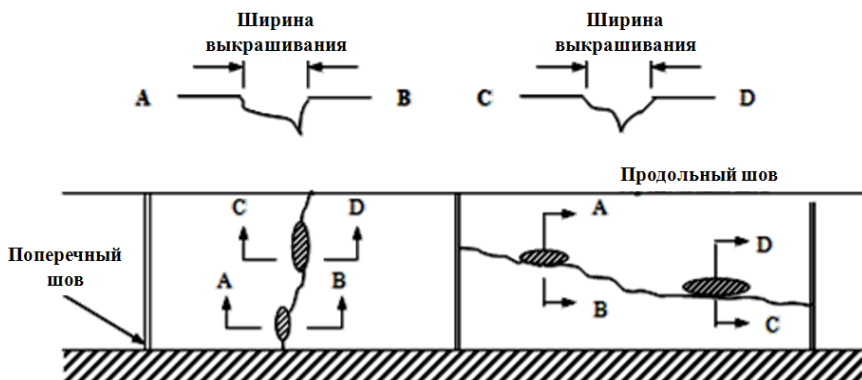


Рис. 10.17. Продольные и поперечные трещины

Незаполненные швы – швы, не заполненные мастикой (рис. 10.18). Общая длина дефекта записывается в погонных метрах.

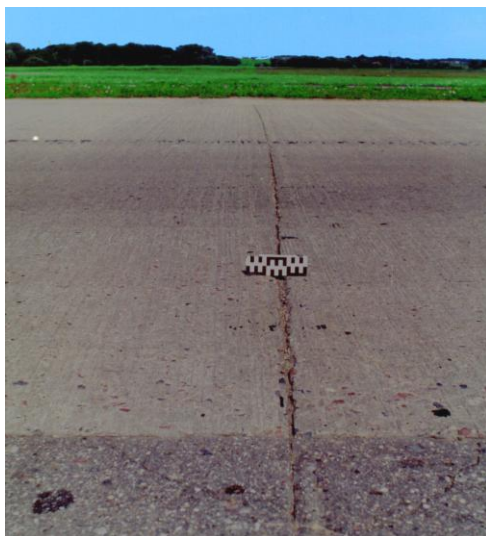


Рис. 10.18. Незаполненные швы

Повреждение кромок шва – сколы и выкрашивание бетонных плит размером до 10 см от шва (рис. 10.19, 10.20). Общая длина дефекта измеряется в погонных метрах.



Рис. 10.19. Повреждение кромок швов

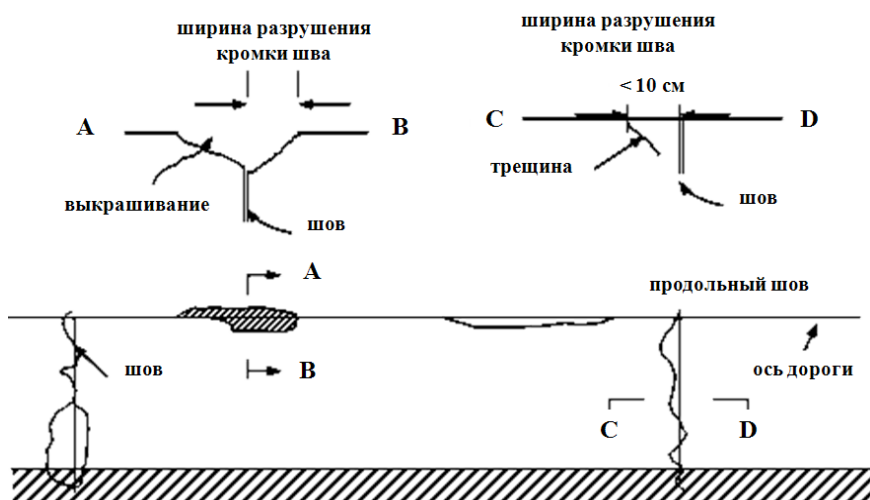


Рис. 10.20. Повреждение кромок швов

Заплаты – замененная плита или ее часть (нанесение дополнительного материала после первоначального строительства) (рис. 10.21). При диагностике измеряется площадь заплат в квадратных метрах.

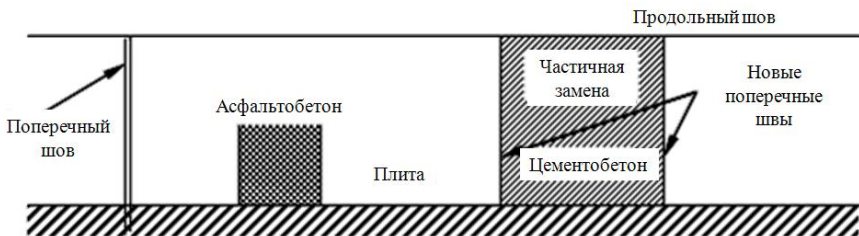


Рис. 10.21. Заплаты

Смещение по высоте смежных элементов – разность по высоте между обеими сторонами шва или трещины (рис. 10.22). Записывают число вертикальных смещений плит.

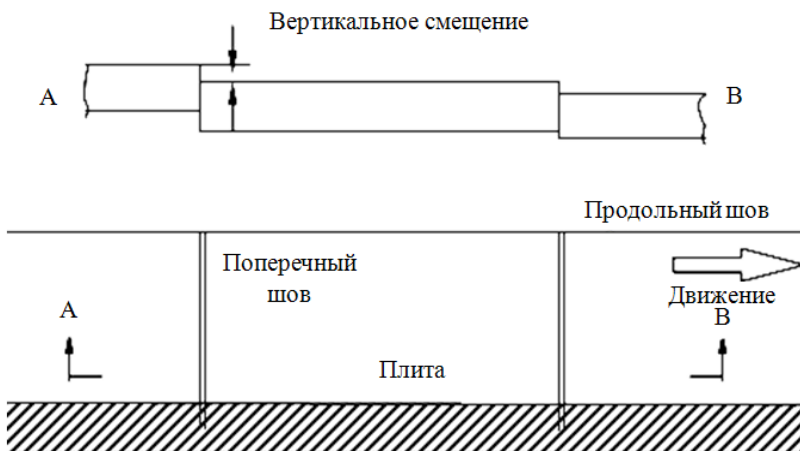


Рис. 10.22. Смещение по высоте смежных элементов

Разрушение плит – потеря целостности плит с образованием повреждений отдельных ее участков и наличием сколов, выбоин, трещин, отсутствие единой поверхности (рис. 10.23). Площадь дефектов поверхности записывается в квадратных метрах.

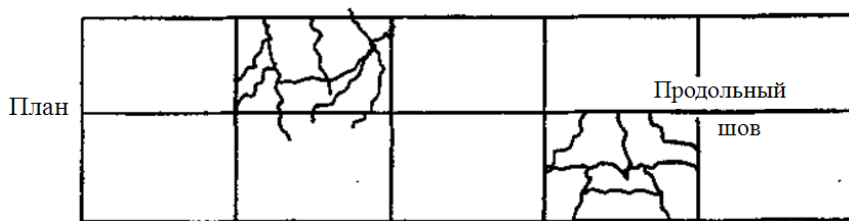


Рис. 10.23. Разрушение плит (схема)

Выкрашивание поверхности обработки – потеря щебня на участках с поверхностной обработкой. Площадь повреждения записывается в квадратных метрах.

10.5. Дефекты земляного полотна

Земляное полотно – это основание автомобильной дороги, предназначенное для размещения дорожной одежды, элементов дорожного обустройства, непосредственно связанное с различными дорожными сооружениями (мостами, виадуками, акведуками, галереями, тоннелями и др.).

Основными дефектами земляного полотна можно считать:

осадку насыпей – заметное при визуальном осмотре понижение уровня земляного полотна на протяжении более 20 м (в том числе на болотах);

просадки – осадки земляного полотна на протяжении до 20 м;

сползание насыпи – сдвиг насыпи или ее части относительно оси дороги;

сползание откосов – сдвиг грунта откосов насыпи при уменьшении ширины обочины более чем на 20 см; появление выемок при нарушении водоотвода в кюветах;

размывы откосов – образование промоин глубиной более 10 см;

размывы обочин – промоины обочин на протяжении более 10 м при глубине от поверхности покрытия более 4 см (кромка покрытия «висит» или занижена на протяжении более 10 м на глубину (высоту) более 4 см);

разрушение обочин – нарушение целостности укрепленной или неукрепленной обочины с появлением углубления разной формы с резко выраженными краями;

недостаточная несущая способность обочин – покрытие обочин из грунта (гравия) продавливается при наезде колеса автомобиля;

разрушение на стыке с цементобетонным покрытием – сетка трещин в зоне сопряжения с покрытием в полосе шириной до 0,2 м от кромки;

отсутствие кюветов, их разрушение – отсутствие и недостаточная глубина кюветов в выемках, низких насыпях и нулевых местах;

разрушение водоотводных сооружений – разрушение и размывы лотков, быстротоков, водобойных колодцев;

пучины и пучинистые места – сетка трещин на покрытии с выдавливанием грунта на поверхность или взбугриванием покрытия.

10.6. Дефекты водопропускных труб

Конструктивные особенности водопропускных труб приводят к разнообразию дефектов, которые могут быть допущены при их проектировании, строительстве и эксплуатации. Наиболее характерными можно считать следующие.

Для **к р у г л ы х** труб – смещение звеньев друг относительно друга на толщину стенки звена и более; расхождение звеньев с просыпкой грунта тела насыпи внутрь трубы; разрушения звеньев, требующие их замены; не обеспечивается сток воды из-за разрушения звеньев или оголовка.

Для **п р я м о у г о л ь н ы х** труб – смещение звеньев друг относительно друга на толщину стенки звена и более; расхождение звеньев с просыпкой грунта тела насыпи внутрь трубы; разрушение звеньев, требующее их замены (сюда включаются трубы сечением более 0,50 м × 1,50 м).

Для устранения дефектов водопропускных труб производится:
заделка щелей и трещин;

заполнение швов;

выравнивание лотков трубы;

исправление русла около трубы;

устранение просадок под трубой;

ликвидация размывов откосов насыпи;

локальное исправление укреплений насыпи.

10.7. Дефекты зимнего содержания

Для эксплуатации автомобильных дорог зимний период наиболее труден. Низкие температуры, снегопады, метель и ограниченная продолжительность светового дня требуют постоянного внимания к содержанию дороги и принятию срочных и эффективных мер по устранению возникающих дефектов. Дорожно-эксплуатационные службы должны обеспечить высокий уровень содержания дорог и устранение следующих дефектов:

- повреждения снегозащитных ограждений;
- накопления рыхлого снега на проезжей части;
- сужение проезжей части в результате накопления валов снега у ее кромок;
- накопления на поверхности покрытия гололеда, существенно снижающего его сцепные качества, и др.

Характеристика некоторых дефектов зимнего содержания дорог приведена в табл. 10.2. Для устранения этих дефектов в правилах зимнего содержания дорог предусмотрен комплекс мероприятий, включающих в себя:

- защиту дорог от снежных заносов;
- очистку дорог от снега;
- борьбу с зимней скользкостью;
- защиту дорог от ливня;
- борьбу с наледями.

Таблица 10.2

Дефекты зимнего содержания

Дефекты зимнего содержания	Описание
1	2
Снежный накат	Снег на поверхности дороги, подвергшийся уплотнению под воздействием транспортных средств
Снежный вал	Накопление снега, образованное в виде продольного вала в результате уборки и сдвигания снега с дорожного покрытия

1	2
Зимняя скользкость	Обледенение проезжей части и покрытия площадок отдыха и стоянок транспортных средств, вызванное образованием снежного наката или слоя стекловидного льда, гололеда
Гололед	Гладкая пленка льда толщиной от 1 до 10 мм вызванная замерзанием жидких осадков (дождя, тумана и талой воды) на поверхности покрытия автомобильной дороги
Рыхлый снег	Неуплотненный слой снега, образовавшийся после снегопада или метели, а также практически неуплотненный слой снега, перемешанный с хлоридами

10.8. Учет дефектов автомобильной дороги

Обнаруженные при обследовании или при осмотре дефекты заносятся в ведомость (табл. 10.3), а на основании этой ведомости производится оценка дефектности и разрабатываются планы по содержанию и текущему ремонту дорог.

Таблица 10.3

Ведомость дефектов на участке км.км.

Дата _____

Погода _____

Код	Дефекты дорожных одежд	Количество
1	2	3
1	Трещины отдельные, пог. м	
2	Трещины частные, м ²	
3	Сетка трещин, м ²	
4	Выбоины, м ²	
5	Колейность до 1,5 см, пог. м	
6	Колейность от 1,5 до 3,0 см, пог. м	
7	Колейность свыше 3,0 см, пог. м	
8	Выкрашивание и шелушение, м ²	

1	2	3
9	Разрушение кромок, пог. м	
10	Заплаты, м ²	
11	Трещины, пог. м	
12	Шелушение, м ²	
13	Незаполненные швы, пог. м	
14	Повреждение кромок и швов, пог. м	
15	Смещение смежных элементов, пог. м	
16	Заплаты, м ²	
17	Разрушение ПО, м ²	
18	Разрушение плит, м ²	

10.9. Дефектность автомобильных дорог

Для оценки технического и эксплуатационного состояния автомобильных дорог необходимо иметь объективные данные о наличии дефектов и их относительной значимости. Для этого используется ряд показателей. Среди них – процент дефектности дорожного покрытия, коэффициент дефектности, относительный коэффициент дефектности и др.

Процент дефектности покрытия на участке длиной не менее 100 и не более 1000 м определяют с точностью до 0,1 % по формуле

$$\text{ПД} = \frac{\sum S_{di} \cdot K_w}{S_p} \cdot 100\% ,$$

где S_{di} – площадь каждого вида дефекта покрытия на участке дороги, м²;

K_w – коэффициент весомости;

S_p – общая площадь покрытия на участке, м². Для II категории $S_p = 8500 \text{ м}^2$ для 1 км, для IV категории $S_p = 7000 \text{ м}^2$ для 1 км, для III категории $S_p = 8000 \text{ м}^2$ для 1 км.

Площадь каждого вида дефекта покрытия на участке дороги S_{di} для линейных дефектов определяется по формуле

$$S_{dl} = W \cdot L_j,$$

где L_j – протяженность линейного дефекта покрытия на участке дороги, м;

W – коэффициент приведения, который для отдельных видов дефектов принимается равным:

- отдельные трещины – 0,5;
- колея до 1,5 см – 0,3;
- колея от 1,5 до 3,0 см – 0,4;
- колея более 3,0 см – 1,0;
- разрушение кромок – 0,2.

Коэффициент весомости K_w для цементобетонных покрытий равен единице. Коэффициент весомости K_w для асфальтобетонных покрытий дефекта «частные трещины» принят за единицу. По отношению к трещинам весомость остальных дефектов принимается:

- отдельные трещины – 1,0;
- частные трещины – 1,0;
- сетка трещин – 1,2;
- выбоины – 1,0;
- колея до 1,5 см – 1,0;
- колея от 1,5 см до 3,0 см – 1,3;
- колея более 3,0 см – 1,6;
- заплаты – 1,0;
- выкрашивание – 0,3;
- разрушение кромок – 0,1.

Оценку состояния усовершенствованного покрытия с использованием процента дефектности (ДП) по уровням дефектности определяют в соответствии с табл. 10.4.

Таблица 10.4

Уровни дефектности покрытий

Категория	Уровень дефектности		
	1	2	3
I–II	3–4,9	5–9,9	Более 10
III	5–9,9	10–19,9	Более 20
IV	10–14,9	15–24,9	Более 25

Обследование состояния покрытия дорог для определения процента дефектности (ПД) осуществляется специалистами, прошедшими обучение, с фиксированием информации о состоянии дорог в журналах или бортовом компьютере. При данном методе применяются простейшие средства измерений и приспособлений (рулетки, рейки и т. д.).

Группа, выполняющая детальное обследование, обеспечивается следующими средствами измерения, оборудованием и инвентарем:

- передвижной дорожной лабораторией, оборудованной устройством для измерения расстояния, с погрешностью измерения длины пути не более 1 %, регистрирующим оборудованием (мобильным компьютером со специальным программным обеспечением);
- измерительными лентами и рулетками;
- дорожными курвиметрами;
- нивелиром;
- рейкой по ГОСТ 30412 и линейкой по ГОСТ 427 для измерения глубины колеи;
- рабочими журналами.

В ходе обследования устанавливают имеющиеся на покрытии дефекты согласно классификатору. По каждому дефекту определяется его точечное или линейное местоположение на дороге и объем.

Обследование дороги производят из автомобиля, движущегося со скоростью не более 25 км/ч, с занесением дефектов и их характеристик в бортовой компьютер или пешком с применением дорожного курвиметра и записью дефектов в журнал (табл. 10.5).

При обследовании на автомобиле в местах, требующих более детального осмотра и фотосъемки, делают остановки. Фотосъемку выполняют на участках дорог, имеющих значительные разрушения покрытия и требующих неотложного ремонта, с фиксацией километража участка и соответствующего ему номера фотоснимка.

Оценку состояния покрытия по баллам выполняют в случае необходимости оперативной предварительной оценки. При этом визуально оценивают состояние покрытия каждого стометрового участка дороги с присвоением ему балла. Смежные участки с баллами состояния покрытия объединяются. Оценку состояния выполняют по пятибалльной системе согласно табл. 10.6.

Таблица 10.5

**Журнал визуального обследования технического состояния
и параметров автомобильной дороги**

Автомобильная дорога

Участок

Обслуживается

Обследование выполнили (должность, подпись, ФИО):

Начало работ _____ Окончание работ _____

Таблица 10.6

Характеристика состояния покрытия по баллам

Характеристика состояния покрытия	Оценка состояния в баллах
Дефекты на покрытии отсутствуют, возможны отдельные трещины на расстоянии более 40 м	1
Имеются незначительные дефекты, устраняемые при содержании	2
Незначительное наличие дефектов: отдельные трещины, колеиность до 1,5 см, небольшие участки шелушения или частых трещин, ровность не вызывает дискомфорта при движении	3
Наличие на покрытии дефектов различного характера: износ покрытия, нарушены поперечные уклоны покрытия, колеиность достигает 3 см, небольшие просадки, ощущаются неровности при движении автомобиля	4
Покрытие сильно изношено, имеются значительные дефекты различного характера, колеиность 3 см и более, просадки, при движении автомобиля ощущается дискомфорт	5

Если при обследовании не устанавливаются численные значения объемов дефектов, результаты обследования могут быть использованы только для предварительной оценки состояния дорог с последующим проведением детального обследования.

Коэффициент дефектности как отношение суммарного количества дефектов с учетом весомости каждого из них к объему выбоин, принятой из анализа, определяется по формуле

$$D = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^a m_j v_j,$$

где n – выборка из рассматриваемого объема анализируемых составляющих объекта (например, протяженность участка дороги, км);

a – количество анализируемых дефектов (видов дефектов);

m_j – число дефектов каждого вида выборки;

v_j – коэффициент весомости соответствующих видов дефектов.

Относительный коэффициент дефектности Q можно вычислить по формуле

$$Q = \frac{D}{D_0},$$

где D_0 – базовое значение коэффициента дефектности.

Повреждаемость (дорожной одежды улиц и дорог населенных пунктов) – накопление в структуре материала конструктивного слоя дорожной одежды в процессе ее эксплуатации дефектов, ведущих, при определенном их объеме, к недопустимым деформациям или разрушению. Вначале дефекты накапливаются на микроуровне, затем они объединяются.

Ежегодное инструментальное и визуальное обследование республиканской сети автомобильных дорог выполняется РУП «Белдорцентр».

Протяженность участков дорог с дефектностью покрытий
на 01.01.2011 г.

Предприятие (по дефектности дорожных одежд)	Несоответствие по дефектности покрытий					
	Дефектность 2-го и 3-го уровня		Дефектность 1-го уровня		Несоответствие категории интенсивности движения	
	км	%	км	%	км	%
Белавтострада	143	10	166	12	–	–
Бреставтодор	409	20	185	9	173	8
Витебскавтодор	941	33	185	7	82	3
Гомельавтодор	689	30	112	6	80	3
Гродноавтодор	171	9	358	16	60	3
Минскавтодор-Центр	834	24	439	13	105	3
Могилеавтодор	672	27	111	5	–	–
Итого по сети дорог	3859	23	1556	9	500	3
в том числе по основным маршрутам движения ТКТС	873	27	367	12	134	4
в том числе по Критским транспортным коридорам II, IX, ответвлению IX-в	505	33	169	11	44	3
Примечание. Процентные показатели приведены от общей протяженности дорог предприятия (сети дорог) и протяженности указанных маршрутов, приведенной к двум полосам.						

В табл. 10.8 приведена динамика изменения дефектности за период 2008–2010 гг., а также протяженность участков с интенсивностью, не соответствующей категории движения. Участки дорог с интенсивностью движения, превышающей интенсивность движения для фактической категории, необходимо переводить (реконструировать) до категории в соответствии с требованиями ТКП 45-3.03-19.

Таблица 10.8

**Динамика изменения дефектности дорожной одежды
автомобильных дорог за период 2008–2010 гг.**

Предприятие	Протяженность участков, процент несоответствий от общей протяженности дорог предприятия с учетом двух направлений дорог 1-й категории					
	2008 г.		2009 г.		2010 г.	
	км	%	км	%	км	%
Белавтострада	91	7	98	8	309	23
Бреставтодор	458	23	490	23	549	28
Витебскавтодор	1142	40	1084	38	1126	40
Гомельавтодор	552	24	835	36	801	34
Гродноавтодор	514	24	496	23	529	24
Минскавтодор-Центр	1166	34	1163	34	1273	37
Могилеватодор	713	28	783	31	783	31
Итого по сети дорог:	4663	28	4949	30	5415	32
Несоответствие интенсивности движения категории дороги (ТКП 45-3.03-19), км						
Всего					500	
в том числе по категориям:					1	
2-я категория						
3-я категория					84	
4-я категория					348	
5-я категория					67	

11. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ РАБОТ

Качество построенных автомобильных дорог зависит как от материала, так и от технологии производства работ. В процессе их ремонта и реконструкции эти факторы также являются определяющими. Разработана и широко применяется на практике система управления качеством. Важным элементом этой системы является контроль качества используемых материалов, технологических процессов, возводимых объектов в целом.

Различают контроль входной, операционный, промежуточный и приемочный. В х о д н о й контроль выполняют для проверки качества поступающих на объект материалов и конструкций. О п е р а ц и о н н ы й контроль осуществляется с целью проверки качества выполненных определенных операций. При п р о м е ж у т о ч н о м контроле дается оценка выполненных работ, достигнутых при этом результатов, а приемочный контроль ставит своей целью проверить качество сдаваемой в эксплуатацию дороги или ее отдельного участка.

Оценка отдельных видов дорожных работ производится путем проверки соответствия геометрических, конструктивных и технологических параметров требованиям проекта и действующих нормативных документов.

Для этого используется формула

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i,$$

где P – средняя оценка качества выполнения работ;

n – количество параметров, подлежащих оценке по каждому виду работ;

P_i – оценка степени соответствия i -го параметра требованиям проекта и нормативных документов, выраженная в баллах.

По результатам вычислений дается заключение. Работы считаются выполненными на «отлично», если $P = 4,61-5,0$; на «хорошо», если $P = 3,91-4,6$, и на «удовлетворительно», если $P = 3,0-3,9$.

Оценка качества объекта (участка дороги, земляного полотна, дорожной одежды, искусственного сооружения и т. п.), включаю-

шего различные элементы или всю совокупность дорожных работ, выполненных на объекте, производится на основании комплексного показателя

$$P = \frac{1}{\alpha_j} \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i,$$

где α_i – коэффициент значимости i -го элемента (вида работ);

S_i – балльная оценка качества i -го элемента дорожной конструкции или i -го вида работ.

Коэффициенты значимости принимаются в соответствии с таблицей.

Коэффициенты значимости

Вид работы	Коэффициент значимости
Подготовительные работы	0,5
Подготовка основания земляного полотна	0,7
Возведение насыпей и разработка выемок	1,0
Устройство водоотвода	0,8
Устройство присыпных обочин	0,6
Укрепительные работы	0,7
Искусственные сооружения	0,9
Основания дорожной одежды	0,9
Покрытия дорожных одежд	1,0
Здания и сооружения дорожной и автотранспортной службы	0,6
Обстановка и принадлежность дороги	0,7

Для определения средней оценки качества совокупности выполненных работ может быть использован также комплексный показатель

$$P = \frac{5C_1 + 4C_2 + 3C_3}{C_1 + C_2 + C_3},$$

где C_1, C_2, C_3 – стоимость рассматриваемого вида работ, принятых соответственно с оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

По аналогии комплексный показатель может быть вычислен и для дороги, участки которой имеют неодинаковый квалитет:

$$P = \frac{5L_1 + 4L_2 + 3L_3}{L_1 + L_2 + L_3},$$

где L_1 , L_2 , L_3 – участки дороги, получившие соответственно оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно».

Большое разнообразие видов и технологий производства работ требует применения различных методов контроля качества, наличия и использования контрольно-измерительных приборов, инструментов и оборудования. Основными видами контрольно-измерительных работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог являются проверка толщины и ширины отсыпаемых слоев, определение ровности поверхности основания и покрытия, измерение величины поперечного уклона и отметок по оси основания, установление плотности грунта земляного полотна и конструктивных слоев дорожной одежды, выявление других показателей качества дороги.

11.1. Контроль качества работ по ремонту и реконструкции земляного полотна

Приборы и инструменты. Масштабная линейка, мерная лента, рулетка, нивелир, нивелирные рейки, пенетрометр, мембранный, баллонный или радиоизотопный плотномер, откосник, уровень, динамический плотномер, забивной зонд, прибор стандартного уплотнения, шаблон для измерения поперечного уклона земляного полотна, щуп, полевая лаборатория Литвинова, прибор для определения влажности.

Измерительные работы. До начала земляных работ проверяется соответствие принятых в проекте и действительных показателей состава (крупность частиц, пластичность) и состояние (влажность, плотность) грунтов в карьерах, резервах, выемках, естественных основаниях.

При операционном контроле проверяются правильность размещения осевой линии поверхности земляного полотна в плане и высотные отметки, толщина снимаемого плодородного слоя грунта, плотность грунта в основании земляного полотна, влажность ис-

пользуемого грунта, толщины отсыпаемых слоев, однородность грунта в слоях насыпи, ровность поверхности, поперечный профиль, правильность выполнения водоотводных и дренажных сооружений, прослоек, укрепления откосов и обочин. В зимних условиях кроме того контролируются размеры и содержание комьев, а также качество очистки поверхности от снега и льда. На болотах – полнота выторфовывания, режим отсыпки, величина осадки, геометрические размеры вертикальных прорезей, дренаж и коэффициент фильтрации песка в них.

Плотность грунта контролируется в каждом технологическом слое. Места контроля в сечении выбираются в зависимости от ширины насыпи или уширяемой ее части. Обычно производятся не менее двух-трех измерений. Расстояние между контрольными створами согласуется с длиной захватки, но не более 200 м для насыпей до 3 м и 50 м при высоте насыпи более 3 м. Верхний слой контролируется с интервалом не реже 50 м. Обязательно подлежат контролю насыпи у труб, над трубами, в конусах и в местах их сопряжения с мостами. Контроль плотности следует производить на глубине, равной 1/3 толщины уплотняемого слоя, но не менее 8 см. Коэффициент уплотнения в сторону уменьшения допускается не более чем 10 % определений от их общего числа, но не более чем на 0,04.

Влажность грунта контролируется в местах его получения не реже одного раза в смену и обязательно при выпадении осадков. Методики определения плотности и влажности грунта стандартные. Для текущего контроля земляного полотна допускается использовать ускоренные лабораторные и полевые экспресс-методы. Эффективным является применение плотномеров, забивных зондов и других приборов, разработанных БелдорНИИ. Общая оценка качества работ по ремонту и реконструкции земляного полотна дается с учетом требований СНиП 3.06.03–85 и ТКП 234–2009 (02191).

11.2. Контроль качества работ по устройству дополнительных слоев оснований и прослоек (морозозащитных, дренирующих, изолирующих и капилляроррывающих)

Приборы и инструменты: линейка, рулетка, набор сит, весы, шаблон, прибор измерения динамической водопроницаемости, прибор для определения фильтрации грунтов.

Контрольно-измерительные работы. При устройстве дополнительных слоев и прослоек контрольные работы могут иметь различную направленность, обусловленную функциями материала.

При устройстве морозозащитных и дренирующих слоев контролируется соответствие качества материала и песчаных грунтов требованиям проекта, плотность материала и отсутствие загрязнения грунтом выходов дрен на откосах земляного полотна. Теплоизолирующие слои из бетонов, каменных материалов, обработанных вяжущим, укрепленных грунтов и золошлаковых смесей контролируются путем определения прочности образцов и их теплотехнических характеристик. При использовании для этих целей пенопласта проверяются равномерность опирания плит на поверхность земляного полотна и толщина первого слоя дорожной одежды над пенопластом. Для дренирующих, капилляропрерывающих и гидроизолирующих прослоек важное значение имеют прилегающие слои грунта. Вот почему предусмотрено определение их толщины и гранулометрического состава грунта.

При устройстве морозозащитного слоя из непучинистых или слабопучинистых грунтов контроль качества грунта проводится в карьере путем отбора соответственно не менее трех и десяти проб из каждых 500 м³ песчаного грунта и их испытания с определением содержания пыли и глины и величины коэффициента фильтрации. Толщина первого слоя дорожной одежды, толщина и плотность слоев грунта над и под прослойкой измеряются в трех точках на поперечнике (по оси и у бровок земляного полотна) не реже чем через 100 м. Гранулометрический состав слоев грунта над и под гидроизолирующей прослойкой контролируется стандартными методами один раз в смену.

11.3. Контроль качества работ по устройству оснований и покрытий из крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов и отходов промышленности, укрепленных неорганическими и органическими вяжущими материалами

Приборы и инструменты: мерная лента, набор сит, рулетка, нивелир, нивелирные рейки, уклономер, рейка с клином для измерения ровности покрытия, шаблон, прогибомер, прибор стандартного уплотнения.

Контрольно-измерительные работы. При операционном контроле качества работ по устройству оснований и покрытий по каждому укладываемому слою не реже чем через каждые 100 м определяются высотные отметки, ширины и толщины слоев, поперечный уклон профиля, ровность и другие геометрические характеристики.

Вместе с тем не реже одного раза в смену определяется:

гранулометрический состав крупнообломочных и песчаных грунтов;

число пластичности глинистых грунтов;

степень размельчения глинистых грунтов путем рассева проб на ситах с отверстиями 5 и 10 мм;

температура органического вяжущего перед использованием;

однородность эмульсии – отсутствие расслоения;

качество смеси путем определения прочности образцов на сжатие.

При хранении сухих смесей в штабеле дополнительно определяют температуру смеси на глубине 0,2–0,4 м. Влажность обрабатываемых грунтов готовой смеси перед ее уплотнением и плотность материала в уплотненном слое в трех точках на поперечнике определяются не реже чем через 200 м. Содержание легкорастворимых солей в засоленных грунтах, пригодность зол уноса и золошлаковых смесей, а также соблюдение требований по уходу контролируются не реже одного раза в пять смен. Коэффициент уплотнения грунтов укрепленных неорганическим вяжущим определяется как отношение плотности высушенного образца укрепленного грунта, взятого из уплотненного слоя, к плотности высушенной смеси грунта с вяжущим. В случае применения органических вяжущих этот коэффициент определяется как отношение плотности высушенного образца укрепленного грунта, взятого из уплотненного слоя, к плотности смеси грунта с вяжущим, уплотненной при оптимальной влажности под нагрузкой 30 МПа. При добавке к смеси грунта с органическим вяжущим портландцемента или карбамидной смолы образцы следует уплотнять под нагрузкой 15 МПа.

11.4. Контроль качества работ по устройству щебеночных, гравийных, шлаковых оснований и покрытий, мостовых

Приборы и инструменты: набор сит, линейка, шаблон, полевая лаборатория Литвинова.

Контрольно-измерительные работы. Устройство щебеночных, гравийных, шлаковых оснований и покрытий сопровождается постоянным контролем высоты отметки оси дороги, ширины, толщины слоя уплотненного материала по его оси, поперечного уклона и ровности. Кроме того, не реже одного раза в смену определяются влажность минеральных материалов и прочность смеси. Качество уплотнения материалов проверяется с помощью катка 10–13 т. Уплотнение считается обеспеченным, если перед вальцом не образуется волны, а положенная под валец щебенка раздавливается.

При устройстве мостовых плотность их посадки определяется по подвижке и осадке камня под катком массой 10–13 т.

11.5. Контроль качества работ по устройству оснований и покрытий из щебеночных, гравийных и песчаных материалов, обработанных неорганическими вяжущими

Приборы и инструменты: набор сит, прибор стандартного уплотнения, полевая лаборатория Литвинова.

Контрольно-измерительные работы. Кроме контроля толщины и ширины оснований и покрытий, который систематически осуществляются при устройстве дорожных одежд, не реже одного раза в смену определяется влажность и прочность материалов, плотность солевых растворов при отрицательной температуре и др. Не реже одного раза в семь дней измеряется точность дозирования компонентов смеси контрольным взвешиванием. Постоянно проверяется качество уплотнения основания и покрытия, соблюдение режима ухода за дорогой. Качество уплотнения следует проверить путем контрольного прохода катка массой 10–13 т по всей длине контролируемого участка, после которого на основании (покрытии) не должно оставаться следа и возникать волн перед вальцом.

11.6. Контроль качества материалов и работ по устройству оснований и покрытий из асфальтобетона, дегтебетона, черного щебня и щебеночных смесей, обработанных органическими вяжущими

Приборы и инструменты: прибор контроля ровности и сцепления (ПКРС), установка динамического нагружения (УДН), дефлектор, прогибомер, установка по отбору кернов.

Контрольно-измерительные работы. Действующей нормативной литературой предусматривается определение качества и температуры материалов, предназначенных для приготовления асфальтобетона и дегтебетона, эмульсий, органоминеральных композиций.

При приготовлении асфальтобетонной или дегтебетонной смеси следует контролировать:

постоянно – температуру битума и минеральных материалов, температуру готовой асфальтобетонной смеси – в кузове каждого автомобиля-самосвала;

не реже одного раза в смену – качество смеси;

не реже одного раза в 10 смен – качество щебня, песка и минерального порошка.

При этом могут использоваться как лабораторные, так и полевые методы исследования.

Работу дозаторов минеральных материалов, битума и добавок следует контролировать в соответствии с утвержденным регламентом.

В процессе устройства оснований и покрытий контролируются качество материала, технические параметры смесей (температура и качество перемешивания – в каждом автомобиле-самосвале) и технология производства работ (плотность и ровность сопряжения укладываемых слоев с существующей дорожной одеждой; ровность поверхности, степень уплотнения и др.).

Качество оснований и покрытий (прочность, сцепление слоев и др.) определяется методом неразрушающего контроля или путем отбора кернов (вырубок).

Вырубки или керны следует отбирать в слоях из горячих и теплых асфальтобетонов через одни–трие суток после их уплотнения, и из холодного – через 15–30 суток на расстоянии не менее 1 м от края покрытия. На 1 км дороги (7000 м² покрытия) отбираются три керна (вырубки).

Коэффициенты уплотнения конструктивных слоев дорожной одежды должны быть не ниже:

0,99 – для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов А и Б;

0,98 – для плотного асфальтобетона из горячих и теплых смесей типов В, Г и Д, пористого и высокопористого асфальтобетона;

0,96 – для асфальтобетона из холодных смесей.

Однородность показателей, характеризующих качество дорожных работ, устанавливается методами математической статистики.

11.7. Контроль качества работ по устройству поверхностной обработки

Приборы и инструменты: термометры, линейки, рулетки, ПС-2, твердомер.

Контрольно-измерительные работы. При устройстве поверхностной обработки контролю подлежат температура битума в каждом битумовозе, однородность, чистота и равномерность распределения щебня, равномерность распределения вяжущего материала, а также сцепление вяжущего материала с поверхностью зерен щебня, соответствие состава эмульсионно-минеральных смесей и шламов проекту, нормы расхода материалов. Технологические параметры процесса поверхностной обработки контролируются постоянно, а сцепление, состав смесей и нормы расхода материала – не реже одного раза в смену. Методика проведения контрольно-измерительных работ стандартная, а потому следует пользоваться соответствующими государственными стандартами.

11.8. Контроль качества работ при устройстве монолитных и сборных цементобетонных оснований и покрытий

Приборы и инструменты: линейка, весы, трехметровая рейка, многоопорная рейка, ПКРС, молоток Кашкарова.

Контрольно-измерительные работы выполняются как на стадии приготовления цементобетонной смеси, так и при выполнении работ на дороге. На стадии приготовления цементобетонной смеси ведется контроль качества исходных материалов, работы дозаторов, технологического процесса, прочность бетона. Причем контролируются:

постоянно – технологические режимы приготовления бетонной смеси – не реже одного раза в смену, показатель удобоукладываемости бетонной смеси и объем вовлеченного воздуха, концентрации рабочих растворов, химических добавок, прочность бетона путем испытания трех контрольных образцов – балочек;

при измерении качества смеси (удобоукладываемости, объема вовлеченного воздуха и др.) – точность дозирования компонентов

бетонной смеси методом контрольного взвешивания по инструкции завода-изготовителя бетоносмесительной установки, качества песка, щебня или гравия по СТБ;

один раз в квартал – морозостойкость.

Контроль работы дозаторов цемента, заполнителей, добавок и воды должен осуществляться в соответствии с утвержденным регламентом, как правило, не реже одного раза в месяц.

Оценка прочности бетона ведется стандартными методами – определяются прочность на растяжение при изгибе и прочность на сжатие.

При устройстве покрытий и оснований из монолитного бетона следует контролировать:

постоянно – соблюдение технологических режимов бетонирования, ухода за бетоном, устройства и герметизации швов, правильность установки арматуры и прокладок швов, устойчивость кромок боковых граней и сплошность поверхности покрытия;

перед началом бетонирования – правильность установки кооперных струн или рельс-форм не реже одного раза в смену. При изменении качества смеси на месте бетонирования – прочность образцов – балочек, удобоукладываемость и объем вовлечения воздуха, а также качество работ по уходу за свежееуложенным бетоном с применением пленкообразующих материалов на участках покрытия размером 20 × 20 см (сформировавшуюся на бетоне пленку необходимо промыть водой, удалить оставшуюся влагу, разлить 10 %-й раствор соляной кислоты или 1 %-й раствор фенолфталеина – вспенивание или покраснение допустимо не более чем в двух точках на площади 100 см² поверхности пленки).

Плотность жесткой бетонной смеси, уплотняемой методом укатки, следует контролировать по трем пробам на 1 км (проход катка массой 10–13 т).

При укладке сборных железобетонных покрытий следует контролировать:

постоянно визуально – целостность плит и стыковых элементов, качество сварки стыков и заполнение швов, соблюдение технологии производства работ;

не реже одного раза в смену – контакт плит с основанием (выравнивающим слоем) поднятием одной из 100 уложенных плит, превышением граней смежных плит в продольных швах на трех поперечниках на 1 км, а в поперечных швах – в 10 стыках на 1 км.

11.9. Контроль качества работ по инженерному обустройству дороги

Приборы и инструменты: мерная лента, рулетка, шаблоны, отвес, уровень, шнур, линейка.

Контрольно-измерительные работы. При установке дорожных знаков, сигнальных столбиков, барьеров безопасности, нанесении разметочных линий постоянно ведется контроль качества выполненных работ. Требуемая последовательность работ, вертикальность стоек и правильность размещения элементов обустройства дороги контролируются визуально. Точность же установки стоек и столбов, а также нанесение линий разметки определяются с помощью приборов и инструментов. Глубина ям, высота ограждений и дорожных знаков проверяются линейкой или специальными шаблонами. Волнистость ограждения в плане – с помощью шнура и линейки. Ровность краев и ширины линии разметки контролируется выборочно (до 10 % длины) с помощью линейки.

Наблюдение за работами и результаты контроля качества выполненных работ используется для принятия оперативных управленческих решений и оценки соответствия инженерного обустройства требованиям надежной и безопасной эксплуатации автомобильной дороги.

12. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ*

Диагностика автомобильных дорог системно стала развиваться только в последние годы. Этому способствовали возросшие требования к качеству автомобильных дорог и новейшие научные разработки в области дорожного материаловедения, приборостроения и компьютерных технологий. В настоящее время широко применяются паспортизация дорог, систематически организуемые осмотры их состояния, измерения ровности, прочности и шероховатости дорожных асфальтобетонных и цементобетонных покрытий с помощью мобильных многофункциональных лабораторий. Автоматизированные банки дорожных данных позволяют накапливать, хранить и по необходимости использовать техническую информацию о состоянии и условиях эксплуатации автомобильных дорог.

В перспективе диагностика состояния дорог будет развиваться как составная часть системы автоматического измерения параметров природно-технических комплексов, в которой будут использованы стационарные и передвижные средства измерений и надежные телекоммуникационные средства. Но для создания такой системы требуется немало времени и средств, усилий ученых и инженерно-технических работников.

Ближайшие задачи развития теории и практики диагностики и управления качеством автомобильных дорог можно сформулировать следующим образом.

1. Развитие технических средств диагностики по двум направлениям: во-первых, максимально исключить субъективный фактор из процесса сбора информации, во-вторых, максимально унифицировать собственно средства измерений. При оценке того или иного параметра важно учесть именно физическую сущность показателя, а не особенности его воздействия на измерительный прибор. Примером может служить использование международного индекса ровности IRI и международного индекса трения IFI. Совершенствование сбора диагностических данных будет развиваться в направлении расширения использования приборной базы, повышения точности и достоверности результатов. Этому будет способствовать сни-

* Раздел 12 написан с участием И.С. Мельниковой.

жение цен на высокотехнологичные лазерные установки по измерению ровности, колейности и несущей способности, а также техническое совершенствование последних. В качестве примера такого оборудования следует назвать установку TSD по измерению прогиба нежестких дорожных одежд (рис. 12.1, 12.2). Оборудование разработано датской фирмой Greenwood Engineering и основано на использовании лазерной измерительной техники, в работе с которой фирма имеет большой опыт, являясь разработчиком профилометрического лазерного оборудования, эксплуатируемого по всему миру.



Рис. 12.1. Общий вид установки TSD



Рис. 12.2. Схема размещения оборудования установки TSD

Дефлектометр представляет собой специальный прицеп, буксируемый стандартным седельным тягачом. Прицеп оборудован системой нагружения, точно обеспечивающей требуемую нагрузку на ось, системой лазерных датчиков, гироскопов, акселерометров, датчиком пути, специальным программным обеспечением.

Во время движения автомобиля дорожная одежда под нагруженным колесом прогибается. Два лазерных датчика измеряют вертикальное перемещение поверхности дорожного покрытия. Различие между уровнем загруженной и разгруженной поверхности используется как характеристика фактического прогиба покрытия под действием грузовика с известной массой. С использованием дефлектометра TSD можно определить скорость нарастания прогиба дорожной поверхности. Чтобы измерения были точными, система сервомоторов непрерывно управляет положением лазерных датчиков. Лазерное оборудование установлено на балке перед нагруженным колесом. Воздействие колеса на дорожное покрытие с нагрузкой 50 кН вызывает реакцию дорожной одежды, которая фиксируется двумя вертикальными лазерными датчиками. Оборудование по сбору данных расположено в контейнере на крыше автомобиля, управляющий компьютер – в кабине водителя. Длина прицепа позволяет устранить влияние самого тягача на прогиб от прицепа.

Минимальное количество датчиков – два; в этом случае прогиб фиксируется только под колесом прицепа. При увеличении их числа появляется возможность измерять чашу прогиба, что позволяет определить прочностные свойства нижележащих слоев дорожной одежды. Важным шагом в повышении достоверности оценки состояния покрытий является развитие технологии сканирования поверхности и автоматического распознавания дефектов. Совершенствование измерительной техники и повышение ее производительности позволят в самое ближайшее время внедрять в практику диагностики многофункциональные лаборатории, которые за один проезд по участку дороги смогут измерить несколько параметров, для чего раньше требовалось несколько независимых проездов. Такие лаборатории уже появляются, например, установка по сканированию дефектов и профилограф для измерения ровности, размещенные на одном базовом автомобиле (рис. 12.3).

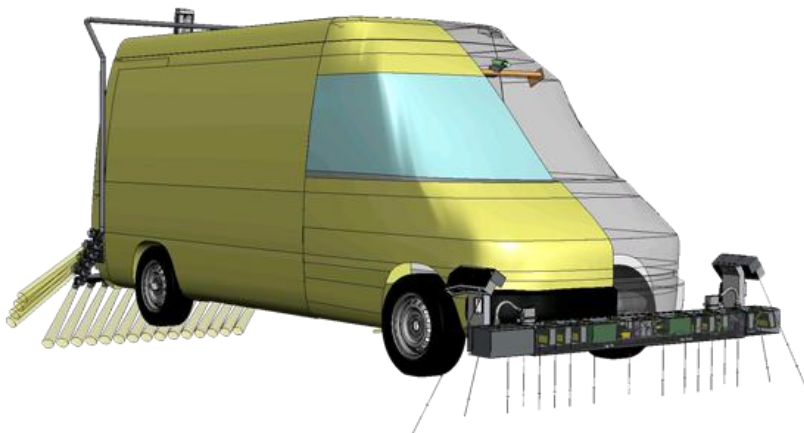


Рис. 12.3. Установка по сканированию дефектов, совмещенная с профилографом

Важным элементом в процессе назначения слоев усиления дорожной одежды является определение конструкции покрытия и основания. Правильное определение толщины конструктивных слоев обеспечивает соответствующее качество оценки состояния покрытия и влияет на правильность расчетов конструкции усиления. Показателем, определяющим качество полученных результатов, имеющим наибольшее влияние на точность оценки конструкции покрытия, являются изменения конструкции дорожной одежды. Устройством, с помощью которого можно точно оценить состояние покрытия, является георадарная система. В настоящее время такие системы достаточно широко используются в практике диагностики. Среди прочих систем следует выделить GPR 3D. Важным преимуществом георадарной системы GPR 3D по сравнению с аналогичными устройствами является антенна шириной 2,4 м с 31 каналом и диапазоном частот 100 МГц–2 ГГц. Такая антенна позволяет осуществлять сканирование дорожной одежды на глубину до 1 м и определять однородность всей конструкции по ширине (рис. 12.4). В будущем следует ожидать расширения применения подобных георадарных систем.



Рис. 12.4. Общий вид георадарной установки GPR 3D

2. Дальнейшая разработка методов обработки диагностических данных с использованием положений теории вероятностей и математической статистики, теории надежности и методов планирования эксперимента. Совершенствование методов прогнозирования изменения основных показателей.

3. Совершенствование и оптимизация средств хранения и представления данных диагностики. В настоящее время уже недостаточно иметь просто банк дорожных данных по тому или иному направлению деятельности. Необходимо вести разработки по созданию единого банка данных дорожной отрасли, в который будут органично включаться и данные диагностики. Для представления данных и их анализа самое широкое применение должны получить географические информационные системы.

4. Широкое внедрение в практику диагностики автоматизированных систем измерений параметров транспортного потока и условий эксплуатации дорог. Создание на их основе автоматизированных систем управления движением.

5. Дефектность дорожных покрытий, как правило, развивается последовательно: очевидно зарождение, развитие и достижение критических значений. Очень важно выявить появление поврежденных на начальной стадии, и для этого перспективным можно счи-

тать применение новейших методов обнаружения дефектов. В этом отношении большие возможности открывает физика термографии.

Используемые в настоящее время неразрушающие методы контроля асфальтобетонных покрытий включают в себя накопление, хранение и дальнейшую обработку изображений дороги, полученных аналоговыми или цифровыми камерами. Современные системы обнаружения дефектов верхнего слоя покрытия используют искусственный и окружающий свет для отображения его поверхности, что зачастую не позволяет выявлять, к примеру, многие виды трещин: «белые» трещины, которые не дают достаточного контраста; трещины в предварительно отремонтированных и восстановленных покрытиях, где герметики, наоборот, вызывают контраст изображения; перпендикулярные к оси дороги трещины; трещины шириной раскрытия менее 2 мм.

Метод термографии с применением тепловизоров фирм FLIR, IRISYS, Fluke, NEC позволяет обнаружить трещины размером 1–2 мм по ширине, которые фактически невозможно зафиксировать при съемке обычными видеокамерами, а устранение таких трещин на ранней стадии развития позволит в будущем сэкономить на проведении дорогостоящих ремонтных мероприятий и предотвратить дальнейшее разрушение покрытия.

Устройство для диагностики дорожного покрытия работает следующим образом. Тепловизор устанавливается на мобильное транспортное средство так, чтобы сканирование производилось поперек покрытия. Изображение в виде кадра теплового отображения фрагмента покрытия фиксируется в памяти тепловизора. После получения изображения всей ширины покрытия устройство перемещается на расстояние, равное диаметру пятна обзора камеры тепловизора вдоль покрытия, и процедура сканирования и регистрации теплового отображения повторяется. Полученное в итоге изображение передается в устройство обработки результатов сканирования. Целью обработки результатов сканирования является выявление и идентификация теплового отображения поверхностных дефектов на кадрах теплового отображения дорожного покрытия и соответственно фиксации наличия трещин, выбоин.

6. Дальнейшее развитие систем управления состоянием покрытий. Здесь выделяются следующие основные направления совершенствования:

- расширение функций систем управления покрытиями;
- совершенствование сбора исходных данных и управления ими;
- улучшение надежности и достоверности моделей прогнозирования состояния покрытий;
- совершенствование экономического анализа и методов оптимизации;
- совершенствование программного обеспечения систем управления.

Из анализа литературных и интернет-источников можно заключить, что в ближайшие годы функции систем управления состоянием покрытий расширятся по сравнению с их классическим пониманием. Однако в этом случае термин потребует пересмотра, поскольку система выйдет за первоначальные рамки. В первую очередь можно ожидать интеграции PMS с системой управления зимним содержанием, системой управления безопасностью движения, системой реагирования на стихийные бедствия, системой оценки качества построенных дорог. Итальянские специалисты называют такой симбиоз глобальной системой управления дорогами. Можно ожидать скорого расширения функций СУСП за счет включения в них возможности управления работами по содержанию. Кроме того, уже сейчас имеет место включение СУСП в состав систем более высокого уровня – систем управления инфраструктурой, которые включают также управление мостами, аэропортами, стоянками и другими объектами. В будущем следует ожидать «бесшовную» интеграцию этих отдельных компонентов.

Улучшение надежности и достоверности моделей прогнозирования большинство исследователей связывают с использованием исторических данных о состоянии покрытия. В ранних системах прогноз осуществлялся только на основе одной переменной – возраста покрытия. В настоящее время имеется тенденция увеличения количества зависимых переменных в моделях прогнозирования.

Совершенствование оптимизации в системах управления будет связано с сокращением упрощенных, «эвристических», и более широким применением математических методов.

Программное обеспечение СУСП будет совершенствоваться в нескольких направлениях. Во-первых, с развитием операционных систем и средств разработки программного обеспечения будет иметь

место естественный процесс появления новых версий PMS, в которых кроме «косметических» изменений будут появляться новые возможности. Во-вторых, появятся системы управления, принципиально отличающиеся от традиционных «настольных» систем в части подхода к программированию. Речь идет о веб-ориентированных системах. Наконец, самое широкое применение получит интеграция СУСП с геоинформационными системами (ГИС). ГИС-технологии кроме очевидного удобства представления информации на карте обладают также широчайшими возможностями по контролю целостности данных, а также позволяют анализировать разрозненные и несвязанные данные, что открывает перед системами управления новые возможности.

Названные задачи далеко не исчерпывают перечень проблем, которые требуют своего решения. Диагностика автомобильных дорог – новое направление дорожной науки и, как всякое новое направление, находится в состоянии ускоренного развития. Проблемы диагностики и управления качеством требуют привлечения сил как известных ученых-дорожников, так и молодых инженеров, приходящих в дорожную отрасль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги Беларуси : энциклопедия / кол. авторов; под общ. ред. А. В. Минина. – Минск : БелЭн, 2002. – 672 с.
2. Бируля, А. К. Работоспособность дорожных одежд / А. К. Бируля, С. И. Михович. – М. : Транспорт, 1968. – 172 с.
3. Васильев, А. П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учебник для вузов / А. П. Васильев, В. М. Сиденко; под ред. А. П. Васильева. – М. : Транспорт, 1990. – 304 с.
4. Золотарь, И. А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве / И. А. Золотарь. – М. : Транспорт, 1974. – 248 с.
5. Кейрос, Ц. Техничко-экономические проблемы ремонта и содержания автомобильных дорог / Ц. Кейрос; пер. В. Ф. Бабкова. – М. : Институт экономического развития Всемирного банка; МАДИ (ТУ), 1995. – 57 с.
6. Коганзон, М. С. Качество и надежность дорожного строительства / М. С. Коганзон, Ю. М. Яковлев. – М. : МАДИ, 1981 – 89 с.
7. Корсунский, М. Б. Оценка прочности дорог с нежесткими одеждами / М. Б. Корсунский. – М. : Транспорт, 1966. – 153 с.
8. Леонович, И. И. Диагностика автомобильных дорог : учеб. пособие / И. И. Леонович, С. В. Богданович, И. В. Нестерович. – Минск : Новое знание; М. : ИНФРА-М, 2011. – 350 с. [4] л. ил.: ил. – (Высшее образование).
9. Леонович, И. И. Дорожная климатология: учебник / И. И. Леонович. – Минск : БНТУ, 2005. – 485 с.
10. Немчинов, М. В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей / М. В. Немчинов. – М. : Транспорт, 1985. – 231 с.
11. Повышение надежности автомобильных дорог / под ред. И. А. Золоторя. – М. : Транспорт, 1977. – 183 с.
12. Ремонт и содержание автомобильных дорог : справочник инженера-дорожника / А. П. Васильев [и др.]; под ред. А. П. Васильева. – М. : Транспорт, 1989. – 287 с.
13. Робинсон, Р. Управление ремонтом и содержанием автомобильных дорог. Концепции и системы / Р. Робинсон, У. Даниэльсон, М. Снэйт; пер. с англ. под ред. проф. В. В. Сильянова. – М. : Информавтодор, 2003. – 383 с.

14. Семенов, В. А. Качество и однородность автомобильных дорог / В. А. Семенов. – М. : Транспорт, 1989. – 125 с.
15. Сиденко, В. М. Эксплуатация автомобильных дорог / В. М. Сиденко, С. И. Михович. – М. : Транспорт, 1976. – 288 с.
16. Сильянов, В. В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В. В. Сильянов. – М. : Транспорт, 1984. – 287 с.
17. Ситников, Ю. М. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дорог / Ю. М. Ситников, О. А. Дивочкин. – М. : Транспорт, 1973. – 128 с.
18. Слободчиков, Ю. М. Условия эксплуатации и надежность работы автомобильных дорог / Ю. М. Слободчиков. – М. : Транспорт, 1987. – 128 с.
19. Смирнов, А. В. Динамика дорожных одежд автомобильных дорог / А. В. Смирнов. – Омск : Зап.-сиб. книжн. изд-во, 1975. – 183 с.
20. Субботин, С. П. Диагностика автомобильных дорог: обзор информ. // С. П. Субботин, С. Н. Жилин, Б. Л. Чегаев; Центральное бюро научно-технической информации. – М., 1989. – 56 с.
21. Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения / Я. В. Хомяк. – Киев : Вища школа, 1981. – 270 с.
22. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / под ред. А. П. Васильева, В. М. Сиденко. – М., 1990. – 301 с.
23. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / И. И. Леонович [и др.]. – Минск : Вышэйшая школа, 1988. – 348 с.
24. Некрасов, В. К. Эксплуатация автомобильных дорог / В. К. Некрасов, Р. М. Алиев. – М., 1983. – 285 с.
25. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45.3-03–2005.
26. Рекомендации по учету и расчету интенсивности движения на автомобильных дорогах общего пользования: ДМД 02191.5004–2007.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень и нумерация республиканских автомобильных дорог

В соответствии с Законом Республики Беларусь «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности» автомобильные дороги общего пользования должны иметь наименования и номера.

Наименование автомобильной дороги общего пользования включает в себя названия ее начального и конечного населенного пункта в границах Республики Беларусь, а при необходимости – названия промежуточных населенных пунктов. Наименование автомобильной дороги начального и конечного пункта в качестве названий может включать названия географических, исторических или иных объектов.

Номер автомобильной дороги общего пользования состоит из буквы алфавита и группы цифр, которые указываются на информационно-указательных дорожных знаках, картах и в атласах.

Дороги международного значения обозначаются буквой Е.

Наиболее важные республиканские автомобильные дороги имеют номер, начинающийся с буквы М:

М1/Е30: Брест (Козловичи)—Минск—граница Российской Федерации (Редьки)

М2: Минск—Национальный аэропорт Минск

М3: Минск—Витебск

М4: Минск—Могилев

М5/Е271: Минск—Гомель

М6/Е28: Минск—Гродно

М7/Е28: Минск—Ошмяны—граница Литовской Республики (Каменный Лог)

М8/Е95: Граница Российской Федерации (Езерище)—Витебск—Гомель—граница Украины (Новая Гута)

М9: Минская кольцевая автомобильная дорога

М10: Граница Российской Федерации (Селище)—Гомель—Кобрин

М11/Е85: Граница Литовской Республики (Бенякони)—Лида—Слоним—Бытень

М12/Е85: Кобрин—граница Украины (Мокраны)

Номера остальных республиканских автомобильных дорог начинаются с буквы Р:

- Р1: Минск—Дзержинск
- Р2/Е85: Столбцы—Ивацевичи—Кобрин
- Р3: Логойск—Зембин—Глубокое—граница Латвийской Республики (Урбаны)
- Р4: Барановичи—Ляховичи (до Р43)
- Р5: Барановичи—Новогрудок—Ивье
- Р6: Ивацевичи—Пинск—Столин
- Р7: Каменец—Жабинка—Федьковичи
- Р8: Лунинец—Пинск
- Р9: Высокое—Волчин—граница Республики Польша
- Р10: Любча—Новогрудок—Дятлово
- Р11: Поречаны (от М6)—Новогрудок—Несвиж
- Р12: Несвиж—Клецк
- Р13: Клецк—Синявка—Ганцевичи—Лунинец
- Р14: Полоцк—Миоры—Браслав
- Р15: Кричев—Орша—Лепель—подъезд к г. Горки
- Р16: Тюхиничи—Высокое—граница Республики Польша (Песчатка)
- Р17: Брест—граница Украины (Олтуш)
- Р18: Граница Российской Федерации (Кострово)—Верхнедвинск—Шарковщина—Козяны
- Р19: Толочин—Крупки
- Р20: Витебск—Полоцк—граница Латвийской Республики (Григоровщина); подъезды к городам: Полоцку, Новополоцку, Верхнедвинску
- Р21: Витебск—граница Российской Федерации (Лиозно)
- Р22: Орша—Дубровно—до М1 (Буда)
- Р23: Минск—Микашевичи; подъезды к городам Слуцку, Солигорску
- Р24: Полоцк—Россоны
- Р25: Витебск—Сенно—Толочин
- Р26: Толочин—Круглое—Нежково
- Р27: Браслав—Поставы—Мядель; подъезд к границе Литовской Республики (Видзы)
- Р28: Минск—Молодечно—Нарочь; подъезды: к г. Вилейке, дер. Гатовичи

- Р29: Ушачи—Вилейка
- Р30: Гомель—Ветка—Чечерск—Ямное
- Р31: Бобруйск—Мозырь—граница Украины (Новая Рудня); подъезд к г. Ельску
- Р32: Речица—Лоев
- Р33: Речица—Хойники
- Р34: Осиповичи—Глуск—Озаричи
- Р35: Калинковичи—Брагин—Комарин—граница Украины (Комарин)
- Р36: Мозырь—Лельчицы—Милошевичи—граница Украины (Глушкевичи)
- Р37: Михалки—Наровля—граница Украины (Александрова)
- Р38: Буда-Кошелево (от М5)—Чечерск—Краснополье
- Р39: Рогачев—Жлобин (до М5)
- Р40: Боровляны—Логойск; подъезд к комплексу «Озерный»
- Р41: Слоним—Мосты—Скидель—граница Литовской Республики (Поречье); подъезд к дер. Лунно
- Р42: Гродно—Гожа—граница Литовской Республики (Привалки)
- Р43: Граница Российской Федерации (Звенчатка)—Кричев—Бобруйск—Ивацевичи (до Р2); подъезды к городам Славгороду, Черикову
- Р44: Гродно—Ружаны—Ивацевичи
- Р45: Полоцк—Глубокое—граница Литовской Республики (Котловка)
- Р46: Лепель—Полоцк—граница Российской Федерации (Юхновичи)
- Р47: Свислочь—Порозово—Пружаны
- Р48: Ворона—Ошмяны—Юратишки—Ивье; подъезд к границе Литовской Республики (Лоша)
- Р50: Мосты—Зельва—Ружаны
- Р51: Острино—Щучин—Волковыск
- Р53: Слобода—Новосады; подъезд к Кургану Славы
- Р54: Першай—Ивенец—Несвиж (через Деревное)
- Р55: Бобруйск—Глуск—Любань (до Р23)
- Р56: Молодечно—Воложин
- Р57: Кучино—Любань—Ветчин (до М10)
- Р58: Минск—Калачи—Мядель
- Р59: Логойск—Смолевичи—Марьяна Горка

- Р60: Купа—Занарочь—Брусы
Р61: Узда—Копыль—Гулевичи (через Старицу)
Р62: Чашники—Бобр—Бобруйск (через Кличев)
Р63: Борисов—Вилейка—Ошмяны
Р64: Столбцы—Мир
Р65: Заславль—Дзержинск—Озеро
Р66: Калачи—Логойск
Р67: Борисов—Березино—Бобруйск
Р68: Пуховичи—Узда—Негорелое
Р69: Смолевичи—Смиловичи—Правдинский—Шацк
Р70: Княжицы—Горки—Ленино
Р71: Могилев—Славгород
Р72: Осиповичи—Свислочь
Р73: Чаусы—Мстиславль—граница Российской Федерации (Коськово)
Р74: Чериков—Краснополье—Хотимск
Р75: Климовичи (от Р43)—Костюковичи—граница Российской Федерации (Смольки); подъезд к г. Костюковичи
Р76: Орша—Шклов—Могилев
Р77: Шклов—Белыничи
Р78: Олекшицы—Волковыск—Порозово
Р79: Кличев—Чечевичи
Р80: Слобода—Паперня
Р81: Пружаны—граница Республики Польша; подъезд к дер. Вискули
Р82: Октябрьский—Паричи—Речица; подъезд к г. Светлогорску
Р83: Брест—Каменец—Национальный парк «Беловежская пуша»
Р84: Береза—Дрогичин
Р85: Слоним—Высокое
Р86: Богушевск (от М8)—Сенно—Лепель—Мядель
Р87: Витебск—Орша
Р88: Житковичи—Давид-Городок—граница Украины (Верхний Теребежов)
Р89: Лида—Трокели—Геранены—граница Литовской Республики (Геранены)
Р90: Паричи—Красный Берег (до М5)
Р91: Осиповичи—Барановичи
Р92: Марьяна Горка—Старые Дороги

- Р93: Могилев—Бобруйск
- Р94: Брест—Томашовка—граница Украины; подъезд к границе Республики Польша (Домачево)
- Р95: Лынтупы—Свирь—Сморгонь—Крево—Гольшаны
- Р96: Могилев—Рясна—Мстиславль; подъезды: к г. Чаусы, г.п. Дрибин
- Р97: Могилев—Быхов—Рогачев
- Р98: Северо-западный обход г. Бобруйска
- Р99: Барановичи—Волковыск—Пограничный—Гродно; подъезды к границе Республики Польша (Брузги, Берестовица)
- Р100: Мосты—Большая Берестовица
- Р101: Пружаны—Берега
- Р102: Высокое—Каменец—Кобрин
- Р103: Клецк—Ляховичи
- Р104: Жабинка—Кобрин
- Р105: Ганцевичи—Логишин
- Р106: Молодечно—Сморгонь; подъезд к г. Сморгонь
- Р107: Несвиж—Тимковичи
- Р108: Барановичи—Молчадь—Дятлово
- Р109: Лиозно—Ореховск (до М8)
- Р110: Глубокое—Поставы—Лынтупы—граница Литовской Республики (Лынтупы); подъезд к границе Литовской Республики (Мольдевичи)
- Р111: Бешенковичи—Чашники
- Р112: Витебск—Сураж—граница Российской Федерации (Стайки)
- Р113: Сенно—Бешенковичи—Ушачи
- Р114: Городок—Улла—Камень
- Р115: Витебск—Городок (до М8)
- Р116: Ушачи—Лепель
- Р118: Любоничи (от Р62)—Кировск
- Р119: Славгород—Никоновичи (до М8)
- Р120: Быхов—Белынич
- Р121: Шклов—Круглое
- Р122: Могилев—Чериков—Костюковичи
- Р123: Присно—Мосток—Дрибин—Горки
- Р124: Ветка—Добруш—Тереховка—граница Российской Федерации и граница Украины (Веселовка)
- Р125: Лоев—Брагин

- P126: Ельск—Наровля
- P128: Туров—Лельчицы—Словечно
- P129: Гомель—аэропорт Гомель
- P130: Буда-Кошелево—Уваровичи—Калинино
- P131: Калинковичи—Мозырь (до P31)
- P132: Граница Российской Федерации (Горбачево)—Россоны—

Кохановичи

- P134: Большая Берестовица—Кваторы—Свислочь
- P135: Ивье—Трокели—Радунь
- P136: Войтешин (от P2)—Хомск—Дрогичин
- P138: Чаусы—Славгород (до P71)
- P139: Хотимск—Рудня
- P140: Славгород—Краснополье
- P141: Белица—Желудок—Рожанка
- P142: Зельва—Деречин—Медвиновичи
- P144: Иваново—граница Украины (Мохро)
- P145: Гродно—Острына—Радунь—граница Литовской Республики (Дотишки)
- P146: Ошмяны—Клевица—граница Литовской Республики (Клевица)
- P147: Стытычево—Невель—граница Украины (Невель)
- P148: Ельск—Махновичи (до P36)
- P149: Жлобин (от M5) —Светлогорск (до P82)

Местные автомобильные дороги, находящиеся в ведении облдорстроев, числятся под индексом Н.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Зарубежные передвижные лаборатории для проведения диагностики автомобильных дорог

Техника для диагностирования состояния дорожных покрытий, применяемая в различных странах мира:

- КП-514МП (Россия);
- Laser RST (США, Швеция);
- SCRIM (Англия);
- ADNERA, Grip Tester, SIRANO (Франция);
- ARAN (Канада, Голландия, Чехия).
- WUD (Чехия);
- SRT-3 (Skid Resistance Tester) (Польша);
- OSCAR (Норвегия).

С помощью передвижной дорожной лаборатории КП-514МП (рис. Б1) измеряются:

– поперечная ровность – с помощью навесной ультразвуковой рейки (12 датчиков);

– геометрические параметры (продольные и поперечные уклоны, радиусы кривых в плане и профиле, высотные отметки, видимость, пройденный путь);

– коэффициент сцепления, ровность дорожного покрытия – с помощью динамометрического прицепа ПКРС-2У;

– ровность по международной системе IRI – с помощью прицепной установки ПКР-1

– прочность дорожных одежд установкой динамического нагружения ДИНА-3М;

– фиксируются параметры инженерного обустройства;

– снимается видеоинформация по дорогам и искусственным сооружениям с формированием банка видеоданных.



Рис. Б1. Передвижная дорожная лаборатория КП-514МП

Таблица Б1

Основные характеристики КП-514МП

Характеристика	Значение
Угол поворота, градус	± 360
Продольный уклон, промилле	От минус 105 до плюс 105
Поперечный уклон, промилле	От минус 105 до плюс 105
Коэффициент сцепления	От 0,15 до 0,65
Диапазон измерения поперечной ровности, мм	От 50 до 500
Прогиб дорожной одежды, мм	От 0,1 до 3,0
Рабочая скорость измерения геометрических параметров, км/ч	25
Рабочая скорость измерения ровности, км/ч	50
Рабочая скорость измерения коэффициента сцепления, км/ч	60
Потребляемая мощность, не более, Вт	360
Вместимость баков для воды, л	380
Погрешность измерения пройденного пути, %	0,1
Точность измерения поперечной ровности, мм	± 1

Дорожная лаборатория Laser Road Surface Tester (RST), рис. Б2, широко применяется в США и Швеции. Позволяет со скоростью до

90 км/ч регистрировать продольную ровность через систему специальных датчиков; поперечный профиль – при помощи 11 лазерных датчиков, установленных на балке длиной 3,1 м; элементы плана и продольного профиля трассы – при помощи гироскопов; текстуру и повреждения поверхности – при помощи лазерных датчиков и др. Следует отметить, что большинство измерений (кроме коэффициента сцепления) выполняют на чистом, сухом покрытии.



Рис. Б2. Передвижная дорожная лаборатория RST

Главным отличием английской передвижной лаборатории для оценки сцепных качеств дорожных покрытий SCRIM (Sideway force Coefficient Routine investigation Machine), рис. Б3, является то, что измерительное колесо в ней поставлено под углом 20° к направлению движения, а измерение может проводиться как с полностью, так и частично заблокированным колесом. Допустимая скорость – до 85 км/ч. Контролируемый поток воды смачивает поверхность дороги непосредственно перед испытываемым колесом, и, когда транспортное средство движется вперед, испытываемое колесо скользит в прямом направлении на мокрой дорожной поверхности. Данные испытаний непрерывно записываются и хранятся на USB флэш-накопителях для удобства обработки.



Рису Б3. Передвижная дорожная лаборатория SCRIM

Дорожная лаборатория Automated Road Analyzer (ARAN), рис. Б4, применяется в Канаде, Голландии, Чехии и ряде других стран. Представляет собой специально модифицированное транспортное средство, которое содержит обширный набор датчиков (в том числе лазерные рефлектометры, ультразвуковые датчики, акселерометры, системы глобального позиционирования, гироскопы, системы видеонаблюдения), а также компьютеры наряду с другими подсистемами высокоразвитой технологии. Позволяет со скоростью 0–110 км/ч измерять продольную и поперечную ровность полосы шириной 3,6 м, геометрические параметры – через систему гироскопов, повреждение поверхности покрытия – через систему регистрации видеокamerой. Аппаратные усовершенствования включают в себя:

- новое инерционное измерительное устройство, включающее волоконно-оптические гироскопы с твердотельными акселерометрами для высокой надежности;
- встроенный приемник GPS, работающий в режиме реального времени;
- поддержка второго приемника в режиме реального времени, дифференциальных поправок;
- усовершенствованная навигация «engine», которая сочетает инерциальное измерение с GPS и DMI, измерения положения, отношения, динамика и скорость обновления с частотой – до 50 Гц.



Рис. Б4. Передвижная дорожная лаборатория ARAN

Во Франции разработана и выпущена многофункциональная лаборатория SIRANO (рис. Б5). Она включает в себя систему GERPHO для съемки состояния покрытия, APL – для измерения ровности, RUGOLASER – для измерения шероховатости, приборы для определения параметров поперечного профиля, приборы для измерения радиусов поворота и продольных уклонов.

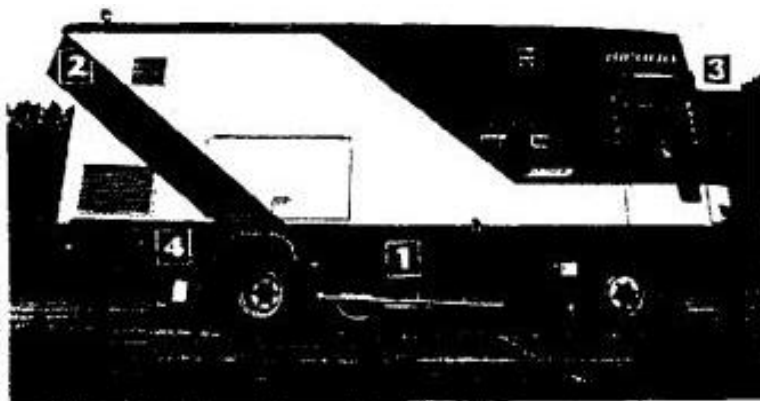


Рис. Б5. Передвижная дорожная лаборатория SIRANO

Дорожная лаборатория Skid Resistance Tester (SRT-3), рис. Б6, используется в основном в Польше и Литве. Применяется для изме-

рения коэффициента трения при полной блокировке колес. Испытание проводится двумя эквивалентными способами: посредством измерения тормозного момента и путем прямого измерения силы трения. Также могут осуществляться измерение коэффициента трения на любых поворотах и измерение реакции в виде суспензии на прицепе. Есть возможность определения продольного коэффициента трения в зависимости от скорости скольжения или относительное скольжение в каждой нарушению процесса.



Рис. Б6. Передвижная дорожная лаборатория SRT-3

Технические характеристики лаборатории SRT-3:

- полная масса – 370 кг;
- нормальная нагрузка на шины – 2943 Н (300 кг);
- номинальная скорость тест – 60 км/ч;
- тест в диапазоне скоростей – 30–120 км/ч;
- тест колеса – 165 R15/PIARC-Vredestain – гладкие шины;
- базовый тест шин – 185/70 R14 Barum Bravura (Continental);
- гидropневматической тест колеса тормозной системы;
- пневматические системы управления;
- регулируемый момент вхождения тест-колеса в блокирование.

Учебное издание

ЛЕОНОВИЧ Иван Иосифович
БОГДАНОВИЧ Сергей Валерьевич

**ДИАГНОСТИКА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»

Редактор Т. Н. Микулик
Компьютерная верстка Н. А. Школьниковой

Подписано в печать 18.06.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 15,19. Уч.-изд. л. 10,27. Тираж 300. Заказ 78.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.