

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

*И.И. Леонович, С.В. Богданович,
И.В. Нестерович*

ДИАГНОСТИКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ





**И.И. ЛЕОНОВИЧ
С.В. БОГДАНОВИЧ
И.В. НЕСТЕРОВИЧ**

ДИАГНОСТИКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**Минск
«Новое знание»**

**Москва
«ИНФРА-М»**

2011

УДК 625.7/.8.03(075.8)

ББК 39.311-08я73

Л47

Рецензенты:

зав. кафедрой «Автомобильные дороги» Белорусско-Российского университета, кандидат технических наук, доцент *Е.В. Кашевская*;
доктор технических наук, профессор кафедры транспорта леса Белорусского государственного технологического университета *Н.П. Вярко*

Леонович, И.И.

Л47 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).

ISBN 978-985-475-387-4 (Новое знание)

ISBN 978-5-16-004686-0 (ИНФРА-М)

Изложены основы дорожной диагностики. Рассмотрены основные характеристики дорожных покрытий и элементов инженерного обустройства дороги, методы их измерения и используемые для этого приборы и установки. Особое внимание уделено систематике дефектов автомобильных дорог. Описана диагностика транспортного потока и условий эксплуатации дорог. Завершается пособие обзором систем управления состоянием дорожных покрытий.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Автомобильные дороги». Может быть полезно инженерно-техническим работникам предприятий дорожного хозяйства.

УДК 625.7/.8.03(075.8)

ББК 39.311-08я73

ISBN 978-985-475-387-4 (Новое знание)
ISBN 978-5-16-004686-0 (ИНФРА-М)

© Леонович И.И., Богданович С.В.,
Нестерович И.В., 2011
© ООО «Новое знание», 2011

Предисловие

Диагностика автомобильных дорог — интереснейшая область дорожной деятельности. Однако сегодня, спустя почти 25 лет после ее зарождения, в среде дорожников все еще нет полного понимания того, что же это такое. В основе неверных представлений лежит общеинженерное толкование термина. Большая советская энциклопедия так определяет его: «Техническая диагностика — научно-техническая дисциплина, изучающая и устанавливающая признаки дефектов технических объектов, а также методы и средства обнаружения и поиска (указания местоположения) дефектов. Основным предметом технической диагностики — организация эффективной проверки исправности, работоспособности, правильности функционирования технических объектов».

Если исходить из такого определения, то диагностика — это только проверка исправности, и именно так понимают ее слишком многие.

Однако новые материалы, конструкции, технологии разрабатываются не для успешного испытания единичных образцов и устройства коротких опытных участков, а для массового применения в реальных условиях эксплуатации. И исправность дороги в настоящее время проверяют не ради самой проверки, а с целью принятия конкретных управленческих решений. Поэтому диагностика сегодня работает в полном взаимопроникновении с другой дисциплиной — системой управления состоянием покрытий. Только в такой связке будет правильным рассмотрение диагностики, и отсюда ее значение и широкие перспективы.

Так уж сложилось, что системы управления состоянием покрытий в бывшем Советском Союзе не были востребованы и не получили развития. Неудивительно — ведь это инструмент управления в условиях рыночной экономики. Возможно, по этой причине и диагностика дорог долгое время не имела необходимого импульса к развитию. И только в последние годы диагностика как система оценки состояния автомобиль-

ных дорог переросла в науку. Она базируется на определенном теоретическом фундаменте, постоянно совершенствующейся приборно-измерительной базе, располагает практическими методами неразрушающего и разрушающего контроля.

Нельзя не вспомнить научные труды многих ученых-дорожников, заложивших прочный фундамент развития диагностики. Это В.Ф. Бабков, А.К. Бируля, А.П. Васильев, О.А. Дивочкин, И.А. Золотарь, Н.Н. Иванов, В.Д. Казарновский, С.С. Кизима, Ю.В. Кузнецов, В.К. Некрасов, М.В. Немчинов, С.Ю. Рокас, В.А. Семенов, В.В. Сильянов, А.В. Смирнов, Ю.М. Яковлев и многие-многие другие.

Дорожная диагностика, как и другие науки, прошла свой исторический путь развития, имеет прошлое, настоящее и будущее.

В прошлом в основе оценки качества дорог лежали визуальные методы, а технические и эксплуатационные характеристики проезжей части определялись с помощью простейших инструментов и приборов. По мере развития сети автомобильных дорог, повышения уровня механизации их строительства, содержания и ремонта совершенствовались методы контроля как технологических процессов, так и эксплуатационных качеств дорожных сооружений.

В настоящее время дорожная диагностика охватывает комплекс установившихся теоретических положений о прочности и надежности дорожных одежд, ровности, шероховатости и сцепных качествах дорожных покрытий, об инженерном, архитектурном и информационном обустройстве дорог, экологической и дорожно-транспортной безопасности, а также о системе управления качеством дорог, технологии и организации работ по их содержанию и ремонту.

Мировая и отечественная практика свидетельствует, что для оценки качества дорог в целом и определения всех основных технических и транспортно-эксплуатационных параметров в настоящее время широко используются технические и автоматизированные средства, передвижные установки, лаборатории, испытательные стенды и пр. Получаемые при этом экспериментальные характеристики и являются основой

для формирования и накопления банка дорожных данных. Регулярность сбора информации о состоянии дорог и систематичность ее обработки позволяют иметь оперативные данные для принятия управленческих решений о рациональном расходовании материальных и финансовых ресурсов.

В перспективе дорожная диагностика, можно предположить, будет развиваться на основе телекоммуникационных систем. Несомненно, при этом потребуются дополнительные теоретические исследования новых машин, материалов, технологий, а также новых закономерностей, которые будут установлены по ряду фундаментальных научных дисциплин и которые можно будет рассматривать как сопутствующие для дорожного материаловедения, механики дорожных одежд и физики дорожного покрытия.

При изложении материала авторы использовали некоторые положения нормативных документов, действующих на территории нашей страны, а также практический опыт выполнения диагностики, накопленный предприятием «Белдорцентр».

Авторы будут весьма признательны читателям за отзывы о книге или пожелания по ее улучшению, которые просим направлять в адрес издательства или по электронной почте: bsw001@hotmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Сеть современных автомобильных дорог любого развитого государства создавалась в течение многих десятков лет. Автомобильные дороги являются важнейшим элементом транспортной системы государства, непосредственно влияют на его экономическое, социальное и культурное развитие, активизируют международный обмен и торговлю.

Надежно работающая, рациональная и безопасная сеть автомобильных дорог, ориентированная на интересы пользователей страны, является базовым условием развития производственной и социальной сфер, формирования рыночных отношений, экономики и национальных ресурсов.

В настоящее время в большинстве стран дорожная сеть сформирована и имеет значительную протяженность. Для сравнения сети дорог в различных странах принято использовать такие показатели, как протяженность дорог на 1000 жителей и протяженность дорог на 1000 км² территории (табл. В.1).

Таблица В.1

Сеть автомобильных дорог некоторых стран, км

Страна	На 1000 жителей	На 1000 км ² территории
Беларусь	7,6	356
Германия	7,8	1803
Казахстан	11,4	62
Литва	6,3	330
Россия	8,0	70
США	22,4	670
Украина	3,6	280
Франция	16,8	1830
Швеция	15,6	313

Одной из отличительных особенностей дороги как инженерного сооружения является постоянное, не прекращающееся с момента начала строительства агрессивное воздействие окружающей среды и автомобильного транспорта, которое иногда может превышать расчетные значения как по длительности, так и по интенсивности. Все это приводит к различным видам повреждений дорог, в первую очередь дорожного покрытия.

Любые повреждения ухудшают потребительские свойства дорог — их ровность, сцепные свойства, светотехнические характеристики. По плохим дорогам некомфортно ездить, на них ускоренными темпами изнашивается подвижной состав, снижается средняя скорость передвижения. Это ведет к росту затрат пользователей дорог, потерям времени на доставку грузов и пассажиров, т.е. оборачивается экономическими потерями, составляющими в масштабах страны значительные суммы.

Единственный способ противостоять потерям — ремонт дорог. Здесь мы сталкиваемся с другой особенностью дорог — высокой материалоемкостью и, следовательно, высокой стоимостью ремонтов. Так, для того чтобы отремонтировать 1 км дороги IV категории, потребуется в среднем 150 000 долларов США, а стоимость ремонта 1 км дороги I категории выше в несколько раз. Для ремонта даже трети дорог потребуется сумма, превышающая все золотовалютные запасы страны.

Это означает, что на ремонт всех дорог средств не хватает. Так обстоит дело в любой стране: каждая дорожная администрация сталкивается с недостатком финансовых средств и невозможностью выполнить все требуемые ремонты.

В этих условиях возникает ряд сложных вопросов. Какие дороги следует ремонтировать? Те, которые наиболее разрушены? А если движение транспорта по ним незначительно? Если ремонтировать, то какой вид ремонта выполнять? Где проводить ремонт в первую очередь, а где его можно отложить на более поздний срок? Перечень таких вопросов можно продолжать. В итоге мы имеем дело с чрезвычайно сложной инженерно-экономической проблемой, для решения которой требуется большое количество исходных данных, специальные методы и алгоритмы.

При этом следует помнить, что дорожные администрации несут ответственность за качество управления чрезвычайно ценными общественными активами. Они обязаны инвестировать средства в ремонт и содержание дорог таким образом, чтобы эти затраты вернулись с максимальной выгодой для пользователей автомобильных дорог и общества, которому они служат.

Традиционно основой инженерной деятельности в дорожном секторе являются проектирование и строительство новых автомобильных дорог. Однако если дорожная сеть уже практически сформировалась, то основное внимание переключается со строительства новых дорог на ремонт и содержание существующей сети дорог. Но ремонт и содержание дорог — это процесс, который существенно отличается от процесса строительства новых дорог. Строительная деятельность обычно включает в себя проекты с определенным началом и окончанием работ; ремонт и содержание, наоборот, процесс постоянный. В то время как при проектировании и строительстве основными являются инженерные проблемы, ремонт и содержание — преимущественно управленческая проблема. Совершенствование процесса содержания дорог часто осуществляется с одновременным изменением системы управления этим процессом, решением проблемы человеческих ресурсов и изменением практики управления до решения каких-либо технических проблем. Практика многих стран показала, что очень трудно эффективно управлять ремонтом и содержанием для предотвращения полного разрушения дорог большого протяжения.

Чтобы обеспечить безопасный и комфортабельный проезд, дороги требуется ремонтировать. По результатам существующих исследований известно, что каждый рубль, вложенный в дорожное хозяйство, приносит народному хозяйству приблизительно 170 рублей прибыли за счет сокращения эксплуатационных затрат транспортных средств; увеличения срока службы; улучшения транспортных услуг населению (повышение его жизненного и культурного уровня); сокра-

щения числа погибших и раненых в дорожно-транспортных происшествиях; развития сельского хозяйства благодаря обеспечению сельских населенных пунктов дорогами с твердым покрытием.

Существенной проблемой является несоответствие фактической несущей способности сети дорог реальным транспортным нагрузкам. В соответствии с Европейскими стандартами магистральные дороги должны обеспечивать пропуск транспортных средств с нагрузкой 11,5 тонны на одиночную ось. Фактически же многие дороги не отвечают этим требованиям. Такая ситуация сложилась во всех странах СНГ: за последнее десятилетие существенно увеличилась интенсивность движения на автомобильных дорогах, повысилась доля большегрузных транспортных средств, резко ухудшилось транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог, спроектированных и построенных под другие, более низкие нагрузки.

В таких условиях наиболее актуальным становится вопрос оптимального управления сетью дорог в рамках имеющихся средств.

Эту задачу помогает решить диагностика дорог, результаты которой позволяют оценить состояние сети дорог, определить потребность средств на ремонты, оптимально распределить средства.

Диагностика — научно и практически обоснованная система оценки технического и эксплуатационного состояния автомобильной дороги с целью принятия управленческих решений.

Оценка технико-эксплуатационного состояния автомобильных дорог базируется на теории прочности и надежности дорожной конструкции, методах и средствах обнаружения дефектов в земляном полотне, дорожной одежде, искусственных сооружениях, в элементах инженерного и архитектурного обустройства. Под *дефектами* следует понимать любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам. Обнаружение дефектов предусматривает установление факта их наличия, а поиск — определение их величины и местоположения.

Неисправное и неработоспособное техническое состояние дороги или отдельных ее объектов может быть диагностировано путем указания на соответствующие дефекты, нарушающие исправность, работоспособность или правильность функционирования объекта.

Поиск и обнаружение дефекта являются процессом определения технического состояния дороги и объединяются общим термином «диагностирование».

Задачами диагностирования являются проверки работоспособности и правильности функционирования рассматриваемого объекта и поиск дефектов, нарушающих их. Постановка этих задач предполагает, во-первых, прямое или косвенное определение вида возможных дефектов и, во-вторых, наличие формализованных методов построения алгоритмов диагностирования, реализация которых обеспечивает обнаружение дефектов заданного вида с требуемой полнотой или поиск последних.

Диагностирование состояния дороги осуществляется различными *средствами*, которые могут быть аппаратными

или программными; в качестве средств при диагностировании могут также выступать человек-оператор, контролер-эксперт и т.п.

Средства и дорожный объект образуют *систему диагностирования*. Различают системы тестового и функционального диагностирования. В системах тестового диагностирования на объект подают специально организуемые тестовые воздействия (например, динамическое нагружение при испытании прочности дорожной конструкции). В системах функционального диагностирования на объект поступают только рабочие воздействия (например, определение фактической скорости движения транспортного потока). В системах обоих видов средства диагностирования воспринимают и анализируют ответы объекта на входные воздействия и выдают результаты диагностирования, используемые для оценки технического и транспортно-эксплуатационного состояния дороги, принятия соответствующих управленческих решений при выработке дорожной и транспортной политики, совершенствования технологии производства дорожных работ, повышения качества дорог с экономным расходом материальных и финансовых ресурсов.

При выборе системы диагностирования необходимо четко сформулировать *цели диагностики* автомобильных дорог:

- определение технического состояния, в котором находится дорога в рассматриваемый период времени. Этот вид работ выполняется в процессе диагностирования состояния с использованием инструментов, приборов, различного рода установок и передвижных лабораторий. В Республике Беларусь широко применяются как отечественные, так и зарубежные контрольно-измерительные приборы;

- прогнозирование технического состояния, в котором окажется автомобильная дорога по истечении определенного периода времени. Этот вид работ имеет экспериментально-аналитический характер и включает, с одной стороны, детальное экспериментальное исследование состояния дорог с помощью имеющихся технических средств, а с другой — разработку прогнозов по специально построенным алгоритмам и программам;

□ выяснение первопричин возникновения тех или иных дефектов, их генезиса. Этот вид диагностирования базируется на данных контроля качества дорожно-строительных материалов, используемых при строительстве, данных анализа условий эксплуатации дороги, закономерностях изменения свойств материалов под воздействием природных факторов и транспортных нагрузок. Несомненную пользу при этом могут дать банки данных, отражающих особенности эксплуатации автомобильной дороги за весь рассматриваемый период.

Диагностика автомобильных дорог как наука или методически обоснованная система сбора и анализа данных при технической и эксплуатационной оценке автомобильных дорог неразрывно связана с организацией всех дорожных работ. Диагностирование — это процесс сбора и анализа данных о техническом и эксплуатационном состоянии дороги или отдельного ее объекта. Данные диагностирования позволяют оценить принятые ранее проектные решения, установить недостатки, которые были допущены при строительстве, наметить оптимальные пути совершенствования технологии содержания и ремонта, выбрать наиболее экономичные методы управления эксплуатацией автомобильных дорог.

Диагностика автомобильных дорог как наука находится на стадии своего зарождения, но она интенсивно развивается: создаются современные контрольно-измерительные приборы, многофункциональные передвижные лаборатории, разрабатываются системы сбора, передачи, хранения и использования информации об интенсивности транспортных потоков и состоянии окружающей среды. Развитие и повсеместное применение диагностики открывает новые возможности в деле повышения качества автомобильных дорог, рационального использования материальных и финансовых ресурсов. Но для повсеместного применения современных методов диагностирования необходимы более развитые экспериментальные базы ДРСУ, ДЭУ и других дорожно-эксплуатационных организаций, а также компьютерные системы управления процессом содержания и ремонта автомобильных дорог.

Задачи диагностики транспортно-эксплуатационного состояния:

□ сбор объективной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии и технико-эксплуатационном качестве автомобильных дорог;

□ оценка транспортно-эксплуатационного состояния дорог с определением участков, подлежащих ремонту, и выявление причин этого несоответствия требованиям;

□ прогнозирование изменения состояния автомобильных дорог и разработка рекомендаций по повышению их транспортно-эксплуатационного состояния с определением видов и объемов работ;

□ планирование дорожных работ с учетом полного и ограниченного финансирования;

□ формирование автоматизированного банка дорожных данных, включающего обработку, хранение и выдачу информации о транспортно-эксплуатационном состоянии сети автомобильных дорог.

Основные диагностические характеристики дорог:

- прочность дорожной одежды;
- индекс неровности покрытия;
- шероховатость поверхности покрытия;
- сцепные качества покрытия;
- цветовая однородность;
- инженерная обустроенность;
- снеговая защищенность;
- дефектность покрытия.

Способы определения показателей качества включают: визуальный осмотр, измерения линейных величин, неразрушающий контроль качества, контроль качества по кернам и образцам, опосредованные методы контроля.

Диагностика автомобильных дорог производится с использованием:

□ передвижных дорожных лабораторий по измерению ровности дорожных покрытий;

□ передвижных дорожных лабораторий по установлению прочности жестких дорожных одежд;

- передвижных дорожных лабораторий по определению геометрических параметров дорог;
- передвижных дорожных лабораторий по определению коэффициента сцепления;
- прогибомеров для определения прочности дорожных одежд методом статического нагружения;
- оборудования для визуального обследования дорог и подсчета интенсивности движения;
- персональных ЭВМ для обработки информации;
- комплекса различного оборудования для определения параметров дорог.

Планирование и организация работ по обследованию автомобильных дорог производятся в зависимости от периодичности измерений показателей, классификации дорог и наличия оборудования и финансов. Все работы по диагностике должны проводиться по определенной системе (рис. 1.1).

Данные диагностики являются основой автоматизированного банка дорожных данных.

Для дальнейшего развития диагностики автомобильных дорог необходимо решение следующих первоочередных задач:

- работы по диагностированию следует проводить по научно обоснованной системе;
- диагностика должна стать составной частью дорожно-эксплуатационного и дорожно-транспортно-экологического мониторинга;
- измерительная и лабораторно-экспериментальная база должна охватывать весь комплекс работ, позволять системно накапливать репрезентативные данные для принятия обоснованных решений по ремонту и содержанию дорог;
- по всем критериям качества дорог требуется прочный теоретический фундамент и его необходимо последовательно развивать, базируясь на фундаментальных исследованиях, современной стандартизации и метрологии, имеющихся и разрабатываемых экспериментальных комплексах;
- оценка качества для сложных систем, к которым относятся дороги, успешно может производиться на основе математических моделей и методов математической статистики.



Рис. 1.1. Система диагностики автомобильных дорог

2.1. Общая характеристика

Под воздействием внешних сил и процессов, протекающих в земляном полотне и дорожной одежде, на проезжей части возникают различные неровности — волны, колеи, выбоины, просадки, прогибы и др. Возможные неровности продольного направления приведены на рис. 2.1. Появление неровностей отрицательно сказывается на эффективности работы автомобильного транспорта, способствует снижению безопасности движения, уменьшает долговечность дороги. Неровности приводят в колебательное состояние автомобиль при его движении. При колебании кузова с частотой 0,7...4 Гц пассажиры испытывают неприятные ощущения, которые при 5...20 Гц достигают выраженной степени (потеря остроты зрения, изменение дыхания и деятельности сердца — укачивание, что по аналогии с морской болезнью можно назвать автомобильной болезнью).

Для оценки ровности применяются 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 IRI 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 погоднo-климатических факторов.

2.1. Общая характеристика

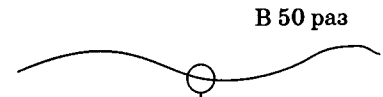
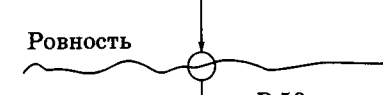
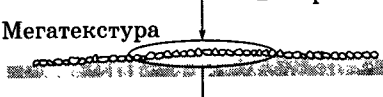
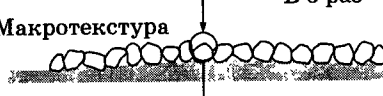
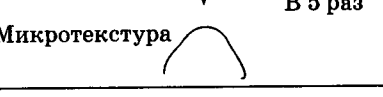
Продольный профиль	Увеличение	Относительная длина	Длина волны
	В 50 раз	Длинный участок дороги	> 50 м
	В 50 раз	Короткий участок дороги	0,5...50 м
	В 5 раз	Шина	0,05...0,5 м
	В 5 раз	Пятно контакта шины с дорогой	0,0005...0,05 м
	В 5 раз	Одиночная щебенка	< 0,0005 м

Рис. 2.1. Различные виды неровностей на автомобильной дороге

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

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

В практике эксплуатации автомобильных дорог неровности подразделяются на периодические и случайные.

Неровности периодического характера можно аппроксимировать в виде следующих функций (рис. 2.2):

а) синусоиды:

$$y = h_0 \cdot \sin 2\pi x / S; \quad (2.1)$$

б) параболы:

$$(x - S/2) = 2P(y + h_0), \quad (2.2)$$

или при $P = \frac{S^4}{8h_0}$

$$(x - S/2)^2 = \frac{S^4(y + h_0)}{4h_0}; \quad (2.3)$$

в) треугольной кусочно-прерывной:

$$\left. \begin{aligned} x - k(S + \Delta S) &= -\Delta S y / h_0 + y, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \\ y &= 0, \quad k(S + \Delta S) \leq x < S + k(S + \Delta S), \quad k = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

г) прямоугольной кусочно-прерывной:

$$\left. \begin{aligned} y &= 0, \quad k(S + \Delta S) \leq x < S + k(S + \Delta S), \quad k = 0, 1, 2, \dots \\ y &= h_0, \quad S + k(S + \Delta S) \leq x < (k+1)(S + \Delta S), \quad k = 0, 1, 2, \dots \\ -h_0 &\leq y \leq 0, \quad x = (k+1)(S + \Delta S), \quad k = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Большинство же неровностей дорожных покрытий носит случайный характер. Анализ их является задачей довольно сложной и может быть успешно произведен на основе теории математической статистики. В настоящем учебном пособии анализ неровностей покрытия рассматривается лишь фрагментарно.

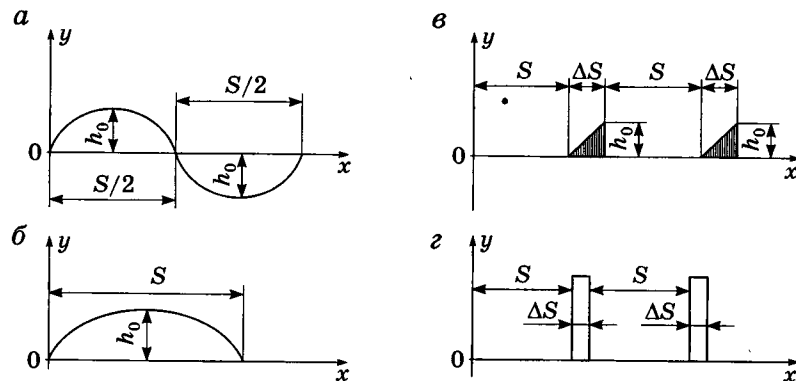


Рис. 2.2. Аппроксимация дорожных неровностей в виде синусоиды (а); параболы (б); треугольной кусочно-прерывной (в); прямоугольной кусочно-прерывной (г) функции

Профиль поверхности покрытия можно представить как воображаемую линию, полученную в результате разреза по вертикальной плоскости. Ее геометрические параметры будут характеризоваться координатами x — расстояние и z — амплитуда неровностей (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Иллюстрация профиля поверхности покрытия, амплитуды и длины волны (амплитуда и длина волны с математической точки зрения изображены условно)

Профиль может считаться стационарной произвольной функцией расстояния на покрытии. При этом функция может быть математически представлена как бесконечная серия синусоидальных компонентов различных частот, каждый с заданной амплитудой и исходной фазой. Длины волн физически могут быть представлены как различные отрезки периодически повторяющихся частей профиля. Для типичных и непрерывных профилей покрытия профиль, проанализированный по его компонентам, содержит непрерывное распределение длин волн.

Длинные плавные неровности в продольном профиле с длиной волны более 50 м можно отнести к «проектному профилю». Эти неровности воздействуют на работу двигателя и режим движения транспортного средства, но существенно не влияют на колебания автомобиля на подвеске.

Неровности с короткими длинами волн, менее 0,5 м, — мега-, макро- и микротекстура — воздействуют 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 подвески 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, и в чередовании их невозможно установить какую-либо определенную закономерность. Транспортное средство, движущееся по автомобильной дороге, в любой момент времени может оказаться на выступе или впадине различной формы дорожного покрытия — это явление случайное. Значит, воздействие профиля автомобильной дороги на транспортное средство является случайным процессом и профиль автомобильной дороги математически можно описать случайной функцией.

Величина неровностей профиля покрытия автомобильной дороги изменяется в зависимости от местоположения. Следовательно, профиль неровностей в рассматриваемый период времени может быть математически описан стационарной случайной функцией в виде гармонических колебаний со случайными амплитудами и случайными фазами.

При движении транспортного средства по участку автомобильной дороги с постоянной скоростью возникающие силы не зависят от времени прохождения данного участка. Следовательно, случайный процесс воздействия дорожного покрытия на транспортное средство представляет собой стационарный процесс, не зависящий от начала отсчета времени.

Кривая профиля дорожного покрытия является непрерывной функцией, границы неровностей на которой трудно определить. Такой профиль не имеет прямого сходства с «чистой» синусоидой, он содержит целый спектр синусоидальных волн (рис. 2.4).

Вертикальная проекция, см

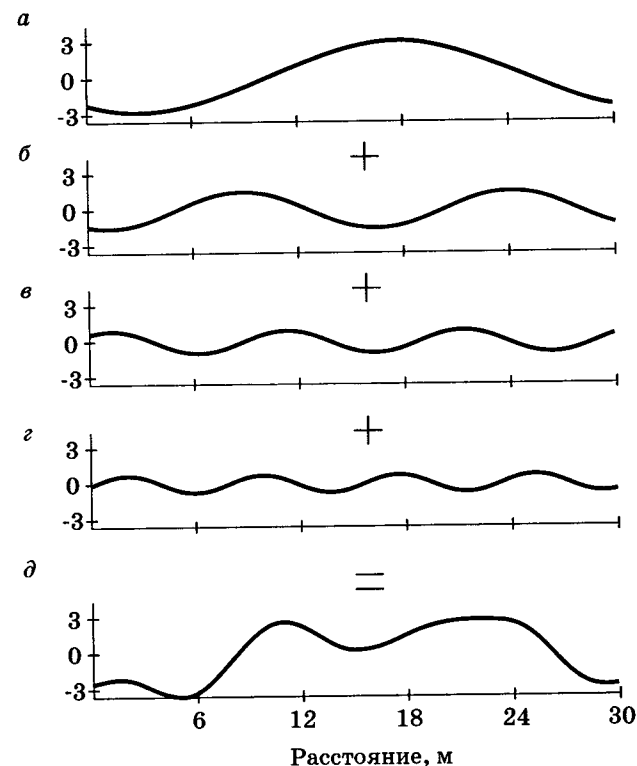


Рис. 2.4. Математическое разложение профиля на составляющие синусоиды:

а-г — вертикальные проекции неровностей с длиной волны соответственно 30, 15, 10 и 7,5 м; д — суммарная вертикальная проекция

Неровности дорожного покрытия распределяются по нормальному закону распределения (закону Гаусса). Впадины и выступы неровностей равновероятны. В качестве примера на рис. 2.5 приведены кривые распределения неровностей покрытия участка дороги длиной 3067,9 м, измеренные лазерной установкой, шаг измерения составлял 0,11 м.

Автомобиль, движущийся по неровной поверхности покрытия, можно представить в виде механической динамической системы (рис. 2.6).

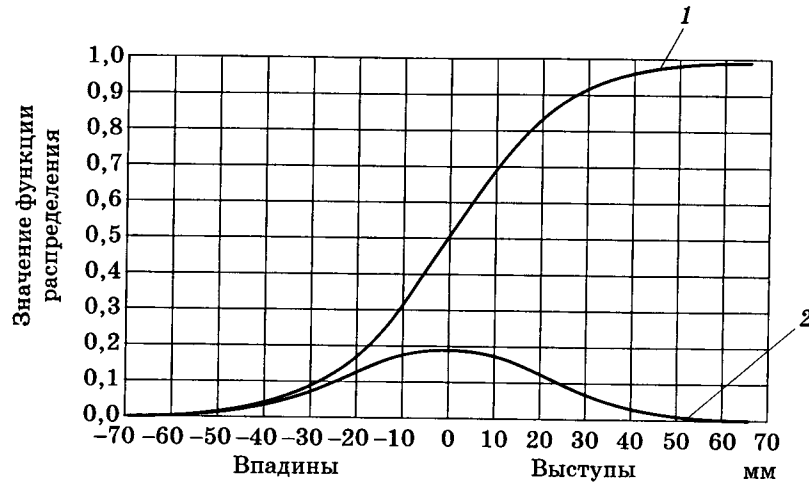


Рис. 2.5. График нормального распределения неровностей на участке автомобильной дороги. Интегральная (1) и дифференциальная (2) кривые плотности вероятности распределений

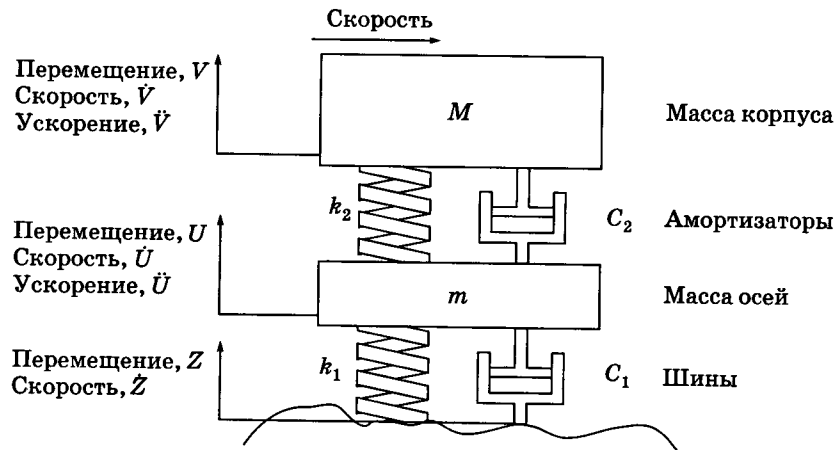


Рис. 2.6. Расчетная динамическая модель автомобиля, движущегося по неровной дороге:
 k — жесткость пружины; C — вязкость амортизатора

Данная динамическая система подвергается случайным воздействиям неровностей как возмущающей функции во времени, преобразуясь в другую выходную функцию времени —

колебания автомобиля, характеризующую определенной передаточной функцией. По относительным перемещениям системы можно судить о микропрофиле автомобильной дороги, т.е. о ее ровности.

Статистические свойства стационарных случайных процессов, рассматриваемых в теории вероятности, характеризуются корреляционной функцией $R(\tau)$ и спектральной плотностью $s(\omega)$.

Корреляционная функция является основной характеристикой микропрофиля дороги и отражает характер неровностей (высоту, форму, длину неровности) и скорость движения автомобиля. Математически корреляционная функция и спектральная плотность связаны взаимно обратными преобразованиями Фурье (формулы Винера — Хинчина):

$$R(\tau) = 2 \int_0^{\infty} s(\omega) \cos \omega \tau d\omega, \quad s(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos \omega \tau d\tau. \quad (2.6)$$

В действительной форме эти формулы представляют собой взаимно обратные преобразования Фурье:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\omega) e^{i\omega\tau} d\omega, \quad s(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau. \quad (2.7)$$

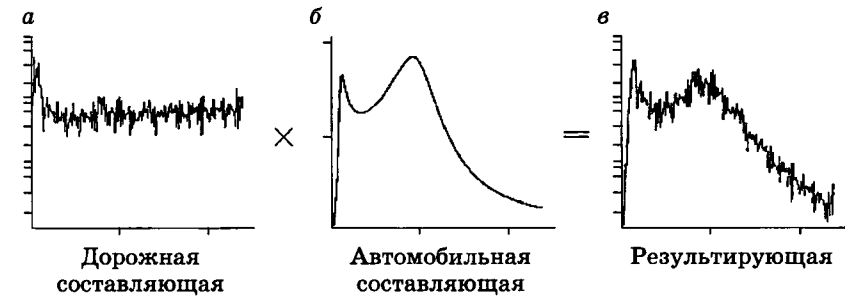


Рис. 2.7. Влияние дороги и автомобиля на спектральную плотность перемещения ось — кузов:

a — спектральная плотность распределения дисперсии амплитуд продольного профиля; b — функция реакции автомобиля; v — реакция автомобиля

Для анализа неровностей строят график спектральной плотности уклона и амплитуд продольного профиля. Для примера на рис. 2.7 приведены графики спектральной плотности системы дорога — автомобиль.

2.2. Система измерения ровности дорожного покрытия

Измерение ровности — процесс определения как самих неровностей, так и характера воздействия неровностей 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, уклонометры, профилометры, нивелиры и др.; импульсного действия, измеряющие колебания или перемещения отдельных элементов автомобиля — различные толчкометры (приборы с обратной реакцией), акселерометры; инерционного действия, динамически преобразующие продольный профиль дороги. Методы измерения ровности делятся на контактные и бесконтактные, дискретные и непрерывные, простые и с анализирующим устройством. Их можно условно объединить в две группы (рис. 2.8).

2.2.1. Определение ровности покрытий по воздействию неровностей на измерительное устройство

При использовании данных методов применяют толчкометры, измеряющие при движении автомобиля сумму прогибов рессор; акселерометры, регистрирующие вертикальные ускорения; динамометрические прицепы. Приборы для измерения неровностей дорог начали применяться с 1920-х гг. Предназначались они для определения эксплуатационных качеств и устанавливались в транспортном средстве для преобразования и накопления прогиба подвески, возникающего под воздействием неровностей покрытия при перемещении транс-

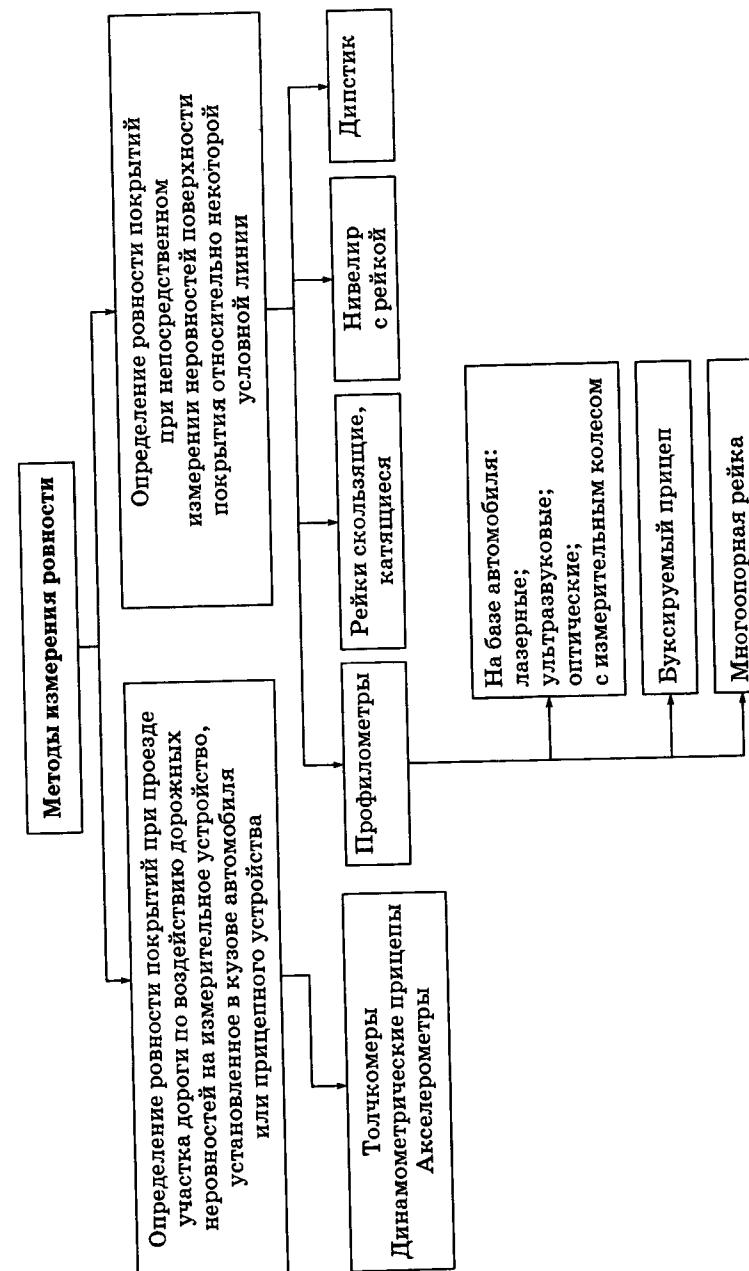


Рис. 2.8. Классификация методов определения ровности покрытия

портного средства по дороге. Получаемый результат пропорционален общему суммарному прогибу подвески, который произошел за время испытаний (см/км, м/км, см/100 м, м/100 м, дюйм/миля). Эти приборы называются толчкомерами, а за рубежом — дорожными измерителями (дорожными счетчиками, измерительными системами неровности дорог с обратной реакцией (RTRRMS), системами измерителей дорог и др.).

При установке толчкомера на микроавтобусе (легковом автомобиле, легком грузовике) или на буксируемом прицепе с одним или двумя колесами измеряется обратная реакция дороги, а не сами ее неровности. Известными и популярными устройствами этого типа являются толчкомер ХАДИ, предложенный проф. А.К. Бирулей, модифицированная конструкция этого прибора ТХК-2 филиала СоюздорНИИ (серийный выпуск Минавтодором Казахской ССР), толчкомер ТЭД-2М (Казахский филиал СоюздорНИИ), толчкомер ИВП-1М (РосдорНИИ), динамометрический прицеп ПКРС-2У, зарубежные — дорожный измеритель Мэйза, измеритель РСА, измеритель Коха, измеритель ровности BPR, измеритель ровности Bump Integrator и др. (табл. 2.1).

Принципиальная схема измерительной установки на базе легкового автомобиля представлена на рис. 2.9 (толчкомер ХАДИ, ТХК-2, ТЭД-2М, ИВП-1М, измеритель Мэйза).

Результаты измерений в наиболее старых моделях толчкомеров фиксировались электромеханическим способом. При этом для регистрации использовались счетчики на бумажной ленте (ТХК-2, рис. 2.10) и оптоэлектронные устройства с записью в бортовой компьютер (ТЭД-2М, ИВП-1М, рис. 2.11).

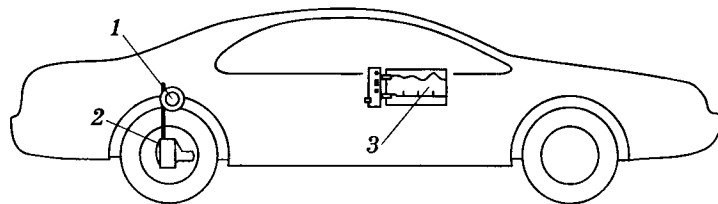


Рис. 2.9. Измерительная система, оборудованная толчкомером: 1 — толчкомер; 2 — ведущий мост; 3 — записывающее устройство

Таблица 2.1
Характеристика основных измерительных систем, определяющих воздействие неровностей на измерительное устройство

Название	Измеряемый параметр	Место установки датчика	Скорость измерения, км/ч	Область применения	Страна
Толчкомер ХАДИ	Вертикальное перемещение	Шасси автомобиля, над осью	30 или 50	Состояние сети автомобильных дорог, предварительная оценка качества строительства	СССР
Толчкомер ТХК-2	То же	То же	40...60	То же	Беларусь, Казахстан, Россия
Толчкомер ТЭД-2М	»	»	40...60	»	Беларусь, Казахстан, Россия
Толчкомер ИВП-1М	»	»	50	»	Беларусь, Россия
ПКРС-2У	»	Шасси прицепа, над ступицей колеса	50	»	Беларусь, Литва, Россия, Украина
Bump Integrator	»	То же	32...50	Состояние сети автомобильных дорог	Великобритания, Дания, Испания, Нидерланды, США

Название	Измеряемый параметр	Место установки датчика	Скорость измерения, км/ч	Область применения	Страна
Измеритель PCA	Вертикальное перемещение	Шасси автомобиля, над осью	До 80	Состояние сети автомобильных дорог	США
Измеритель Мэйза	»	То же	До 80	»	США
NAAASRA Roughness	»	»	50...80	»	Австралия
ARAN (ранние модели)	Ускорение	Опорная площадка на оси	50...80	»	Канада
RST-Saab	То же	Опорная площадка консоли колеса	30...120	»	Швеция

2. Ровность дорожных покрытий

2.2. Система измерения ровности дорожного покрытия

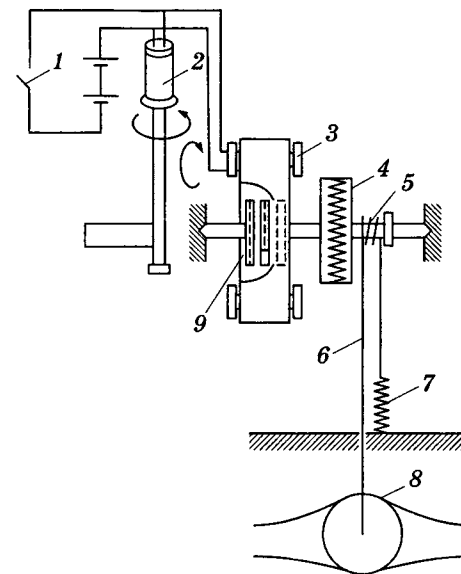


Рис. 2.10. Схема толчкомера ТХК-2 конструкции Казахского филиала СоюздорНИИ:

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

Качественные характеристики измерений, получаемых с помощью измерительных систем с толчкомерами, во многом зависят от различного рода случайностей. Даже если автомобиль стандартизован, данные разных толчкомеров отличаются, хотя следовало бы считать, что они должны быть идентичны. Еще больше осложняет проблему изменение со временем качества автомобиля (нагрузка в кузове, давление в шинах, жесткость рессор, неровности шин). Измерительная система, оборудованная толчкомером, зависит от динамики транспортного средства и имеет два нежелательных эффекта:

□ методы измерения ровности не являются стабильными во времени, т.е. измерения, выполненные в данный момент, по надежности не могут сравниться с теми, которые были получены несколько лет назад;

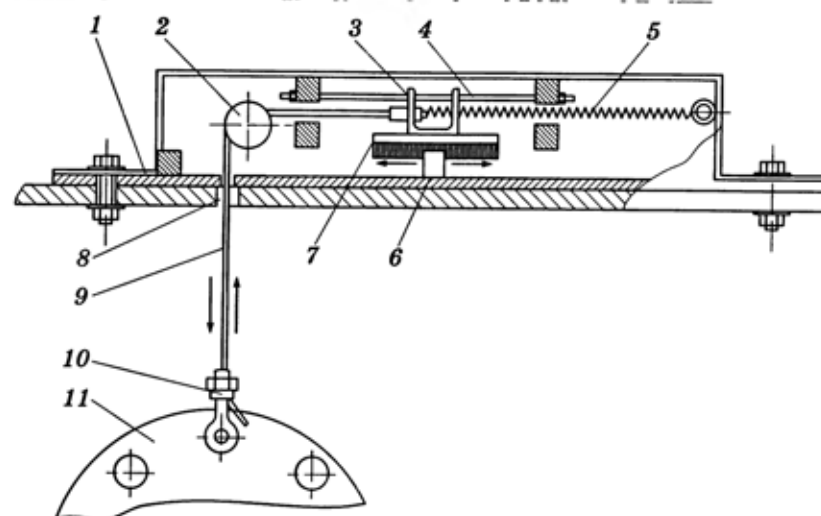


Рис. 2.11. Схема механической части толчкомера ИВП-1М:

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

□ измерения ровности несопоставимы, т.е. измерения, сделанные одним типом прибора, не репродуцируются на другой тип прибора при отсутствии ранее выполненной корреляции между ними.

Эти проблемы частично обусловлены тем, что дорожные измерители — изобретения, которые должны быть недорогими, простыми и легкими в обращении.

Измерительные системы, выполненные на базе специального одноколесного прицепа, оборудованного измерительным прибором (ПКРС-2У, BPR, Bump Integrator), не зависят от типа буксирующего автомобиля, но зависят от показателей самого прицепа — шины, амортизаторов (рис. 2.12).

В динамометрическом приборе ПКРС-2У применяется метод определения суммарной величины перемещения измерительного колеса прицепа относительно инерционной массы его корпуса (рис. 2.13). Измерения выполняются на постоянной скорости 50 км/ч.

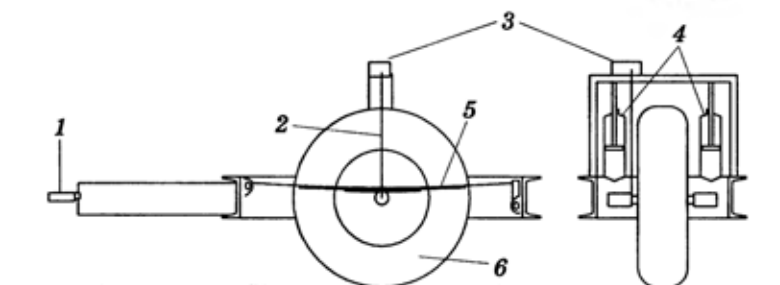


Рис. 2.12. Измеритель ровности BPR:

1 — прицепное устройство; 2 — трос; 3 — дорожный счетчик; 4 — амортизатор; 5 — рессора; 6 — колесо

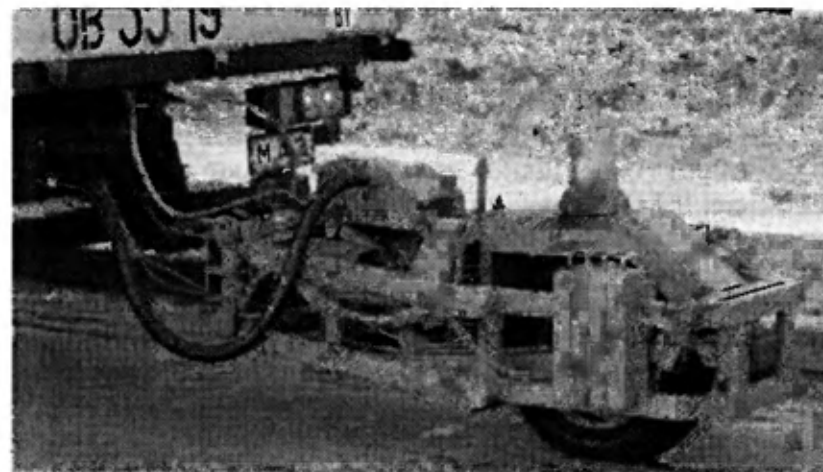


Рис. 2.13. Динамометрический прицеп ПКРС-2У

Другая трудность при использовании толчкомеров — отсутствие стандартной шкалы неровности, преодоление которой возможно путем приведения всех приборов к единому стандарту. Многие пользователи приборов измерения ровности сначала не рассматривали отсутствие стандартной меры как серьезную проблему. Данные по ровности для магистралей, города или сельской местности могли определяться в произвольных единицах и иметь чисто внутреннее значение. Однако только в Беларуси в настоящее время для измерения

ровности дорожных покрытий применяются различные измерительные установки: ПКРС-2У, ТЭД-2М, ИВП-1М, а в России — гораздо большее количество конструкций.

Несмотря на проблемы с воспроизводимостью и сопоставимостью данных, полученных с использованием толчковых, существует причина, благодаря которой они достаточно популярны и спустя 90 лет с начала их применения. Измерения, которые выполняются с их помощью, рассматриваются инженерами как способ определения качества дорожного покрытия. Если удастся сделать так, что толчковые дадут результаты, сопоставимые для различных транспортных средств на протяжении некоторого промежутка времени, то интерес к ним отмечается и сегодня.

Как уже подчеркивалось, измерительные системы с толчковыми во многом зависят от различного рода случайностей.

Датчик способен уловить движение в интервале от одного положения до другого, но не может определить движение между интервалами. Данное явление называют **квантификацией** (рис. 2.14). Уровнем квантификации является расстояние между центрами окошек датчика (прямоугольных или круглых). Поскольку движение ось — кузов носит произвольный характер, влияние квантификации на измерение числовых значений ровности можно определить вычислением прогнозируемого числа пересечений каждого порога квантификации на основании отношений, используемых в анализе произвольного сигнала. Изменение величины совокупного движения ось — кузов является функцией среднеквадратичного смещения ось — кузов, интервала переключения и положения оси в равновесии и не зависит от среднеквадратичной скорости ось — кузов. Квантификация не влияет на величину совокупного движения ось — кузов, если среднеквадратичное смещение ось — кузов как минимум больше половины величины интервала. Но ошибка развивается при движении меньше этого значения, что часто имеет место на новых, ровных покрытиях. Полярность ошибки обусловлена положением оси в равновесии в пределах центрального интервала. Если положение на краю интервала, то измеренное значение также будет слишком велико, если же положение равнове-

сия находится в середине интервала, измеренное значение будет слишком низким. Положение равновесия зависит от такого числа переменных, что в маленьком интервале оно случайно и, следовательно, погрешность квантификации также случайна.

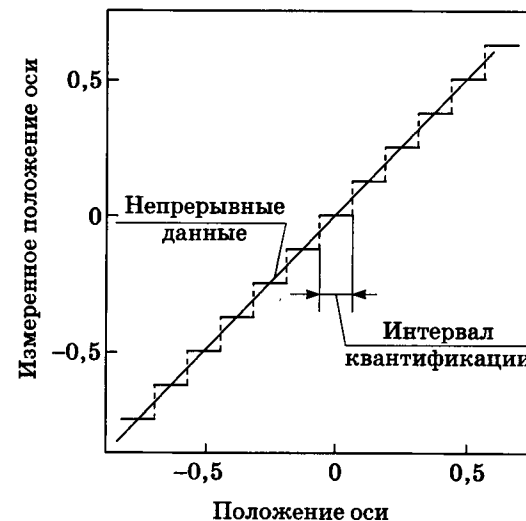


Рис. 2.14. Иллюстрация понятия «квантификация»

Можно сделать вывод, что квантификация измерителя приводит к случайным ошибкам в измерении совокупного перемещения ось — кузов, которые велики на относительно ровных покрытиях при незначительном среднеквадратичном смещении ось — кузов. На практике это означает, что результаты измерения ровности, полученные по данным толчкомера при учете не более чем 3–4 измерительных интервалов, должны считаться неточными. Кроме того, случайные ошибки даже увеличиваются, если испытательные участки короткие.

Наряду с квантификацией реальные дорожные измерители подвержены **гистерезису** — явлению, величина которого в конкретном устройстве является промежутком между окнами датчика. Датчик может не обнаружить движение в интервале, который практически достигает суммы уровней кван-

тификации и гистерезиса. Кроме того, датчик не распознает движение, величина которого меньше уровня гистерезиса. Еще один вид гистерезиса может присутствовать в датчике с хорошим разрешением в результате «мертвого хода» в соединении оси с датчиком. Поскольку гистерезис препятствует обнаружению движения, его наличие будет приводить к уменьшению величины измеренных числовых значений ровности.

Исследования показали, что потери в значениях ровности зависят в первую очередь от отношения гистерезиса к среднеквадратичному смещению ось — кузов. Гистерезис в сочетании с квантификацией приводит к случайным ошибкам, превышающим случайные ошибки в результате одной только квантификации. Влияние гистерезиса довольно велико, поскольку значение совокупного движения ось — кузов зависит от среднеквадратичной скорости, в то время как потери в счете измерений — от среднеквадратичного смещения ось — кузов. Таким образом, изменения в характеристиках обратной реакции автомобиля, или спектр неровностей покрытия дороги, которые могут повлиять на смещение ось — кузов, повлияют и на измеренное совокупное движение ось — кузов. Поскольку на среднеквадратичное смещение и среднеквадратичную скорость влияют разные частотные диапазоны, то и результаты системы с обратной реакцией будут различаться для широкополосных и синусоидальных неровностей. Это подтверждается на практике — реальный профиль покрытия представляет собой сумму многих видов неровностей.

Некоторые измерители перестают выдавать обратную реакцию, когда величина смещения ось — кузов превышает определенный предел. В результате измеренное значение уменьшается, когда дорога слишком неровная, и превышает установленный предел на значительной длине. Такое предельно допустимое значение рабочих характеристик представляло значительную проблему при использовании более ранних устройств, которые зависели от электромеханических счетчиков, регистрировавших движение ось — кузов. Типовая скорость ось — кузов может приближаться к 25 см/с, если автомобиль оснащен сверхмощными амортизаторами,

и 50 см/с при обычных амортизаторах. Поэтому часто наблюдается несоответствие результатов измерений, проведенных ранними моделями и современным оборудованием.

Датчик толчкомера должен допускать полное смещение ось — кузов без выхода за его шкалу. На практике требуется приблизительно по 4 см движения от точки равновесия. Поскольку точка равновесия зависит от нагрузки, а предельные значения могут быть большими у автомобилей с плохими амортизаторами, то диапазон хода амортизаторов может быть другим.

Механические крепления соединяют ось и датчик, установленный на кузове автомобиля. Избыточная податливость в любой точке может привести к вибрациям, которые внесут свой вклад в ошибки измерений. Датчик должен крепиться к жесткой панели кузова, не подверженной вибрации. Соединительное крепление к оси должно иметь положительное движение (т.е. отсутствие провисания, умножающего гистерезис, и пружин или кабелей, которые могут вибрировать).

Таким образом, основным недостатком современных толчкомеров является влияние квантификации и гистерезиса. При измерении совокупного движения ось — кузов квантификация добавляет случайную ошибку к результату измерения, гистерезис — постоянную ошибку, которая уменьшает результат измерения. Относительные величины этих ошибок, в свою очередь, наиболее значительны на ровных дорогах.

Скорость влияет на числовое выражение ровности, измеряемой системами с обратной реакцией, и представляется величиной «ровность/километр», зависящей от времени, необходимого для прохождения 1 км, и характера профиля дороги.

Влияние скорости можно полностью исключить измерениями на одной и той же скорости, например 50 км/ч. Но если методика измерений предполагает проведение их на участках с ограничением скорости, то введение единой, стандартной скорости может оказаться невозможным, и, следовательно, влияние скорости будет присутствовать.

2.2.2. Определение ровности покрытий при непосредственном измерении неровностей поверхности покрытия

К приборам, непосредственно измеряющим микропрофиль поверхности покрытия, относятся рейки, профилографы, профилометры, ультразвуковые эхолоты, лазерные измерители и др. (табл. 2.2).

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

Метод измерения просветов под рейкой. Одним из первых наиболее простых средств измерения неровностей на автомобильных дорогах является скользящая рейка, получившая название Viagraph (рис. 2.15).

Метод измерения основывался на фиксировании величины отклонения поверхности дорожного покрытия в середине

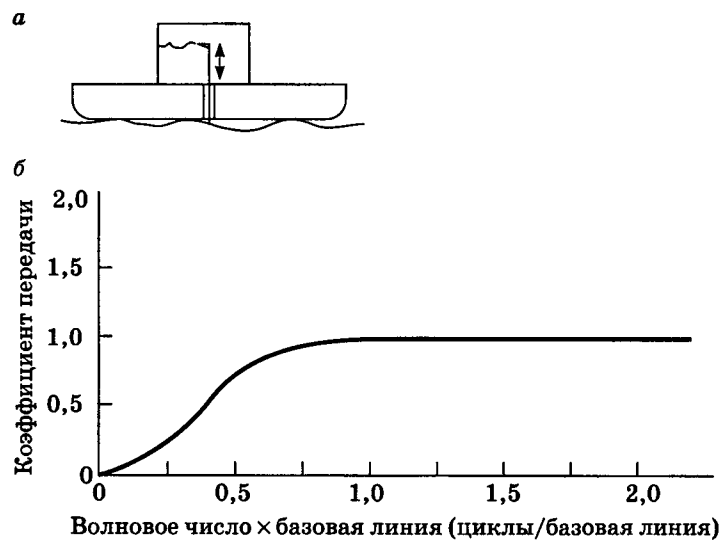


Рис. 2.15. Скользящая рейка (а) и график функции ответной реакции неровностей дорожного покрытия при измерении их скользящей рейкой (б)

Таблица 2.2

Характеристика основных измерительных систем, определяющих неровности автомобильной дороги

Название измерительной системы	Измеряемый параметр	Датчик	Скорость измерения, км/ч	Область применения	Страна
Нивелирование	Высотные отметки	Нивелир, рейка	Низкая	Оценка качества строительства	Разные
Рейка (скользящая, катящаяся)	Вертикальные превышения	Щуп-клин, другие индикаторы	То же	То же	То же
Viagraph	То же	То же	»	»	Бельгия, Венгрия, Дания, Нидерланды, Франция
Дипстик	Превышения	Датчик превышений	»	Исследования, калибровка	США
Профилограф Greenwood Engineering	Вертикальные превышения, ускорения, гироскопы и горизонталь	Лазеры, акселерометры, гироскопы	До 130	Оценка качества строительства, оценка состояния сети автомобильных дорог, исследования, калибровка	Австралия, Англия, Беларусь, Дания, Испания, Италия, Китай, Латвия, Польша, Словакия, Хорватия, Швеция
Профилограф «Династ»	То же	То же	До 120	То же	Литва

Название измерительной системы	Измеряемый параметр	Датчик	Скорость измерения, км/ч	Область применения	Страна
ЛГС	Вертикальные превышения, ускорения, гироскопы и горизонталь	Лазеры, акселерометры, гироскопы	До 100	Оценка качества строительства, оценка состояния сети автомобильных дорог, исследования, калибровка	Россия
RST-VTI	То же	То же	До 90	То же	Швеция, Венгрия
ARAN	»	Лазер, ультразвуковые датчики, акселерометры, гироскопы	До 100	»	Бельгия, Индия, Италия, Канада, Китай, Нидерланды, США, Франция, Чехия, Швейцария, Южная Африка, Южная Корея
RTM	»	»	До 100	»	Финляндия
High Speed Profilometer (HSP)	»	Лазеры, акселерометры, гироскопы	55	Оценка состояния сети автомобильных дорог	Великобритания

2. Ровность дорожных покрытий

2.2. Система измерения ровности дорожного покрытия

LaserProf	Вертикальные превышения, ускорения	Лазер, акселерометр	До 130	Оценка качества строительства, оценка состояния сети автомобильных дорог, исследования, калибровка	Беларусь, Дания
APL	Угловые перегибы	Медленный маятник, датчик угловых перемещений	20...144	То же	Беларусь, Бельгия, Болгария, Испания, Марокко, Нидерланды, Португалия, Тунис, Франция
Winkelmessgerät	Высотные превышения	Измерительные колеса с различными датчиками	20...40	Оценка состояния сети автомобильных дорог	Швейцария
GM-профилومتر	Вертикальные превышения, ускорения	Колесо с датчиком перегибов, акселерометр	0...100	Исследования, калибровка	США
Профилومتر K.J. Law	То же	Оптический датчик, акселерометр	0...100	Оценка состояния сети автомобильных дорог, исследования, калибровка	США
Профилومتر CHLOE	Угловые перегибы	Двухосная тележка, датчик угловых перемещений	Низкая	Исследования	Германия, США, Швейцария, Швеция

пролета рейки. Ответная реакция на измерения скользящей рейкой характеризуется коэффициентом передачи, под которым понимают функцию длины волны соотношения между продольным профилем, зарегистрированным измерительным устройством, и «истинным» продольным профилем одного и того же участка автомобильной дороги. Длинные волны (низкие волновые числа) не вызывают никакой ответной реакции, когда коэффициент передачи приближается к единице и длина волны эквивалентна базовой длине скользящей рейки либо меньше. Ровность, измеренная данным устройством, выражается в см/км, см/100 м или в фут/миля.

Один из недостатков скользящей рейки — ее износ при выполнении измерений — привел к появлению катящейся рейки. Ответная реакция данного устройства на неровности дорог характеризуется фиксированием каждого толчка три раза: первый — когда неровность проходит переднее колесо, второй — измерительное колесо и третий — заднее колесо. Поскольку катящаяся рейка имеет три точки контакта с поверхностью дороги, толчки некоторых длин волны фиксируются с двойной амплитудой, в то время как другие длины волн не фиксируются вовсе. Таким образом, катящаяся рейка чувствительна только к определенным длинам волн неровностей на дорожном покрытии. График функции ответной реакции покрытия при измерении их катящейся рейкой представлен на рис. 2.16.

Недостатки, присущие катящейся рейке, впоследствии были устранены в ее усовершенствованном варианте с увеличенным числом колес, позволяющим получить опорную плоскость, от которой будут производиться измерения отклонения дорожного покрытия. Данная установка получила название «профилограф» (рис. 2.17). Установка соединена с множеством колес на некотором среднем уровне со всеми их осями. Неровности дорожного покрытия измеряются как уклон между точками касания колес данного покрытия. Чувствительность установки с большим количеством колес стремится к теоретическому пределу.

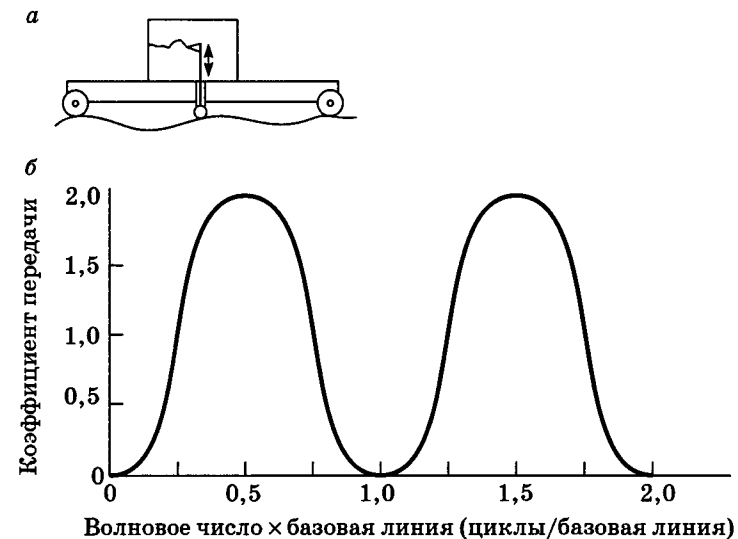


Рис. 2.16. Катящаяся рейка (а) и график функции ответной реакции неровностей дорожного покрытия при измерении их катящейся рейкой (б)

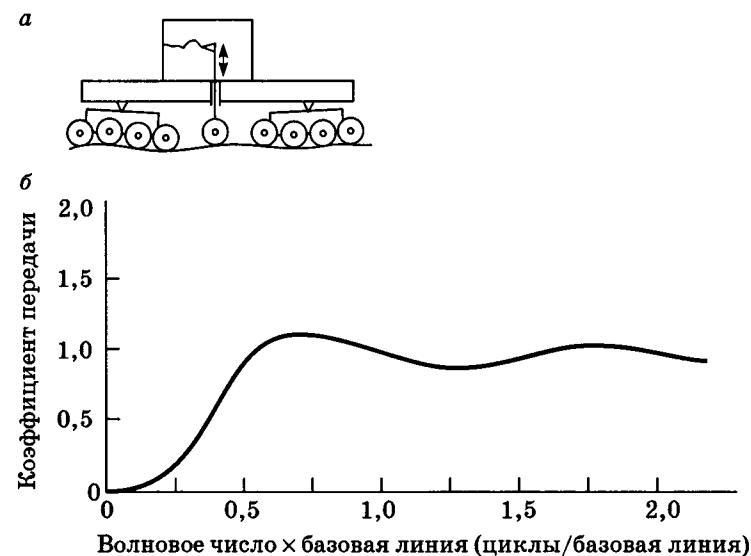


Рис. 2.17. Профилограф (а) и график функции ответной реакции неровностей дорожного покрытия при измерении их профилографом (б)

Методика определения ровности измерительной рейкой. Приборы и инструменты. Трехметровая или четырехметровая рейка с измерительным клином (рис. 2.18, табл. 2.3), рулетка.

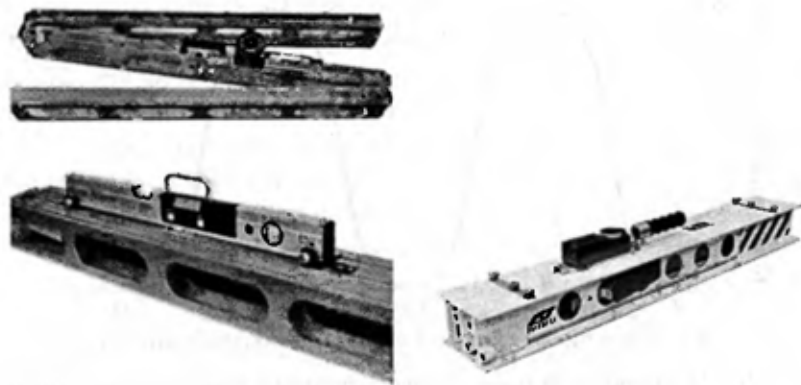


Рис. 2.18. Варианты трехметровых реек

Таблица 2.3

Основные характеристики трехметровой рейки

Характеристика	Значение
Длина, мм	3000 ± 2
Шаг меток, мм	500 ± 2
Отклонение от прямолинейности, мм	< 10
Погрешность измерения прогиба, мм	$\pm 0,4$

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, имеющую на боковой поверхности шкалу для измерения ли-

нейных 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 с дисковым балансиrom. Ровность поверхности и толщину конструктивных слоев дорожной одежды измеряют с помощью измерительного клинового шаблона. Ручка используется для переноски прибора в транспортном и рабочем положениях.

Порядок проведения испытаний. Рейку укладывают вдоль оси и следов наката обследуемой полосы движения в трех створах на каждом пикете. Просвет между рейкой и покрытием измеряют клином в точках, обозначенных на рейке метками (через 0,5 м от концов рейки и одна от другой). Общее число просветов принимают за 100 % и определяют число просветов под рейкой, превышающее максимально допустимую величину, и число просветов меньше минимально допустимой величины.

В некоторых зарубежных странах распространены 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. 2.19).

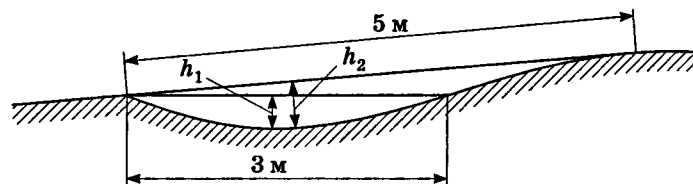


Рис. 2.19. Просвет под рейкой при разной ее длине (h_1 — просвет при длине рейки 3 м, h_2 — 5 м)

Результаты измерений заносят в журнал (рис. 2.20).

Обработка результатов. 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 покิโลметровая обработка может вестись отдельно для каждой полосы. После обработки материалов составляется итоговая таблица (табл. 2.4).

Автомобильная дорога _____ Тип покрытия _____									
Дата измерения _____ Ф.И.О. измеряющего _____									
Место измерения				Количество просветов под рейкой, величина которых, мм					Примечание
км	№ створа	полоса движ.	линия по полосе	менее 3	3-5	5-7	7-10	более 10	
20	1	Л-1	НП	1	3	1	—	—	
		Л-1	ОН	2	3	—	—	—	
		Л-1	НЛ	1	2	3	—	—	

Примечание. Полосы движения нумеруются от кромки проезжей части к оси дороги, по ходу измерения (километража) полосы обозначаются буквой П, в противоположном направлении — буквой Л, в пределах полосы: НП — накат правый; НЛ — накат левый; ОН — ось наката.

Рис. 2.20. Журнал для записи результатов измерения просветов под рейкой

Таблица 2.4

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. Фактическая ровность оценивается на основе нормативных требований. 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, превышающее эти значения, не должно быть более указанного в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Предельное число просветов (%), превышающих допустимую величину

Тип дорожной одежды	Интенсивность движения, авт./сут.					
	< 500	500...1000	1000...3000	3000...5000	5000...7000	> 7000
Капитальная	—	12	12...7	7...6	6	5
Облегченная	—	10	10...6	—	—	—
Переходная	5	—	—	—	—	—

Устройство дипстик (Dipstick™), разработанное Face Company (рис. 2.21), позволяет измерять профиль для анализа ровности покрытий с более высокой скоростью, чем рейки. Дипстик оборудован электропитанием от батарей, компьютером для автоматической записи данных и выполнения необ-

ходимых расчетов для воспроизводства профиля дороги. Дипстик является статическим профилометром.

Устройство передвигается по линии продольного профиля. Оно оборудовано высокоточным датчиком для измерения разности высот между двумя опорами устройства, расстояние между которыми, как правило, 30,48 см (12 дюймов). При измерении дипстик поворачивается на 180° вокруг опоры по направлению движения. Датчик включен непрерывно, и когда показания стабилизированы, они автоматически записываются в компьютер с подачей звукового сигнала для дальнейшего продвижения по измеряемому профилю.

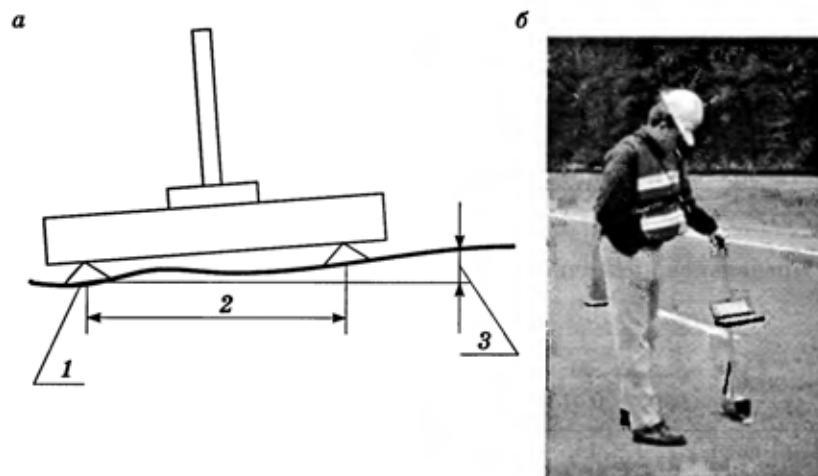


Рис. 2.21. Статический профилометр Dipstick™:

а — схема работы (1 — начальные высотная и продольная точки измерения; 2 — продольный интервал измерений (обычно 30,48 см); 3 — относительное превышение); б — внешний вид

Метод нивелирования. Нивелирование выполняется с шагом 5, 10 и 20 м с расчетом среднего высотного отклонения. Заключение о ровности участка дороги дается по проценту вероятности значений просветов или высотных отклонений.

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

Методика определения ровности посредством нивелира и нивелирной рейки. Приборы и инструменты. Нивелир и рейка, технически исправные, поверенные и отвечающие требованиям стандартов. Опорный торец нивелирной рейки снабжен насадкой с полусферическим подпятником.

Порядок проведения испытаний. Длина участка измерений — не менее 400 м. Места установки нивелирной рейки расположены на одной линии, находящейся на расстоянии 0,5...1,0 м от кромки основания (покрытия) дороги или на оси основания (покрытия) аэродрома, и обозначены метками, шаг которых $5 \pm 0,2$ м. Измерения проводят, последовательно устанавливая нивелирную рейку на каждую из меток.

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

По относительным отметкам точек поверхности в местах разметки определяют 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. 2.22), по формуле

$$\delta h_i = \left(\frac{h_{i-1} + h_{i+1}}{2} - h_i \right). \quad (2.8)$$

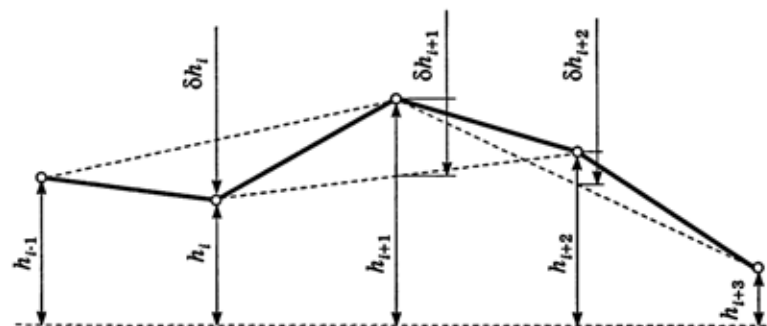


Рис. 2.22. Схема определения высотного отклонения при определении ровности измерения с помощью нивелира и нивелирной рейки

Общее число полученных величин δh принимают за 100 % и с точностью до 0,1 % вычисляют число величин δh_i , меньше установленных нормативными требованиями. Определяют также наибольшую величину δh_i .

При обработке данных измерений, проведенных на участках кривых в продольном профиле дороги, величину δh_i рассчитывают с учетом поправки (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Поправки к результатам измерений просветов под рейкой на участках вертикальных кривых, мм

Радиус кривой, м	Расстояние от торца рейки, м			
	0,0	0,5	1,0	1,5
Выпуклой:				
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	—
Вогнутой:				
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

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

Метод высокоточного нивелирования. Для оценки ровности состояния покрытия проезжей части дорог по Между-

народному индексу ровности (IRI) применяют различные устройства по классам точности согласно Техническому документу № 46 Мирового банка.

К 1-му классу точности относятся высокоточное нивелирование и измерения лазерным профилографом, ко 2-му классу точности — 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. 2.7.

Таблица 2.7

Требования по точности профилометрических измерений IRI

Диапазон ровности по 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.). По 3-му классу точности продольный профиль покрытия не измеряют 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. 2.23).



Рис. 2.23. Маркировка (а) и нивелирование (б) участка исследования; опорная часть нивелирной рейки (в)

При измерениях металлическую ленту укладывают на размеченную полосу наката и маркируют места для последующей установки рейки с требуемым шагом.

Результаты измерений вводят в компьютер для дальнейшей обработки.

Методы измерения неровностей рейками, нивелированием, дипстиком ввиду их высокой трудоемкости применяются на коротких (несколько километров) участках дорог. Они используются, как правило, при выборочном контроле ровности, а также при определенных видах исследований.

Метод измерения неровностей покрытия с помощью профилометров. Профилометр — 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, продольного расстояния.

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 вместе с акселерометра-

ми и гироскопами, а также датчиками, как правило, угловых перемещений и др.

В 1960-е гг. был изобретен высокоскоростной профилометр для мониторинга состояния ровности сети дорог. Исследовательские лаборатории компании General Motors разработали инерционный профилометр (рис. 2.24). Измерения инерционным профилометром объединяли в себе измерения нивелированием и дипстиком. «Инерционная» связь измеряемых превышений фактического профиля относительно условного уровня обеспечивалась при помощи акселерометра.

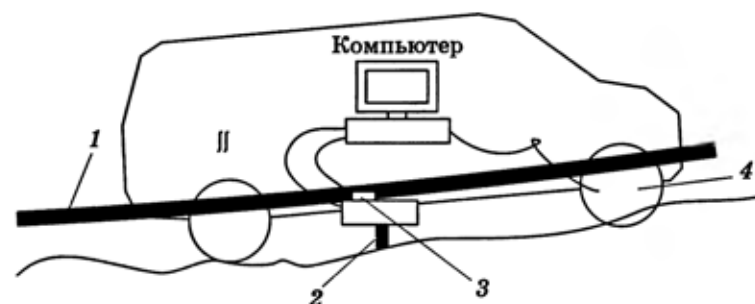


Рис. 2.24. Инерционный профилометр:

1 — уровень инерционного продольного профиля ($\int \int A$); 2 — относительное превышение уровня (лазерный, оптический или ультразвуковой датчик); 3 — акселерометр (A); 4 — датчик скорости/пути транспортного средства

Обработка данных производится согласно алгоритмам преобразования ускорения по отношению к инерционному уровню, который определяется как мгновенное превышение акселерометра в базовом транспортном средстве. Превышение относительно уровня поверхности покрытия — это расстояние между акселерометром, находящимся в транспортном средстве, и поверхностью покрытия непосредственно под акселерометром. Данное превышение измеряется бесконтактным датчиком, таким как лазер, ультразвуковой или оптический датчик (на первых моделях специально оборудованное колесо, повторяющее профиль покрытия). Пройденное расстояние измеряется датчиком пути, установленным в транспортное средство.

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

Первым датчиком было специально оборудованное колесо, повторяющее профиль покрытия, — профилометр GM (General Motors) (США). Установка с механическим измерением превышений имела недостатки по скорости измерения, возможности проскальзывания во время измерения, инертности, низкой точности, ограниченной конструкцией фиксирующего датчика, и др.

В моделях, которые появились позже, используются бесконтактные системы, повторяющие профиль покрытия: в профилометре K.J. Law (США) — оптическая система датчиков; в профилометрах ICC (International Cybernetics Corporation) (США) — ультразвуковые и позднее лазерные системы; в профилометре Prorut (США) и ARAN (Канада, США) — лазерные системы.

К недостаткам оптических и ультразвуковых датчиков, как показывают исследования, можно отнести невысокую точность, большой разброс данных, низкую скорость измерения по сравнению с лазерными датчиками, которые, однако, отличаются значительно более высокой стоимостью. В настоящее время высокоскоростные профилометры с бесконтактными системами находят все большее распространение. Между тем наблюдается тенденция применения лазерных датчиков для измерения продольной ровности, хотя для других видов измерений (поперечные измерения, колеиность) все еще используются ультразвуковые и другие датчики (см. табл. 2.2).

Лазерный профилометр «Профилограф» представляет собой передвижную лабораторию для измерения профиля дорожного покрытия (рис. 2.25, табл. 2.8). Разработан датской компанией «Greenwood Engeneering» для непрерывного обследования до 400 км одной полосы профильных характери-

стик автомобильных дорог (продольной, поперечной ровности и геометрических параметров) и макротекстуры автомобильных дорог.



Рис. 2.25. Профилограф

Таблица 2.8

Основные характеристики профилографа

Характеристика	Значение
Ширина измерительной балки, м:	
в транспортном положении	1,70
при измерении	2,55
Ширина измерений, м	3,30
Скорость движения при профильных измерениях, км/ч	5...120 (40...120 при измерении IRI)
Скорость движения при измерении макротекстуры, км/ч	40...70 (в зависимости от шага измерений)

Окончание табл. 2.8

Характеристика	Значение
Точность измерения ровности и продольного профиля	Соответствует требованиям для устройств класса 1
Точность измерения поперечного профиля, мм/м	1 (исключая наклонные лазеры)
Точность измерения длины волны, %	$\pm 0,5$

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, устанавливаемым вдоль левой или правой полосы наката. Расстояние между балкой и поверхностью дороги (рис. 2.26) измеряется лазерами, положение балки в пространстве определяется при помощи двух оптических гироскопов,

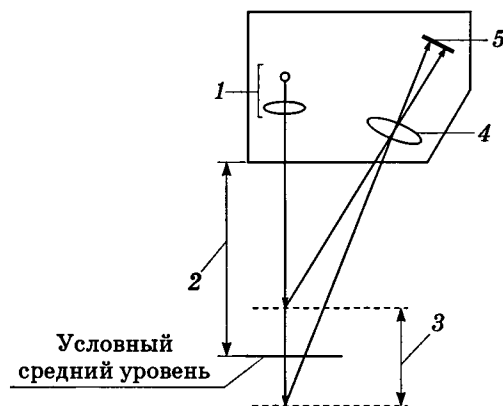


Рис. 2.26. Схема работы лазерного датчика профилографа: 1 — полупроводниковый лазер и оптические устройства; 2 — расстояние до поверхности измеряемого покрытия; 3 — диапазон измерений; 4 — приемные оптические устройства; 5 — позиционно-чувствительный фотодетектор

динамика изменения местоположения балки (ускорения) — трех акселерометров. Установка оснащена индустриальным компьютером для записи, обработки и хранения результатов измерений. Макротекстура определяется отдельно от профильных измерений.

Основным измерительным органом в установке «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, т.е. ее отклонение от условного среднего уровня, преобразуя полученное значение в электрический сигнал, на основании которого электронные устройства могут вычислить фактическое расстояние до объекта измерения (см. рис. 2.26).

Конструкция лазерного датчика позволяет 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 установки. Все сигналы передаются в цифровой форме.

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

- вертикальные кривые ($1/R$ км) и средний нескорректированный уклон (‰);
- горизонтальные кривые ($1/R$ км);
- глубины левой и правой колеи;
- поперечный профиль по пятнадцати лазерам в условных отметках;
- колейность: максимальная глубина колеи и процент участков более 5, 10 и 20 мм, средняя глубина колеи слева и справа, процент участков средней глубины слева и справа более 5, 10, 15 и 20 мм;
- продольную ровность (Международный индекс ровности — IRI) по любому лазеру или комбинации лазеров;
- длину волны продольного профиля в пределах 1,3...200 м;

- ровность по 5-метровой рейке (Viagraph);
- макротекстуры по песчаному пятну и среднюю глубину профиля макротекстуры.

Лазерный профилометр LaserProf — оборудование для измерения профиля дорожного покрытия, разработанное датской компанией Greenwood Engineering. Работает по принципу установки «Профилограф», но оснащено одним лазерным датчиком. Оборудование съемное и быстро монтируемое, конструкция позволяет устанавливать его на любой автомобиль, оборудованный фаркопом (рис. 2.27).

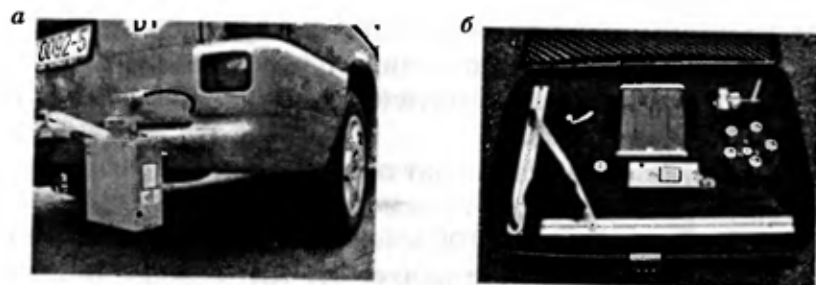


Рис. 2.27. Оборудование LaserProf, установленное на автомобиле (а) и упакованное для хранения (б)

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

Лазерный профилометр ЛГС (лазерно-гироскопическая система) разработан во ФГУП «СоюздорНИИ» (Россия). Позволяет производить продольные и поперечные (до 2,4 м) измерения ровности (рис. 2.28).

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

Профилометр Хачатурова, выполненный в виде конструкции буксируемого одноколесного прицепа, был разработан в 1961 г. в МАДИ под руководством проф. А.А. Хачатурова. Корпус прибора выполнен в виде рамы с закрепленными на нем «медленным маятником» и измерительным колесом

(рис. 2.29). Во время измерения неровностей на дорожном покрытии определяется относительное перемещение маятника с записью на магнитную ленту.



Рис. 2.28. Оборудование ЛГС, установленное на автомобиле



Рис. 2.29. Профилометр Хачатурова в сцепке для измерений ровности по полосам наката

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

Анализатор продольного профиля APL — высокоскоростной профилометр, разработан французской компанией Vectra для непрерывного обследования до 400 км одной дорожной полосы в смену (рис. 2.30, табл. 2.9).



Рис. 2.30. Анализатор продольного профиля APL

Таблица 2.9

Основные характеристики анализатора продольного профиля APL

Характеристика	Значение
Диапазон волн регистрируемых неровностей, м	0,2...100
Амплитуда неровностей, см	±10
Стандартная скорость движения при измерении, км/ч	72 или 21,6 (± 10 %)

APL состоит из специального буксируемого прицепа с одним колесом велосипедного типа, шасси с балластом и специального низкочастотного инерционного маятника, который служит псевдогоризонтальным ориентиром. Балансирующее шасси поддерживает колеблющуюся балку с закрепленным контактным датчиком на колесе, которое сохраняет постоянный контакт с дорожной одеждой при помощи балласта системой демпфирования и пружинной подвески. 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. 2.31).

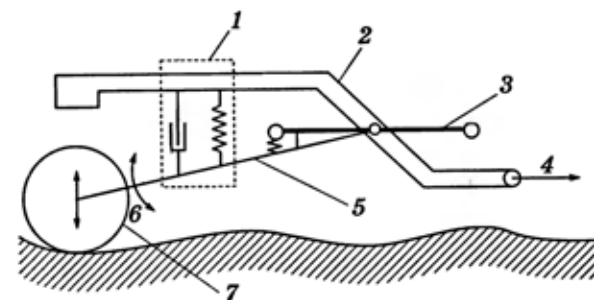


Рис. 2.31. Принципиальная схема анализатора продольного профиля APL:

1 — балласт и пружинная подвеска; 2 — рама; 3 — инерционный маятник; 4 — сцепное устройство; 5 — колеблющаяся балка; 6 — измерение; 7 — колесо

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

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

Конструкция прицепа нечувствительна к перемещениям буксирующего транспортного средства, регистрируя только профиль пройденного участка в диапазоне частот от 0,5 до

20 Гц. При буксировке с любой постоянной скоростью от 50 до 100 км/ч (стандартная 72 км/ч) он определяет ровность по всему диапазону волн, требуемых для IRI. Фактический диапазон волн, чувствуемых APL, зависит от скорости буксировки: при 72 км/ч он чувствует волны от 1 до 40 м, при 21,6 км/ч — от 0,3 м.

Измерения производятся при различных скоростных режимах:

□ APL 25 — измерения при скорости 21,6 км/ч, применяется для оценки новых дорог, единица измерения — коэффициент CAPL 25 (метод используется во Франции).

Количественные показатели сводятся к коэффициенту, который определяется по формуле и регистрируется через каждые 25 м дороги:

$$CAPL = \left(K \cdot \sum_{i=1}^{100} a_i \right) / 100, \quad (2.9)$$

где K — коэффициент усиления, равный 4; a_i — среднее значение считанных амплитуд на участке длиной 25 м;

□ APL 72 — измерения при скорости 72 км/ч, применяется для обследования дорог, в результате определяются:

- Международный индекс ровности (IRI);
- графическое представление дорожного профиля для лучшего показа типичных неровностей;
- длина волны APL 72, которая является среднеквадратическим значением отфильтрованного профиля в каждой полосе частот, для волн от 1 до 40 м (с разделением на три диапазона волн: короткие 1...3,3 м, средние 3,3...13 м, длинные 13...40 м), и амплитуда для указанной длины волны (метод используется во Франции);
- индекс APL 72, являющийся величиной между 1 (наилучшее значение) и 10 (наихудшее значение), указывающей на относительное качество дороги.

К достоинствам анализатора продольного профиля APL можно отнести высокую скорость измерения, устойчивую работу при обследовании дорог, к недостаткам — измерения

только по одной линии, необходимость выдерживать постоянную скорость при выполнении измерений, общие недостатки, свойственные механическим системам (износ трущихся деталей, повышенные требования к содержанию и др.).

Установка CHLOE, разработанная Американской ассоциацией государственных автомобильных дорог и должностных лиц на транспорте (American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO), во время дорожных испытаний представляет собой прицеп, буксируемый на низкой скорости, с автономно установленными на нем двумя маленькими колесами, расстояние между центрами которых 9 дюймов (рис. 2.32). Установка оснащается аппаратурой, позволяющей выполнять измерения уклонов на дорогах местного значения с возможностью фиксации результатов измерений. Фиксируется изменение уклона, которое представляется в виде статистических данных «дюйм/миля». К недостаткам системы можно отнести низкую скорость при выполнении, а также общие недостатки, свойственные механическим системам.

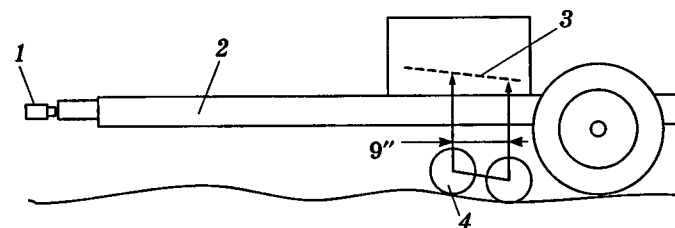


Рис. 2.32. Принципиальная схема измерительной установки CHLOE: 1 — прицепное устройство; 2 — прицеп; 3 — уклон покрытия; 4 — измерительные колеса

Использование данных многолетних наблюдений по ровности для сети дорог позволяет прогнозировать изменение транспортно-эксплуатационного состояния. Следовательно, измерения ровности должны производиться на значительной части дорожной сети ежегодно. Современные системы сбора данных и компьютерное обеспечение позволяют обрабатывать и хранить большое количество измеренных данных. Немало-

важным является и то, что измерения ровности можно выполнять со скоростью транспортного потока, не нарушая его установившегося режима, которое ранее могло быть вызвано движением измерительной установки с малой или постоянной скоростью измерения.

2.3. Расчетные показатели ровности

Измерительные установки с толкомерами можно представить как некоторый линейный «фильтр», который представляет измеряемую «синусоиду неровности» в виде сигнала на выходе прибора с тем же волновым числом (пространственной частотой). *Волновое число* — отношение количества циклов волны неровности к единице длины, выражается в цикл/м. Данный сигнал после обработки бортовой аппаратурой представляется в виде некоторого индекса. Почти все эти измерительные установки функционируют как механические фильтры, отделяя длинные волны неровностей и концентрируясь на неровностях с длиной волны, влияющей на качество езды транспортного средства. Передвижение приборов на малой скорости отфильтровывает профиль дороги как его геометрию.

Наличие амортизаторов и пневматических шин в транспортных средствах изолирует водителей и перевозимые грузы от ускорений с высокими амплитудами, вызванными неровностями на покрытии дорог. Динамические свойства автомобиля позволяют «отфильтровывать» воздействие на него неровностей, усиливая ответную реакцию транспортного средства на одних частотах и снижая — на других (рис. 2.33). Моторизованное транспортное средство динамически может быть представлено моделью четверти автомобиля. Подвеска поддерживает корпус автомобиля и тем самым изолирует человеческое тело от воздействия на него различных факторов, связанных с движением по дороге.

При низких частотах корпус движется вверх и вниз, повторяя профиль дороги. При частоте в 1 Гц корпус резонирует на подвесках, усиливая колебательные процессы с ко-

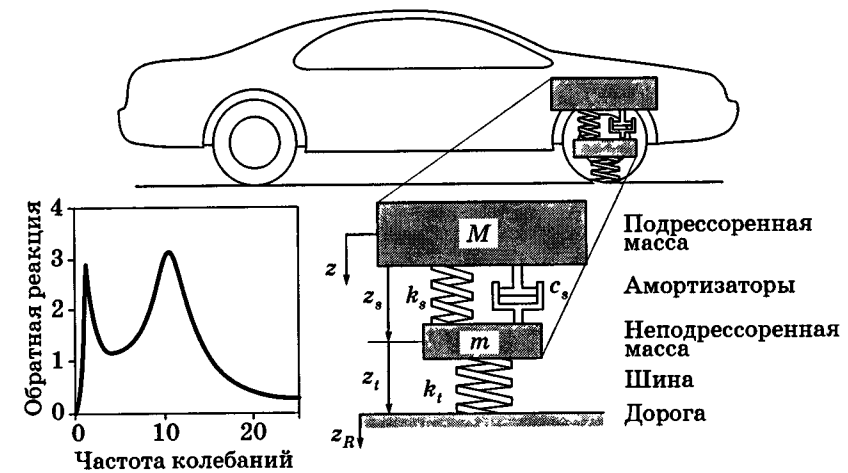


Рис. 2.33. Динамические характеристики автотранспортного средства

эффициентом от 1,5 до 3 для типичных автомобилей. Высокочастотные колебания, вызванные дорожными условиями, поглощаются подвеской, изолируя тем самым корпус машины от дороги. При частоте 10...15 Гц колеса резонируют, подпрыгивая вверх и вниз с амплитудой большей, чем это вызвано неровностями дороги. Последнее явление можно считать неизбежным, и оно уменьшает в целом плавность движения автомобиля.

В отличие от измерительных устройств по типу рейки ответная реакция измерительного устройства, установленного на транспортное средство, движущееся по автомобильной дороге, обусловлена не его геометрическими параметрами, а динамическими параметрами во времени. Частота ответной реакции автомобиля практически не зависит от скорости при выражении частоты через цикл/с. Однако если рассматривать функцию пространственной частоты (волнового числа), то ответная реакция будет зависеть от скорости:

$$f = v\lambda = v/\lambda, \quad (2.10)$$

где f — частота, цикл/с; v — скорость, м/с; λ — волновое число, цикл/м; λ — длина волны, м/цикл.

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 широко распространились в мире начиная еще с 40-х гг. прошлого века, возникли сложности в получении сопоставимых данных для различных измерительных приборов и различных транспортных средств, на которые они устанавливались. Трудности возникали даже для одного и того же транспортного средства, в случае если измерения выполнялись в различные периоды времени, как это отмечалось ранее. Ситуация усугубилась наличием ряда факторов, вызывающих колебания в показаниях приборов одного типа и даже одного и того же прибора. Так, в большинстве государств возникла потребность в проведении исследований измерения ровности автомобильных дорог и в конце 1970-х гг. измерительные системы начались изучаться в рамках Объединенной национальной программы исследования дорог (NCHRP). Данная потребность в сопоставлении и калибровке привела к проведению Международного эксперимента по ровности дорог (IRRE) в Бразилии в 1982 г.

Трудность заключалась в сопоставимости и репродуцировании результатов измерений, полученных при помощи различных приборов, и их калибровке по единой шкале измерений.

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 в мире, были приспособлены для проведения измерений в едином масштабе, который был ранее определен. Были опробованы различные методы и принято решение перейти 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 по-

лучить индекс, выраженный в единицах «м/км», как математическую функцию продольного профиля (рис. 2.34).

IRI — первый, наиболее широко используемый индекс профиля, по значениям которого анализируют различные дорожные профили. Ввиду того что IRI определяется как качество истинного профиля, то результаты измерений в IRI можно сравнивать с измерениями, выполненными на других профилях.

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

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

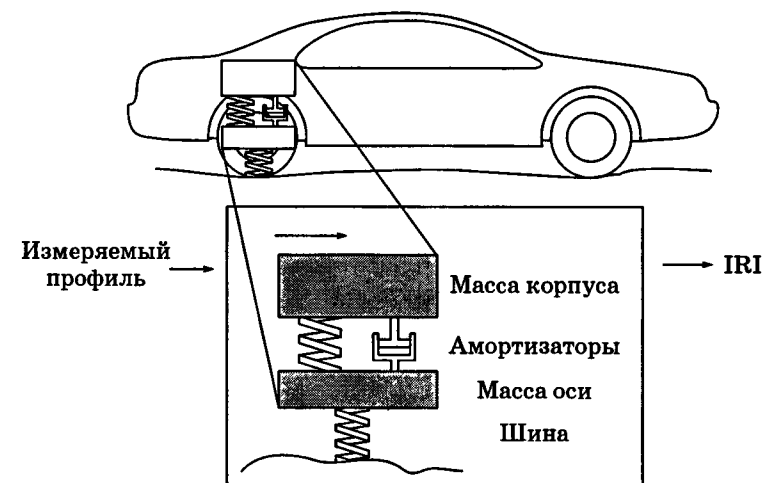


Рис. 2.34. Математическая модель Международного индекса ровности IRI

IRI основывается на моделировании обратной реакции транспортного средства, движущегося со скоростью 80 км/ч, на имеющиеся на проезжей части неровности. Данное моделирование является эталонным средним скорректированным уклоном, который выражается отношением суммарного движения подвески транспортного средства к расстоянию, преодолённому за время измерений. Результаты измерений выражаются в м/км.

В методику расчета IRI заложена модель четверти автомобиля, 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. 2.35) являются константы: $v = 80$ км/ч, $K_1 = 653$, $K_2 = 62,3$, $C = 6,0$ и $\mu = 0,15$, которые определяются следующим образом:

$$K_1 = k_t/m_s, \quad (2.11)$$

$$K_2 = k_s/m_s, \quad (2.12)$$

$$C = c_s/m_s, \quad (2.13)$$

$$\mu = m_u/m_s, \quad (2.14)$$

где k_t — коэффициент жесткости пневматической шины колеса; m_s — поддресоренная масса автомобиля; k_s — коэффициент жесткости рессоры подвески автомобиля; c_s — коэффициент сопротивления амортизатора подвески автомобиля; m_u — неподдресоренная масса автомобиля.

Для расчета IRI используют еще два параметра:

□ $L_0 = 11$ м начальная исходная длина (0,5 с при 80 км/ч);

□ $B = 0,25$ м 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

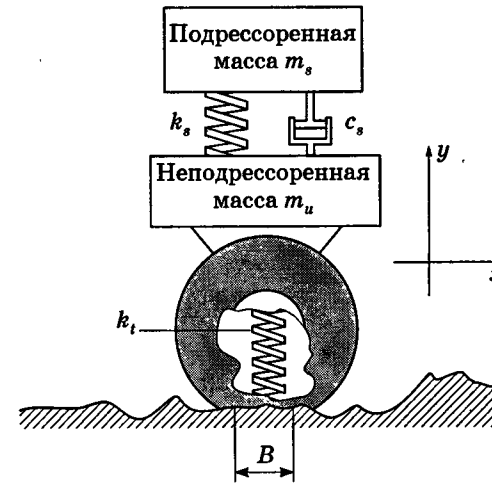


Рис. 2.35. Модель четверти автомобиля («золотой автомобиль»)

индекс IRI разрабатывался главным образом для моделирования ответной реакции большинства легковых автомобилей, последующие исследования показали, что он так же хорошо коррелирует с ответной реакцией легких и тяжелых грузовиков.

IRI особенно высоко коррелирует с тремя переменными типами ответной реакции транспортного средства, представляющими наибольший интерес:

□ системой с ответной реакцией для измерения неровностей дорог (как историческое продолжение);

□ вертикальным ускорением пассажиров, находящихся в транспортном средстве (как качество езды);

□ нагрузкой на пневмошину (для управляемости и безопасности транспортного средства).

В то же время индекс IRI не связан со всеми переменными ответной реакции транспортного средства. Так, он не имеет устойчивой корреляции с вертикальным расположением пассажира или ускорением оси транспортного средства.

То, что IRI хорошо коррелирует как с измерительными установками с обратной реакцией, так и с ускорением, действующим на пассажира, не случайно. Эти показатели были

непременным фактором для десятка рекомендуемых измерительных систем с ответной реакцией как удобный инструмент для измерения неровности.

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

Волновое число ответной реакции IRI четверти автомобиля показано на рис. 2.36. Амплитуда выхода волн является и амплитудой входа с коэффициентом передачи, показанным на рисунке. Коэффициент передачи — величина безразмерная. Таким образом, если входящая волна с амплитудой — уклон дорожного покрытия, то выходящая волна представляет собой результат входящей амплитуды и величина ее принимается из зависимости, приведенной на графике.

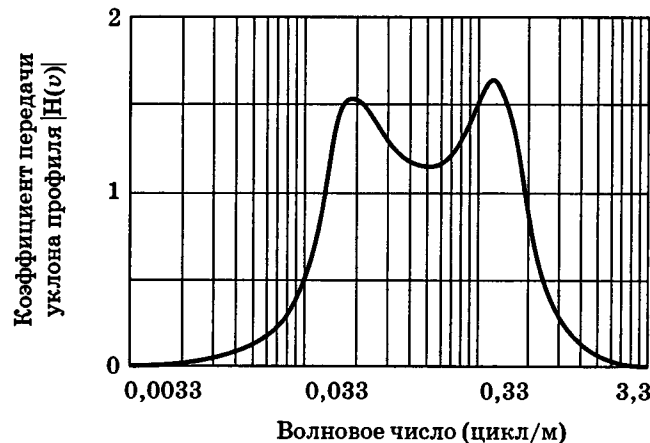


Рис. 2.36. График передаточной функции IRI модели четверти автомобиля

Индекс IRI имеет максимальную чувствительность к уклону «синусоиды» с волновыми числами, близкими к 0,066 цикл/м (длина волны 15 м) и 0,476 цикл/м (длина волны ~ 2,1 м). Коэффициент передачи равен 0,5 для волновых чисел 0,03 и 0,82 цикл/м, соответствующих длинам волн примерно 30,5 и 1,2 м. Однако некоторая чувствительность для более коротких и более длинных волн все еще сохраняется.

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 повысятся 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 говорить только о снижении скорости на данном покрытии.

Индекс IRI стал первым репродуцируемым индексом ровности, устойчивым во времени.

Индекс IRI является индикатором общего состояния дорожного покрытия. Он суммирует дорожные неровности, влияющие на воздействие транспортных средств, т.е. на их

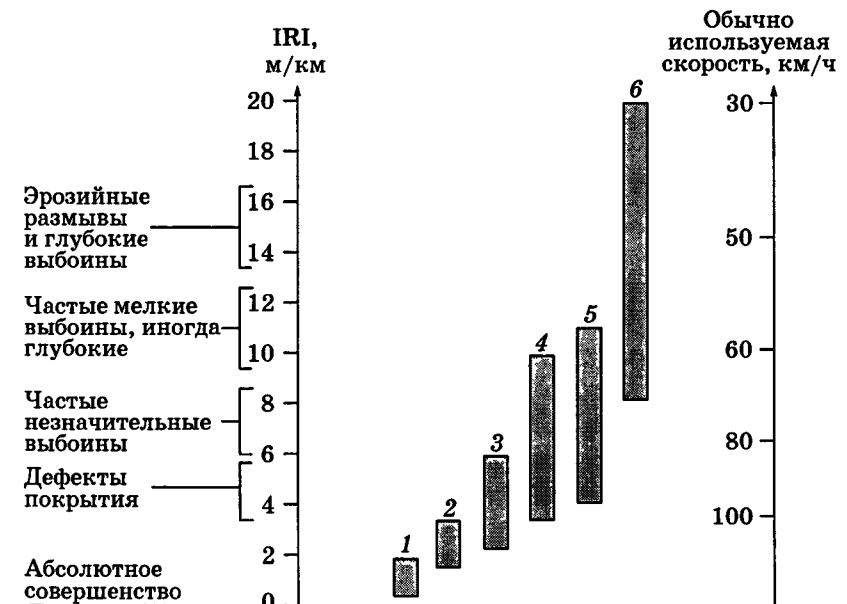


Рис. 2.37. График значений IRI для различных видов дорог: 1 — взлетно-посадочные полосы аэропортов, автомагистраль; 2 — новые покрытия; 3 — эксплуатируемые покрытия; 4 — эксплуатируемые дороги без покрытия; 5 — поврежденные покрытия; 6 — неровные дороги без покрытия

транспортные издержки, удобство езды и общее состояние поверхности дорожного покрытия. На рис. 2.37 представлены значения IRI для различных видов дорог.

Функциональные зависимости предельно допустимых значений ровности от интенсивности движения для дорог с асфальтобетонным и цементобетонным покрытиями Беларуси приведены на рис. 2.38. Для дорог, сдаваемых в эксплуатацию, требуемые значения ровности даны в табл. 2.10.

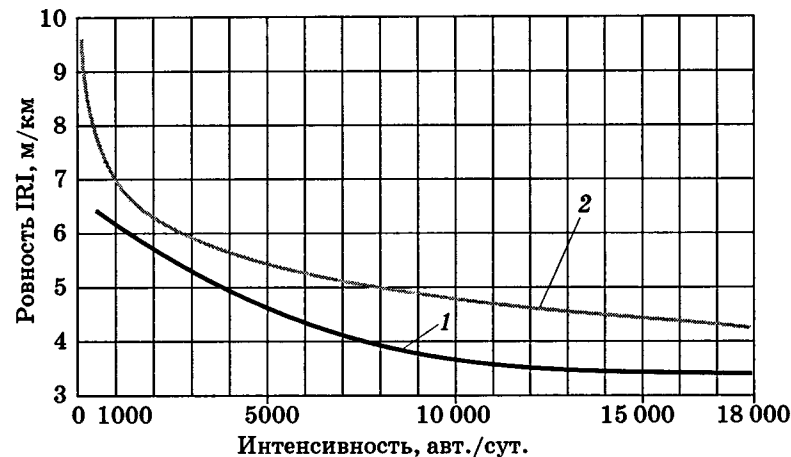


Рис. 2.38. График предельных значений ровности:
1 — магистральные дороги; 2 — прочие республиканские дороги

Таблица 2.10

Значение ровности по IRI, отнесенное к участку
протяженностью 100 м, мм/м

Категория автомобильной дороги	Новое строительство	Реконструкция и капитальный ремонт
I	1,5	2,0
II, III	2,0	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 не превысить к концу срока службы 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 магистральных дорог — 1,5 м/км, прочих — 2,5 м/км. Согласно рекомендациям Мирового банка этот показатель должен находиться на уровне 2,3 м/км.

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

Один из методов оценки эксплуатационных качеств покрытия, который раньше применялся во многих странах, заключается в том, что специалисты, выполняющие обследование, выступают как пассажиры, оценивающие эксплуатационные качества дороги по произвольной шкале, начиная с отличных характеристик и заканчивая очень плохими (по дороге невозможен проезд), в количественном выражении часто используется шкала от 5 до 0. Обычно это связано с *Индексом эксплуатационной надежности (PSI)*, который разработан в процессе испытания покрытия автомобильных дорог AASHO, или с индексом удобства езды. Шкала PSI ограничена в том смысле, что она изначально была разработана для дорог с достаточно высоким качеством в сравнении с рядом дорог с худшим качеством, характерных для менее развитых стран. В классическом варианте шкала PSI, используемая в США, охватывает только низкие значения ровности по шкале IRI. Данные, по которым определялись зависимости PSI и IRI,

были недостаточными и противоречивыми, частично ввиду использования различных методов, применяемых для оценки PSI. Некоторые зависимости имели линейный характер, в то время как другие не являлись таковыми. Значение PSI, равное 5, определяется как совершенное покрытие, 0 — когда по покрытию проехать невозможно.

Для вычисления PSI Carey и Irick предложили следующие зависимости:

для нежестких дорожных одежд:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV) - 1,38 \cdot RD^2 - 0,01 \sqrt{C + P}, \quad (2.15)$$

для жестких дорожных одежд:

$$PSI = 5,41 - 1,78 \log(1 + SV) - 0,09 \sqrt{C + P}, \quad (2.16)$$

где SV — дисперсия среднего уклона; RD — средняя глубина колеи; C — индекс трещин; P — индекс ямочного ремонта.

Carey и Irick предложили использовать PSI как критерий эксплуатационного качества покрытий при оценке дорожной сети. Концепция данной теории применяется и сегодня, хотя она еще до сих пор не стандартизирована. Для расчетов версий PSI разработано большое количество методов и более сотни формул. Многие из них напрямую связаны с выходными сигналами от систем с обратной реакцией.

В ряде случаев расчет PSI ведут, используя профильные измерения и функцию регрессии, включающие индексы профиля, такие как IRI. Однако если индекс профиля преобразовать в PSI, то он все равно будет отражать чувствительность оригинального индекса, не представляя никакой дополнительной информации.

Испытания показали, что при выполнении измерений по одним и тем же дорогам значения PSI, полученные по различным методам, отличались ввиду того, что включали в себя разные единицы измерения.

Кроме отмеченных, для определения эксплуатационных качеств были предложены и другие зависимости, авторами которых являются Ц. Кейроз, профессор В. Хадсон и др.

Практические аспекты применения показателя ровности

Каждое измерительное оборудование отличается собственной, только для него характерной особенностью фиксации линейных перемещений, ускорений и пр. Так, длины волн ниже определенной границы (нередко соответствующей интервалу опроса бесконтактных датчиков или длине контактной поверхности измерительного колеса), как и расположенные выше определенной величины, не измеряются. Например, трехметровой рейкой невозможно измерить неровности с длиной волны, превышающей ее собственную. Некоторые методы измерения концентрируются на определенном диапазоне длин волн, преуменьшая при этом значение других. Таким образом, каждому оборудованию присваивается «функция передачи», которая отражает соотношение между зарегистрированной и «истинной» величиной неровности в виде функции длины волны.

2.4.1. Анализ профилометрических систем

Для идентификации работы различных профилометрических систем проводятся исследования на участках автомобильных дорог без дефектов, нарушающих сплошность покрытия.

Так как два профилометра могут выдавать одинаковый IRI, даже если профили совершенно различны, необходимо произвести анализ, позволяющий оценить, может ли профилометрическое устройство «правильно» зарегистрировать реальный профиль автомобильной дороги.

Для этих целей одним из наилучших диагностических методов является анализ спектральной плотности распределения дисперсии амплитуд и уклонов продольного профиля (рис. 2.39).

Данный анализ показывает характеристику ровности дороги, при этом можно установить соотношение между амплитудой и волновым числом для любого участка продольного профиля.

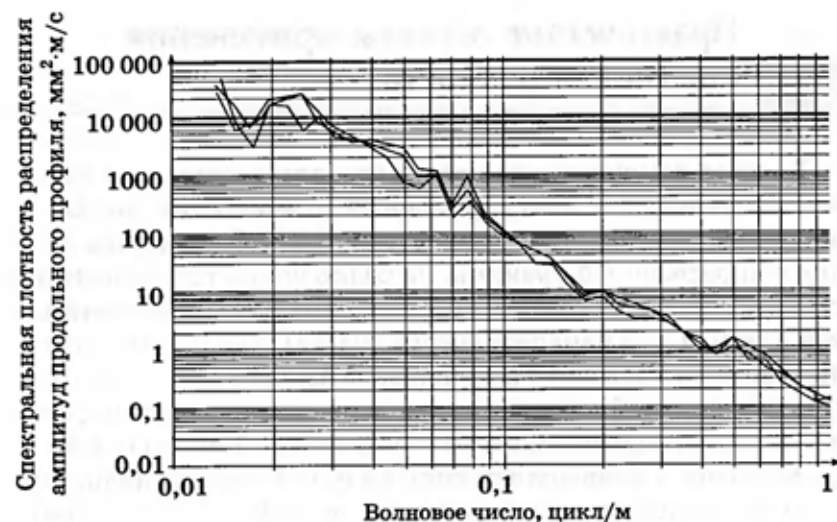


Рис. 2.39. График спектральной плотности распределения амплитуд продольного профиля

Для автомобильных дорог амплитуда спектральной плотности распределения дисперсии обратно пропорциональна квадрату волнового числа. Поскольку амплитуды спектральной плотности распределения возведены в квадрат, то для «схожих» графиков в определенном диапазоне длин волн разница в ровности будет отличаться в два раза, что весьма значительно. Поэтому при анализе также рассматривают спектральную плотность распределения дисперсии уклона продольного профиля, обратно пропорциональную волновому числу.

Функции спектральной плотности распределения дисперсии амплитуд и уклонов помогают показывать ошибки измерения при сравнении их графиков в разрезе применяемых измерительных устройств, а также выявлять возможные ошибки работы акселерометров, датчиков высоты (лазерный, механический и т.д.) или ошибки в программном обеспечении, применяющемся для обработки данных этих датчиков.

Таким образом, при сравнении различных профилометрических устройств функции спектральной плотности распределения позволяют выполнить более детальный анализ про-

должных профилей, чем индекс IRI, выявить ошибки в измерениях и оценить корректность работы профилометрических устройств для различных волновых чисел.

2.4.2. Анализ проектных решений

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.

Ранее установленные нормативные требования к линии продольного профиля позволяли выполнять проектирование с использованием прямых разного уклона и переломов, однако длина прямых не нормировалась.

По нормам СНиП (в основу которых легли исследования 1960-х гг.) переломы прямых в продольном профиле допускались при алгебраической разности уклонов для дорог I и II категории до 5 ‰, III категории — до 10 ‰, IV, V категории — 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 строительным 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 профилю существующего покрытия. В распоряжении проектировщиков в настоящее время имеются различные программно-компьютерные комплексы, оснащенные математическим аппаратом, который дает возможность проектировать линию профиля как прямыми линиями с переломами уклонов, так и кривыми переменного радиуса (сплайнами), позволяющими вписать плавную кривую, проходящую через любые заданные контрольные точки на продольном профиле.

Как видно из рис. 2.40, определяющую роль играют значения переломов уклонов продольного профиля. Максимальное воздействие оказывают переломы в начальный период заезда автомобиля на новый участок с другим уклоном. Чем больше перелом, тем длительнее процесс затухания. В случае попеременного изменения уклона на коротких участках ситуация с ровностью покрытия только усугубляется.

Вертикальные кривые являются «абсолютно гладкими» по ровности в теоретическом плане. Однако в настоящее время отметки продольного профиля на дорогу выносятся 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 с теми же проблемами, что и переломы уклонов продольного профиля.

Значения IRI возрастают с увеличением отрезков прямой между точками выноса отметок и уменьшением радиуса вертикальной кривой (рис. 2.41, 2.42). При этом для отрезков длиной 5 и 10 м значения IRI остаются постоянными, а для отрезков длиной 20 м носят периодический характер, что обусловлено затуханием колебаний «золотого автомобиля» на отрезке пути 20 м и скачком колебаний после проезда перелома уклонов продольного профиля.

Таким образом, проектирование продольного профиля неотъемлемо от технологии устройства дорожной одежды, которую проектировщик должен рекомендовать для последующей реализации в процессе строительства. Необходимо выполнять оценку проектного решения продольного профиля по индексу IRI, чтобы обеспечить плавность запроектированного продольного профиля. Это особенно важно, когда проектирование продольного профиля выполняется сплайнами (кривыми с переменным радиусом), способными изменять вогнутость и выпуклость кривых на относительно коротком участке.

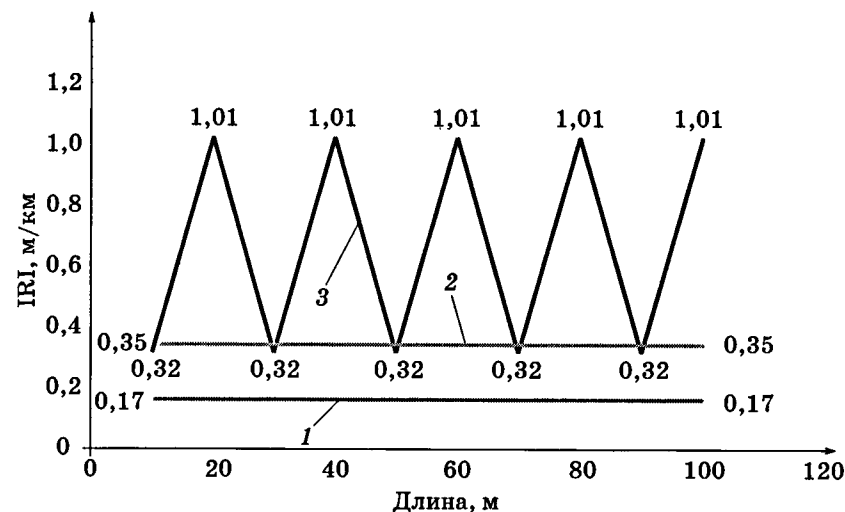


Рис. 2.41. График ровности для вертикальной кривой 8000 м при выносе отметок через 5 (1), 10 (2), 20 м (3)

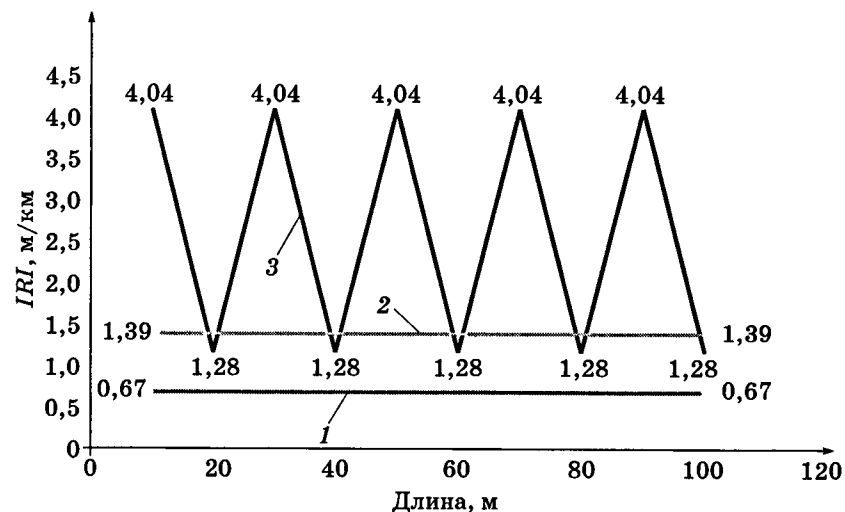


Рис. 2.42. График ровности для вертикальной кривой 2000 м при выносе отметок через 5 (1), 10 (2), 20 м (3)

2.4.3. Пути улучшения ровности дорожных покрытий на стадии укладки асфальтобетонных смесей

При строительстве автомобильной дороги асфальтобетонное покрытие укладывается по слоям. Слои основания, а также нижние слои покрытия устраивают при использовании автоматической следящей системы по вынесенным на натянутую струну отметкам. В этом процессе наиболее важно максимально точно выдержать все высотные отметки, заложенные в проекте. При устройстве верхнего слоя покрытия особенно важно обеспечить наилучшую ровность и гладкость покрытия. Для этого используется асфальтоукладчик со следящей системой в виде скользящей лыжи. Длина лыжи может изменяться в широких пределах — от 1 до 20 м. Оптимальная длина лыжи окончательно не определена. Обнаруживается, однако, тенденция к улучшению ровности верхнего слоя с увеличением длины лыжи.

Для «ровных» участков характерны две особенности. Во-первых, имеется предел в длине лыжи асфальтоукладчика, после которой дальнейшее увеличение длины практически не влияет на улучшение ровности. Во-вторых, при некоторых длинах лыжи наблюдаются заметные улучшения ровности, имеющие характер скачка. Таких скачков может быть два или три. В основном это 2, 6, а также 12 м.

На рис. 2.43 показан пример продольного профиля участка дороги (1) и тот же профиль после применения лыжи асфальтоукладчика длиной 10 м (2). Заметна разница в плавности линии продольного профиля.

Причины подобных явлений могут быть следующими. Реализация проектных решений на стадии строительства основания и нижних слоев покрытия позволяет устранить неровности больших длин волн (20...60 м), влияющих на ровность. В то же время по причине неравномерной подачи асфальтобетонных смесей укладчик может останавливаться после расходования смесей в бункере. Если перерывы в работе будут после каждой машины со смесями, остановки могут случаться часто, что приведет к возникновению неровностей с достаточно короткими длинами волн.

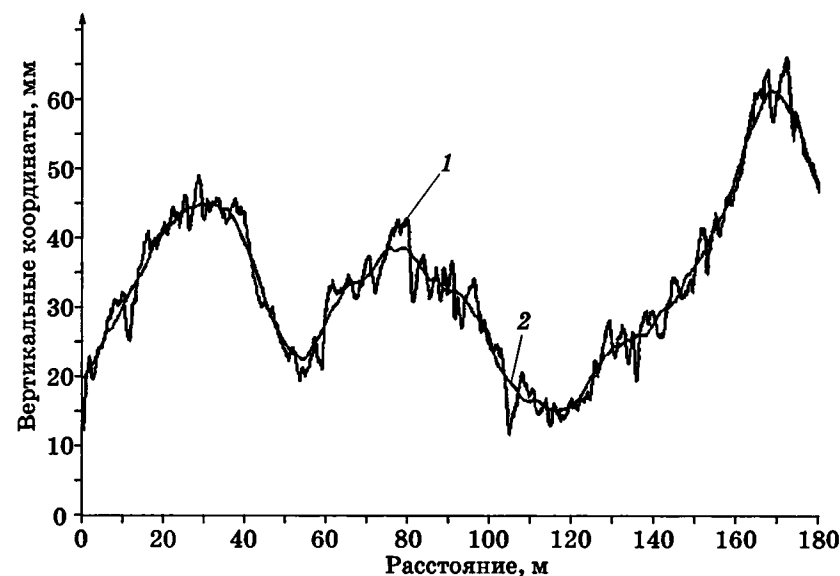


Рис. 2.43. Сглаживание продольного профиля при помощи лыжи асфальтоукладчика длиной 10 м

Другой причиной подобного явления может быть неоптимальный состав звена катков, например отсутствие легких катков и наличие только средних и тяжелых. В этом случае не достигается необходимое равномерное уплотнение слоя по всей длине. Тяжелые катки при резком торможении перед границей укладки вызовут переуплотнение слоя в данном месте и образование неровностей.

Если рассматривать «неровный» участок, ровность после применения лыжи изменяется совершенно иначе. Полностью отсутствуют скачки, характерные для «ровных» участков. Кроме того, каждое увеличение длины лыжи асфальтоукладчика ведет к почти равномерному улучшению ровности.

Анализ продольного профиля покрытия и определение на его основе Международного индекса ровности позволяет оценить допустимое состояние по ровности исходного покрытия при его ремонте по методу устройства слоя асфальтобетона при условии обеспечения наилучшей ровности нового покрытия.

Следует отметить, что решить данную задачу в общем виде для всех случаев невозможно ввиду случайного характера распределения неровностей покрытия. Однако можно сформулировать методику определения толщины слоя для отдельного случая и использовать ее в дальнейшем для конкретных участков, опираясь на результаты измерений.

Так, например, расчеты позволяют определить максимально допустимое понижение профиля (глубину выбоины), при котором можно обеспечить необходимую ровность покрытия при укладке одного слоя (рис. 2.44).

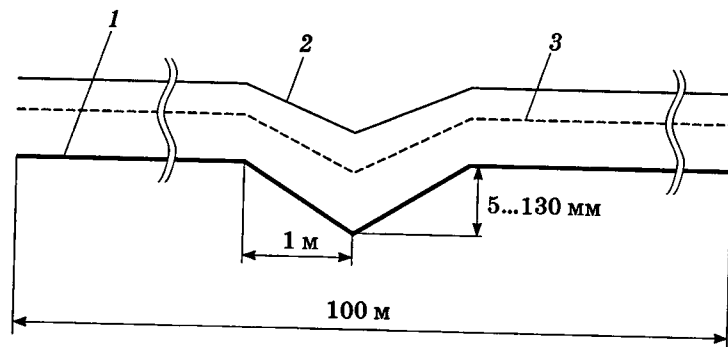


Рис. 2.44. Расчетная схема:

1 — исходное покрытие; 2 — слой покрытия; 3 — слой покрытия после уплотнения

Необходимо проведение мероприятий по предварительному исправлению профиля существующего дорожного покрытия, например путем фрезерования неровностей, или устройству выравнивающего слоя.

3

ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

3.1. Общие положения

Прочность дорожной одежды — сопротивление дорожной одежды напряжениям и деформированию под действием нагрузок от транспортных средств и изменяющихся погодноклиматических условий.

Критериями прочности *нежесткой дорожной одежды* является предел прочности на растяжение при изгибе материала монолитных слоев или предельное сдвигающее (касательное) напряжение в грунте земляного полотна и в слоях дорожной одежды из слабосвязанных зернистых материалов (щебень, гравий, песок), а также предельная относительная вертикальная деформация, при которой начинается и развивается нарушение монолитности и ровности покрытия. Критерием прочности *жесткой дорожной одежды* служит предел прочности бетона на растяжение при изгибе.

Для нежестких и жестких дорожных одежд на участках дорог с неблагоприятными грунтово-гидрологическими и погодноклиматическими условиями критерием прочности является предельное значение вертикальной деформации пучения, при превышении которого появляются трещины и ухудшается ровность покрытия (нарушается морозоустойчивость конструкции).

3.1.1. Расчет прочности дорожной одежды

Прочность дорожной одежды нежесткого типа для перегонов дорог рассчитывают на кратковременное многократное действие подвижных нагрузок, равное 0,1 с, одежды на стоянках автомобилей и обочинах дорог — на продолжительное нагружение (более 10 мин). Расчет дорожной одежды выполняют с учетом *надежности*, под которой подразумевается ве-

роятность безотказной работы конструкции в течение всего периода между капитальными ремонтами. Количественным показателем надежности служит уровень надежности, представляющий собой отношение протяженности прочных, не требующих капитального ремонта конструкций к общей протяженности участка дороги. При расчете дорожных одежд допустимый уровень надежности K_n и соответствующий ему коэффициент прочности $K_{пр}$ принимаются по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Значения допустимого уровня надежности дорожных одежд K_n и соответствующего ему коэффициента прочности $K_{пр}$

Тип дорожной одежды	Категория дороги	Уровень надежности K_n	Коэффициент прочности $K_{пр}$
Капитальный	I, II	0,95	0,95
	III, IV	0,90	0,85
Облегченный	III, IV	0,85	0,80
Переходный, низший	IV, V	0,60	0,60

Прочность дорожной одежды рассчитывают в такой последовательности.

1. Выполняют расчет дорожной одежды по допускаемому упругому прогибу. Конструкция дорожной одежды удовлетворяет требованиям надежности и прочности по критерию упругого прогиба, если

$$K_{пр} < E_{общ}/E_{тр}, \quad (3.1)$$

где $K_{пр}$ — коэффициент прочности дорожной одежды, определяемый по таблице в зависимости от допустимого уровня надежности; $E_{общ}$ — общий модуль упругости конструкции, МПа; $E_{тр}$ — требуемый модуль упругости конструкции с учетом капитальности одежды, типа покрытия, вида грунта земляного полотна и интенсивности воздействия нагрузки, МПа.

2. Проводят расчет монолитных слоев на растяжение при изгибе. В монолитных слоях дорожной одежды (из асфальто-

бетона, дегтебетона, материалов и грунтов, укрепленных комплексными и неорганическими вяжущими, и др.) возникающие при ее прогибе напряжения под действием повторных кратковременных нагрузок не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин, т.е. должно быть обеспечено условие:

$$K_{пр} \leq R_n / \sigma_r, \quad (3.2)$$

где $K_{пр}$ — 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.

3. Выполняют расчет толщины дренарующего слоя и толщины стабильных слоев дорожной одежды из условия морозоустойчивости.

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

$$E_A = 125 + 67(\lg N_A - 1), \quad (3.3)$$

$$E_B = 62 + 72(\lg N_B - 1), \quad (3.4)$$

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

За расчетный автомобиль 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 их эквивалент (коэффициент приведения) расчетной нагрузки. Приведение осевых нагрузок к расчетной нагрузке выполняют по формуле

$$S_i = 10^{n_i} \cdot K, \quad (3.5)$$

где K — коэффициент, учитывающий давление в шинах (табл. 3.2);

$$n_i = \beta \left(1 - \sqrt{\frac{Q_p}{Q_i}} \right), \quad (3.6)$$

где β — показатель, учитывающий капитальность дорожной одежды (для капитального типа — 3,359, облегченного — 2,306, переходного — 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 3.2

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_i с учетом влияния сближенных осей вводятся коэффициенты в соответствии с табл. 3.3, после чего просчитывается каждая ось тележки.

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 (3.5).

Таблица 3.3

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

По этой же формуле выполняют приведение транспортных средств к любой другой расчетной нагрузке, отличной от нагрузки группы А. В этом случае в формуле (3.6) принимается та расчетная нагрузка (Q_p), к которой необходимо привести другие транспортные средства.

3.1.2. Определение допустимой нагрузки дорожных одежд

Допустимую нагрузку дорожных одежд 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 ($Q_{доп}$) на асфальтобетонных покрытиях составляет не более 60 кН исходя из условий недопущения образования колеи.

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

$$Q_{\text{доп}} = Q_{\text{расч}} \cdot K^{0,23}, \quad (3.7)$$

где $Q_{\text{расч}}$ — расчетная нагрузка, для которой был установлен модуль упругости конструкции дорожной одежды, кН; K — коэффициент допустимой нагрузки, эквивалентной расчетной, определяемый по формуле

$$K = \frac{\sum N_{\text{доп}}}{\sum N_T}, \quad (3.8)$$

где $N_{\text{доп}}$ — количество допустимых приложений расчетной нагрузки в сутки, определяемое по формуле

$$\sum N_{\text{доп}} = 10^{\frac{E_p}{98,65} + c}, \quad (3.9)$$

где E_p — расчетный модуль упругости на текущее время, МПа; c — эмпирический коэффициент, равный для расчетной нагрузки на ось 100 кН — 3,55; 110 кН — 3,25; 115 кН — 3,23; 130 кН — 3,05; $\sum N_T$ — суммарное количество приложений расчетной нагрузки на рассчитываемый период, устанавливаемое по формуле

$$\sum N_T = 365 \cdot N_1 \frac{q^T - 1}{q}, \quad (3.10)$$

где N_1 — суточная интенсивность движения расчетных грузов на текущее время; q — коэффициент изменения интенсивности движения; T — остаточный период срока службы дорожной одежды до очередного капитального ремонта, определяемый по формуле

$$T = T_{p.c} - T_{ф.с}, \quad (3.11)$$

где $T_{p.c}$ — расчетный срок службы, на который была рассчитана дорожная одежда; $T_{ф.с}$ — фактический срок службы дорожной одежды.

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

$$Q_{\text{доп}} = (0,72 \ln N_A + 9,4) e^{\left(\frac{-9N_A}{10^4} - 0,071\right) \text{IRI}} \cdot 9,81, \quad (3.12)$$

где N_A — фактическое количество приложений расчетной нагрузки 100 кН (группа А) в сутки на одну полосу; IRI — ровность покрытия на период оценки несущей способности, м/км.

По формуле (3.7) или (3.12) рассчитывается допускаемая нагрузка для характерного или километрового участка дороги. Допустимая нагрузка для дороги или рассматриваемой сети определяется по формуле

$$Q_{\text{доп}} = Q_{\text{ср}} - t \delta, \quad (3.13)$$

где $Q_{\text{ср}}$ — среднее значение допустимой нагрузки на рассматриваемом участке, кН; t — коэффициент нормированного отклонения, зависящий от заданного уровня надежности и принимаемый 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

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (Q_{\text{ср}} - Q_i)^2}{n-1}}, \quad (3.14)$$

где Q_i — допустимая нагрузка на характерном или километровом участке дороги, кН; n — количество участков.

3.1.3. Особенности проведения работ по определению прочности дорожной одежды

Упругие прогибы измеряют по внешней колее полосы наката, выбирая полосу движения 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, составляет не более 50 °С. Температуру фиксируют на глубине покрытия 3...4 см. Для этого в верхнем слое асфальтобетона делают отверстие диаметром 6...10 мм, 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. 3.4). При этом минимальная длина участка должна составлять 500 м.

Таблица 3.4

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

Окончание табл. 3.4

Очередь участка	Состояние покрытия проезжей части
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, колеи, глубина до 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

Измерение упругого прогиба нежестких дорожных одежд

3.2.

Различают два метода измерения упругих прогибов: статический и динамический.

3.2.1. 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 длиннбазовый типа ПД, с диапазоном измерения прогибов 20 мм, погрешностью измерения 0,02 мм;
- индикатор часового типа, с диапазоном измерения до 10 мм, ценой деления 0,01 мм;
- термометр ртутный стеклянный, с диапазоном измерения 55 °С, 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. 3.1.

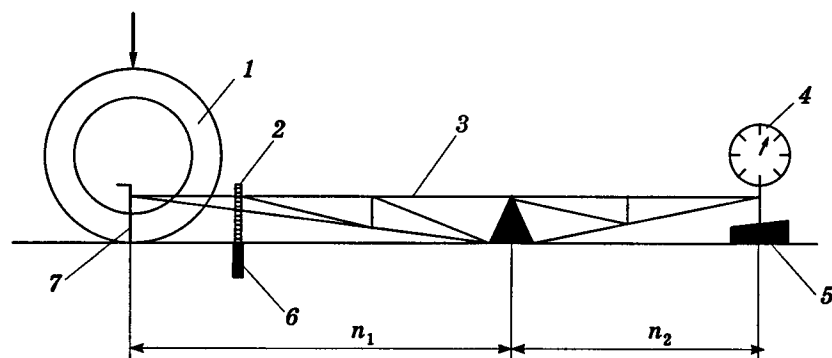


Рис. 3.1. Схема проведения испытаний по измерению упругого прогиба:

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

Измерения следует проводить на полосе наката (от 1 до 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. Определить с помощью рулетки 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. Сделать отверстие в покрытии глубиной 3...4 см на расстоянии не более 1 м от точки измерения, заполнить его смесью воды и глицерина 3 : 1, вставить термометр, снять показания температуры и занести в таблицу (табл. 3.5).

Таблица 3.5

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. Установить опорную подкладку 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 (табл. 3.5).

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 занести показания в таблицу (табл. 3.5).

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. Рассчитать на каждой точке упругий прогиб (L_i) с точностью до 0,01 мм по формуле

$$L_i = \frac{n_1}{n_2} (i_1 - i_0), \quad (3.15)$$

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

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{L} - L_i)^2}{n-1}}, \quad (3.16)$$

где $\bar{L}$ — среднеарифметическое 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. Рассчитать упругий прогиб (L), характеризующий участок дороги с заданной надежностью, с точностью до 0,01 мм по формуле

$$L = \bar{L} + t \sigma, \quad (3.17)$$

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.

3.2.2. 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, 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°C и точностью 1°C ;
- манометр шинный ручного пользования (для гибкого штампа) с диапазоном измерения 1 МПа, ценой деления 0,01 МПа;
- глицерин;
- воду.

Схема проведения испытаний приведена на рис. 3.2.

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 определяются 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.

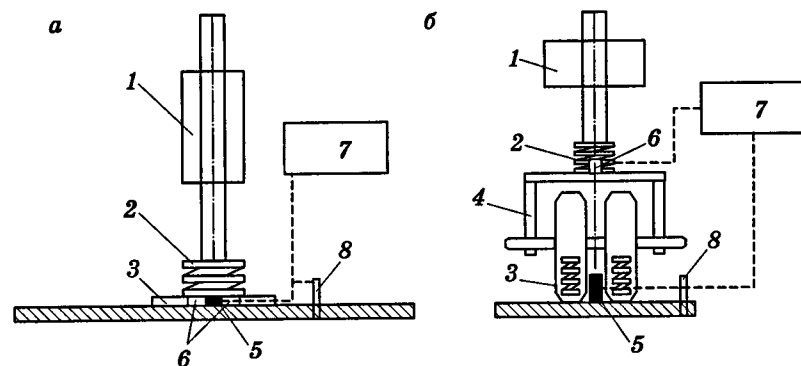


Рис. 3.2. Схема проведения испытания динамическим методом:

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

3. Выполнить три измерения упругого прогиба в одной точке.

4. Проконтролировать результаты записанных измерений.

Результаты измерений записываются и сохраняются автоматически с помощью программного обеспечения по форме, приведенной в табл. 3.6.

Таблица 3.6

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 (3.16) и (3.17). Величину прогиба на каждой точке определяют как среднее арифметическое значение из трех измерений.

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

- длиннбазовый 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).

Длиннбазовый прогибомер ПД-2.5. С помощью длиннбазового прогибомера измеряется прогиб под сдвоенным колесом стоящего автомобиля (табл. 3.7, рис. 3.3). В качестве нагрузки используют автомобили, относящиеся к группе А.

Таблица 3.7

Основные характеристики ПД-2.5

Характеристика	Значение
Пределы показаний прогибомера, мм	0...20
Пределы измерения, мм	0...20
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения, мм	±0,02

Окончание табл. 3.7

Характеристика	Значение
Соотношение длин грузового и измерительного плеча	2:1
Длина грузового плеча, мм	2500 ± 5
Применяемое средство измерения	Индикатор часового типа И4-10
Габаритные размеры прогибомера в рабочем состоянии, мм, не более	3810×205×165
Масса прогибомера в рабочем состоянии, кг, не более	17

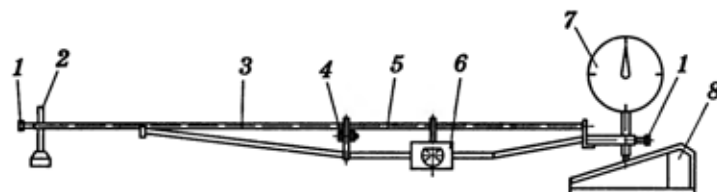


Рис. 3.3. Схема длинноразмерного прогибомера ПД-2.5:
1 — фиксирующий винт; 2 — опора грузового плеча; 3 — грузовое плечо;
4 — соединительный болт; 5 — измерительное плечо; 6 — опорный кронштейн с шарикоподшипниками; 7 — гнездо для крепления индикатора на измерительном плече; 8 — клиновидная опорная подкладка

Принцип работы. В процессе работы прогибомер устанавливают так, чтобы щуп 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. Выдерживают автомобиль на точке измерения до тех пор, пока отсчет по индикатору i_0 не будет изменяться за 10 с 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 равен:

$$l_y = 2(i - i_0), \quad (3.18)$$

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

$$\lambda_y = l_y / D, \quad (3.19)$$

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

Дефлектограф Lacroix. В настоящее время производится французской фирмой Vectra. 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. 3.4).

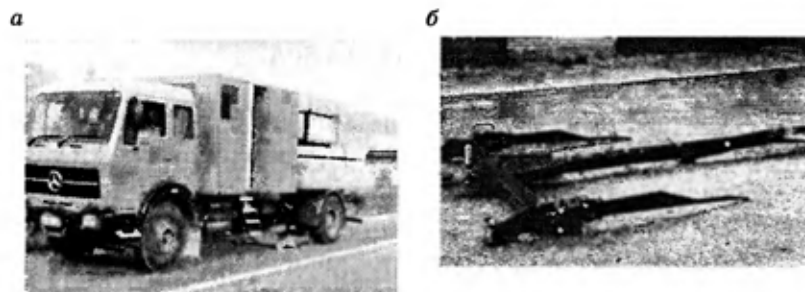


Рис. 3.4. Общий вид дефлектографа Lacroix (а) и сдвоенная балка Бенкельмана — рабочий орган дефлектографа (б)

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. 3.5). 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.

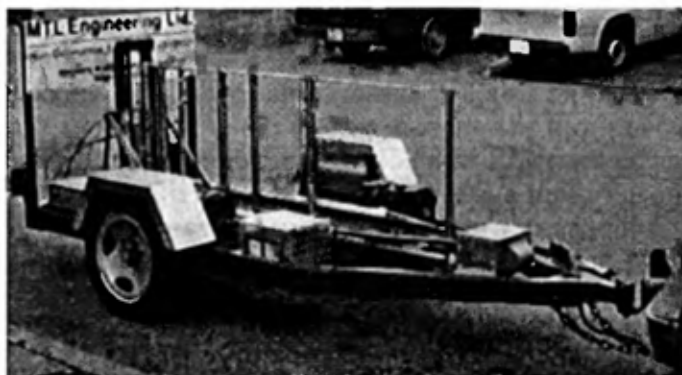


Рис. 3.5. Установка SPA

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. 3.6). Производится американской фирмой Geo-Log, Inc.



Рис. 3.6. Общий вид установки Dynaflect

Все оборудование монтируется на небольшом прицепе. Установкой с использованием специального генератора создается синусоидальная нагрузка с частотой 8 циклов в секунду (рис. 3.7).

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. 3.8).

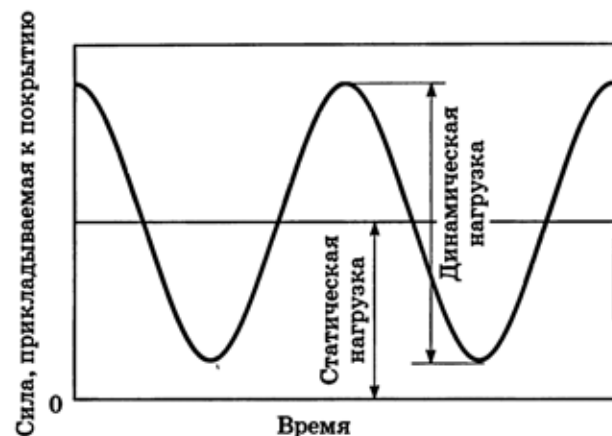


Рис. 3.7. Изменение во времени силы, прикладываемой к покрытию

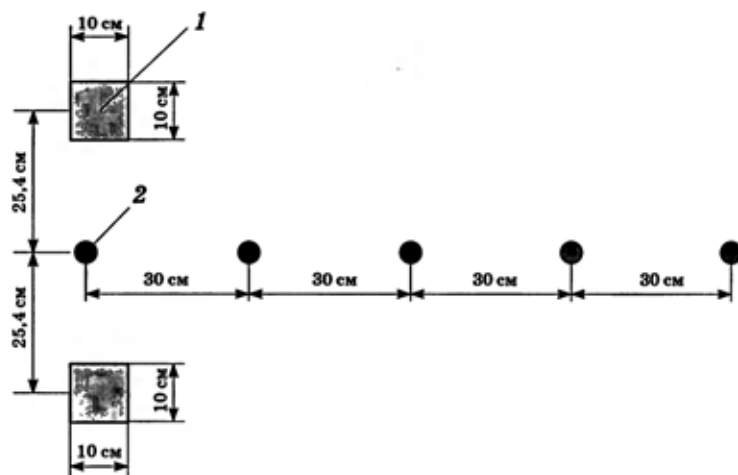


Рис. 3.8. Типовая схема расположения датчиков при проведении измерений:

1 — площадь приложения нагрузки; 2 — датчики, фиксирующие прогиб

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. 3.9).



Рис. 3.9. 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 и HWD, из них более 140 — в США и Канаде, более 120 — в Европе, 23 — в Японии (рис. 3.10). С 1998 г. одна установка работает в Беларуси.

Дефлектометр создает нагрузку путем сбрасывания груза с некоторой высоты на специальную нагрузочную плиту (рис. 3.11). 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 из-

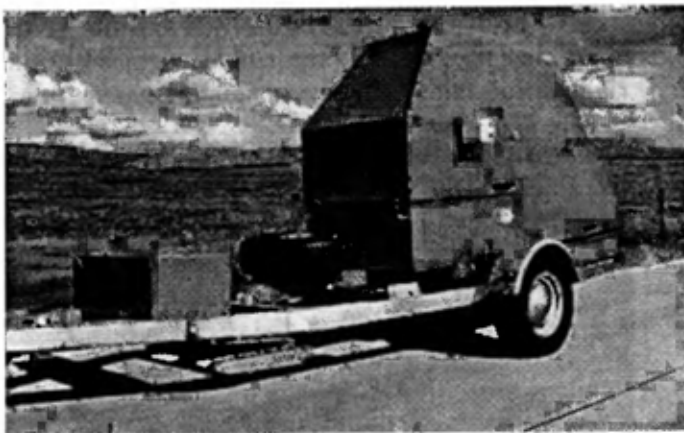


Рис. 3.10. Установка FWD фирмы KUAB (Швеция)

мерений регистрируются только максимальные значения прогибов. Однако можно зафиксировать также всю историю развития прогиба под действием нагрузки, что чаще всего используется в исследовательских целях.

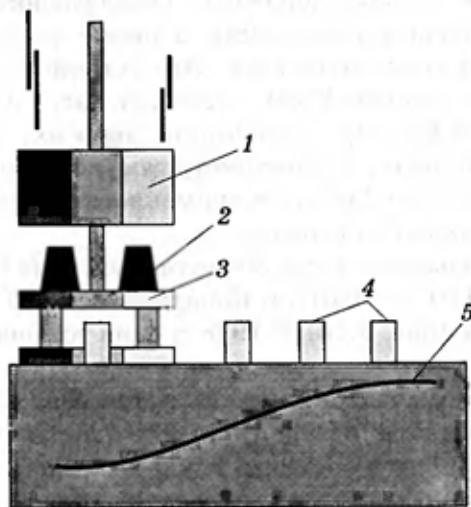


Рис. 3.11. Схема работы дефлектометра падающего груза:
1 — падающий груз; 2 — демпферы; 3 — нагрузочная плита; 4 — датчики;
5 — чаша прогиба

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. 3.12).



Рис. 3.12. 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. Для конструкций 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. 3.13).

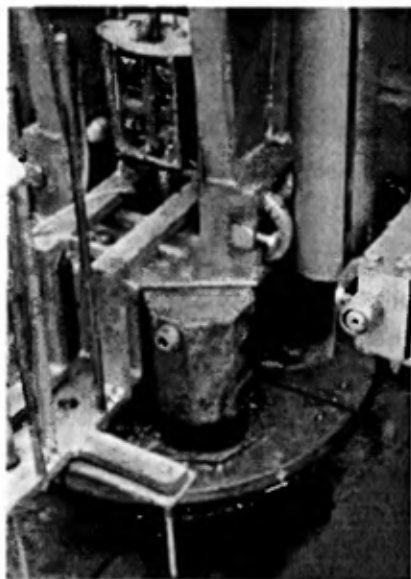


Рис. 3.13. Нагрузочная четырехсегментная плита

В нашей стране 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. 3.14, табл. 3.8).



Рис. 3.14. Дефлектометр падающего груза PRI-2100 FWD Phonix

Таблица 3.8
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 помощи 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, 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. 3.15, табл. 3.9).



Рис. 3.15. Установка УДН-НК

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

Таблица 3.9

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

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 среднеарифметическое двух измерений, рассчитанное с точностью до двух знаков после запятой:

$$l_{\text{ср}} = (l_1 + l_2)/2, \quad (3.20)$$

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 через круглый штамп, равновеликий отпечатку колеса расчетного автомобиля, на дорожную одежду. Для равномерной передачи нагрузки на покрытие применяют составные штампы из двух или четырех сегментов. Величину динамического усилия и удельного давления определяют по формулам (3.22), (3.23).

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

$$D = 1,13\sqrt{S}, \quad (3.21)$$

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 метрологической аттестации по формуле

$$Q_d = KMg\sqrt{\frac{2H}{a}}, \quad (3.22)$$

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, $9,81 \text{ м/с}^2$; 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, 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 может

быть определена также с помощью тензометрического датчика, устанавливаемого в штампе.

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

$$P = \frac{Q_d}{S} \cdot 10^{-6}, \quad (3.23)$$

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

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

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 на каждой точке выполняют первое измерение для стабилизации положения штампа.

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.

Рассчитывают среднеквадратичное отклонение прогибов на характерном участке по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{l} - l_i)^2}{n-1}}, \quad (3.24)$$

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

$$l_d = \bar{l} + t\sigma, \quad (3.25)$$

где t — коэффициент нормированного отклонения, зависящий от требуемого уровня надежности дорожной одежды (принимается по табл. 3.10); σ — среднеквадратичное отклонение, мм.

Таблица 3.10

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

Окончание табл. 3.10

Количество измерений на участке	Уровень надежности		
	0,85	0,90	0,95
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, невысокая производительность.

Установка ДИНА-3М. Саратовским филиалом ГипродорНИИ разработана и изготовлена автоматизированная установка динамического нагружения ДИНА-3М с жестким штампом (рис. 3.16, табл. 3.11).

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.



Рис. 3.16. Установка ДИНА-3М

Таблица 3.11
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 измерения прогиба, мкм	40
Производительность в смену, км	20

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

Установка TSD (Traffic Speed Deflectometer) предназначена для измерения прогибов под колесом автомобиля, движущегося в реальном транспортном потоке. 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.

Дефлектометр представляет собой специальный прицеп, буксируемый стандартным седельным тягачом (рис. 3.17). 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 поверх-



Рис. 3.17. Общий вид дефлектометра TSD

ности. 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 определять прочностные свойства нижележащих слоев дорожной одежды.

3.4. Износ дорожного покрытия

Прочность дорожной одежды и ее транспортно-эксплуатационное состояние тесно связаны с износом покрытия. Вот почему в процессе контроля технического состояния дорожных одежд часто прибегают к измерению фактической толщины дорожного покрытия, определению его износа.

Износ — процесс уменьшения толщины покрытия в результате потери материала под действием движения транспортных средств и природных факторов.

Износ цементобетонных, асфальтобетонных и других монолитных покрытий (в долях миллиметра) измеряют при помощи реперов и износомера (рис. 3.18).

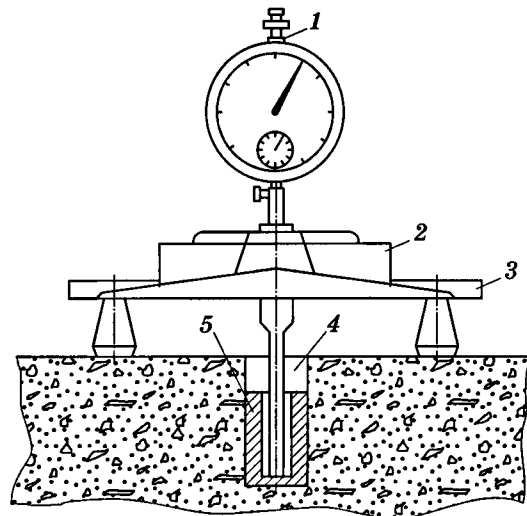


Рис. 3.18. Прибор для измерения износа покрытия конструкции:
1 — индикатор; 2 — компас; 3 — опорная площадка с тремя ножками;
4 — место для пробки; 5 — металлический стаканчик — репер

При этом способе измерения в покрытие предварительно закладывают реперы — стаканчики из латуни. Дно стаканчика служит поверхностью, от которой выполняют отсчеты при определенном для данного репера положении стрелки компаса. Во избежание засорения стаканчик закрывают резиновыми пробками. Износ покрытия определяют как разность значений замеров — предыдущего и проведенного в данный момент.

Износ устанавливают также с помощью пластин (марок) трапециевидной формы из известняка или мягкого металла, заделываемых в покрытие и истирающихся совместно с ним. Полуразность между длиной ребра пластины L_1 на по-

верхности покрытия, измеренной после истирания, и первоначальной длиной L и характеризует износ (рис. 3.19). Истирание покрытия за данный отрезок времени определяется по формуле

$$h_n = h - h_0, \quad (3.26)$$

где h — первоначальная толщина; h_0 — оставшаяся толщина покрытия.

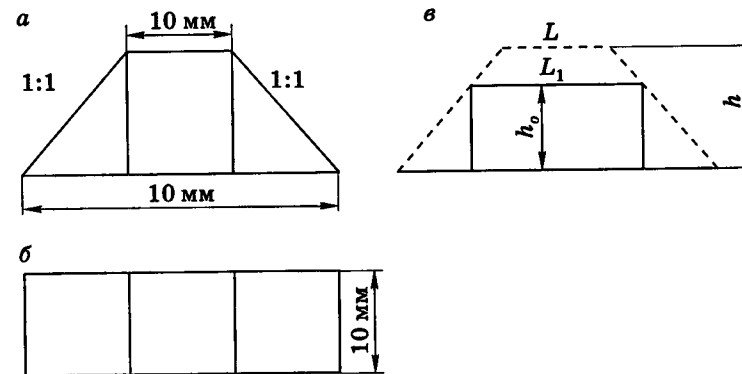


Рис. 3.19. Марка из известняка для измерения износа:
а — разрез; б — план; в — схема для расчета износа

Для измерения толщины слоев в слоистых полупространствах могут быть использованы электрические и лазерные приборы (рис. 3.20).

Электромагнитный прибор для измерения толщины покрытия — стратотест, основанный на принципе отражения электромагнитных волн, был разработан в Ленинградском филиале СоюздорНИИ (рис. 3.21).

Для работы с прибором необходимо заранее, при строительстве покрытия, укладывать в определенных местах между слоями дорожной одежды металлическую пленку (фольгу). Эта пленка служит отражателем. Над местом, где уложена фольга, устанавливают прибор и включают механизм (обмотку) возбуждения. Электромагнитное поле под влиянием отражателя в зависимости от расстояния между ним и зондом вызывает различную силу тока, фиксируемую индикатором. По шкале индикатора сразу определяют толщину покрытия $H_{\text{ост}}$.

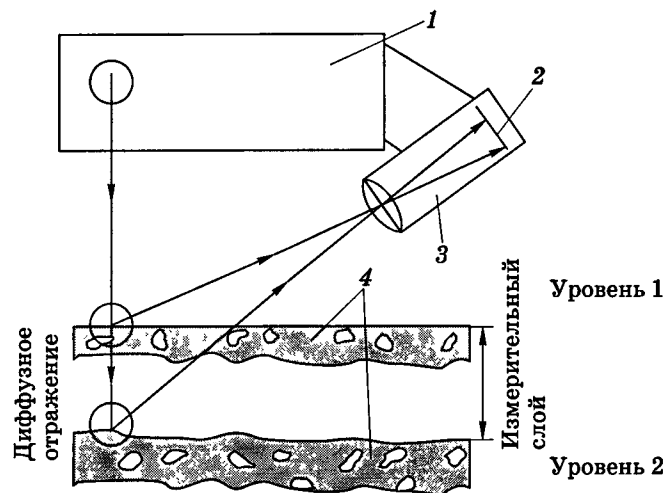


Рис. 3.20. Принцип работы лазерного анализатора дорожной конструкции:

1 — лазерный источник; 2 — фотодиоды; 3 — оптический преобразователь; 4 — поверхность

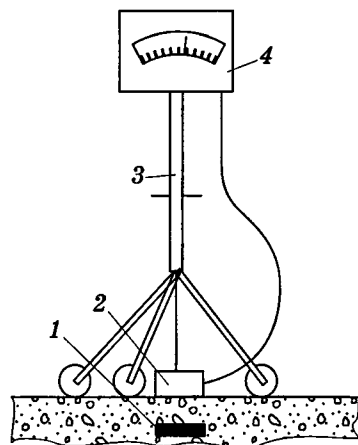


Рис. 3.21. Схема электромагнитного прибора для измерения толщины покрытия:

1 — рефлектор (фольга); 2 — зонд с обмоткой возбуждения; 3 — подставка; 4 — индикатор

4

ШЕРОХОВАТОСТЬ И СЦЕПНЫЕ КАЧЕСТВА ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Физическая сущность шероховатости

4.1. дорожных покрытий

Шероховатость поверхности покрытия является качественной характеристикой его состояния и представляет собой отклонение покрытия дорожной одежды от истинно плоской поверхности в пределах диапазона длин волн до 500 мм и амплитуды между пиками до 50 мм. Шероховатость подразделяется на микро-, макро- и мегатекстуру.

Микротекстура покрытия является профильной характеристикой шероховатости, при которой поверхность ощущается на ощупь более-менее шероховатой, но шероховатость обычно слишком мала для зрительного восприятия. Это относится к свойствам поверхности (остроконечность и шероховатость) одиночной щебенки или других частиц поверхности, непосредственно контактирующих с шинами. Микротекстура определяется как отклонение покрытия дорожной одежды от истинно плоской поверхности в пределах диапазона длин волн менее 0,5 мм и амплитуды 0,001...0,5 мм.

Микротекстура необходима для получения более высокого общего уровня трения. Она может влиять на трение по всему диапазону от почти нуля до максимально возможного уровня трения и обладает значимостью при всех скоростях движения и скольжения.

Адгезия высокочувствительна к микротекстуре. И микротекстура действует на трение положительно, т.е. более высокая степень шероховатости означает более высокий уровень трения. На сухой дороге в общем и целом доминирует эффект адгезии — это означает, что основной определяющей поверхностью характеристикой является микротекстура.

На соотношение между коэффициентом сцепления и скольжением шины при сухой и мокрой погоде микротекстура оказывает существенное влияние по всей шкале скоростей скольжения.

Макротекстура покрытия является профильной характеристикой шероховатости покрытия с длиной волн того же порядка, что и размер контакта элементов протектора шины на месте соприкосновения шины с дорогой, и представляет собой неровности поверхности дорожного покрытия, сформированные частицами каменного материала. Покрытие проектируется с некоторой макротекстурой для обеспечения оттока воды на месте контакта шины с дорогой. Требуемую величину макротекстуры получают путем подбора соотношения заполнителя и вяжущего для верхнего слоя покрытия или определенной технологией обработки поверхности покрытия. Макротекстура определяется как отклонение покрытия дорожной одежды от истинно плоской поверхности в пределах диапазона длин волн 0,5...50 мм и амплитуды 0,1...20 мм.

Адгезионная составляющая трения имеет низкую чувствительность к макротекстуре, в то время как для объемно-гистерезисного трения она наиболее чувствительна. Макротекстура положительно влияет на трение, т.е. более высокая степень шероховатости означает более высокий уровень трения. Объемно-гистерезисное трение достигает существенного уровня, когда шина скользит по дорожному покрытию, при этом возникает значительное количество местных динамических смещений резины. В таком случае макротекстура приобретает особую значимость. На мокрой дороге макротекстура формирует каналы и свободные пространства для отвода воды, где вода может оставаться, не мешая адгезии. На низкой скорости движения достаточно времени для выталкивания воды из областей сцепления шины с дорогой, независимо от макротекстуры, и в таких случаях этот показатель не так важен. Однако на высокой скорости движения времени для выталкивания воды из областей сцепления шины с дорогой недостаточно, поэтому макротекстура должна быть «глубокой» для отвода избыточной воды, препятствующей сцепле-

нию шины с дорогой. Из этого следует, что чем выше скорость, тем больше должно быть значение макротекстуры. Если макротекстура не обеспечивает водоотвод, дорога может стать очень опасной для высокоскоростного движения в условиях мокрой погоды.

На соотношение между трением и скольжением шины при сухой и мокрой погоде макротекстура влияет только на высоких скоростях скольжения. При низких скоростях макротекстура влияет на сцепные качества в меньшей степени. При высокой скорости на мокрой дороге макротекстура оказывает влияние на трение по всему диапазону — от максимального до нуля. Чем больше шероховатость, тем больше трение. Это свойство является «положительным влиянием» макротекстуры.

Когда шины катятся по дорожному покрытию без торможения, объемный гистерезис резины вызывает потери энергии в шинах и макротекстура заставляет резину смещаться по отношению к идеально плоской поверхности. Это ощущается водителем как повышение сопротивления качению, т.е. увеличение шероховатости приводит к росту сопротивления качению.

Однако нельзя сказать, что высокий уровень макротекстуры всегда нежелателен. Когда в колеях стоит вода, сопротивление качению возрастает, поскольку энергия тратится на выталкивание этой воды. Высокий уровень макротекстуры способствует уменьшению количества воды в колее, тем самым снижая затраты энергии на удаление этой воды из областей взаимодействия шины с дорогой. В таких случаях высокий уровень макротекстуры уменьшает сопротивление качению. Однако в целом для обеспечения минимального сопротивления качению шероховатость должна быть на низком уровне.

Мегатекстура покрытия также является профильной характеристикой шероховатости покрытия с длиной волн того же порядка, что и размер контакта шины с дорогой. Часто существует в виде выбоин или «волнистости». Мегатекстура обладает сцепными свойствами, аналогичными таковым макротекстуры.

Когда шины катятся по дорожному покрытию без торможения, объемный гистерезис резины вызывает потери энергии в шинах и мегатекстура заставляет резину смещаться по отношению к идеально плоской поверхности. Это отмечается водителем как увеличение сопротивления качению, т.е. усиление шероховатости приводит к росту сопротивления качению. Более того, мегатекстура вызывает вибрацию в системе подвески автомобиля, результатом которой могут быть гистерезисные потери в системе. Это тоже вносит свой «вклад» в сопротивление.

На сопротивление качению, а следовательно, и на потребление топлива и выбросы выхлопных газов транспортным средством влияет шероховатость более длинных волн, чем те, которые оказывают влияние на трение. Когда шероховатость выходит на высокий уровень мегатекстуры, сопротивление качению также повышается и обладает приблизительно 10%-ным влиянием на потребление топлива.

Мегатекстура отрицательно влияет на шум (внешний и внутренний).

Шероховатость дорожного покрытия является как желательным, так и нежелательным фактором (рис. 4.1). В целом, можно сказать, что мегатекстура нежелательна с любой точки зрения, но макро- и микротекстура оказывают как положительное, так и отрицательное влияние. Поскольку характеристики безопасности, из которых трение является одной из самых важных, традиционно считались наиболее значимыми рабочими характеристиками дорожных покрытий, то необходимо стремиться к более высоким уровням микро- и макротекстуры. Однако на современном уровне знаний выяснилось, что стремиться следует к более высокому уровню макротекстуры для длин волн шероховатости ниже примерно 10 мм, но к более низкому уровню макротекстуры для более длинных волн. Таким образом, возникает проблема оптимизации. С одной стороны, учесть все влияния в сбалансированном итоге и, с другой стороны, попытаться увеличить или снизить соответствующие части спектра шероховатости.

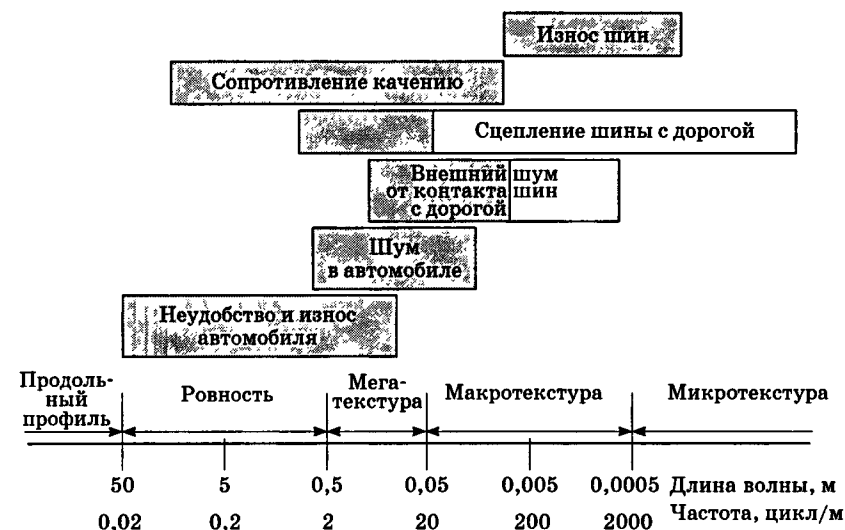


Рис. 4.1. Диапазоны длин волн дорожного покрытия в пересчете на длины волн шероховатости и их наиболее значимые прогнозируемые воздействия (белый — благоприятный эффект шероховатости в данном диапазоне, серый — неблагоприятный)

Расчетной характеристикой шероховатости ETD (мм) является вычисленная глубина текстуры:

$$ETD = 0,2 + 0,8MPD, \quad (4.1)$$

где MPD — средняя глубина профиля, мм.

Вычисленная глубина текстуры обеспечивает связь средней глубины профиля, полученного измерением глубины макротекстуры покрытия дорожной одежды при помощи метода профилирования, с традиционно определяемой глубиной шероховатости, измеренной методом песчаного пятна.

Количественной характеристикой двухмерного образца шероховатости является средняя глубина текстуры (рис. 4.2).

Линия отсчета (нижняя) является произвольной и используется в иллюстративных целях. Длина базисной линии — либо 100, либо 50 мм. Величина вычисленной глубины текстуры предназначена для непосредственной замены показателя

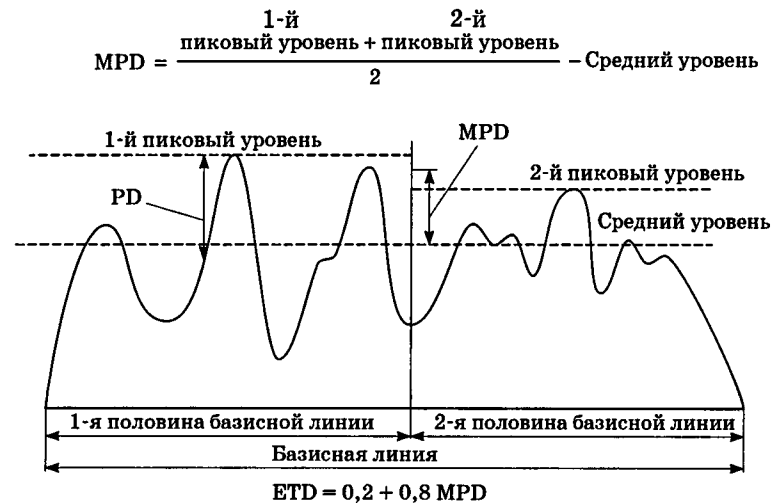


Рис. 4.2. Иллюстрация основных величин шероховатости: базисная линия, глубина профиля (PD), средняя глубина профиля (MPD) и расчетная глубина шероховатости (ETD)

теля шероховатости, измеренного методом песчаного пятна, тем самым она обеспечивает связь с традиционно измеряемой глубиной шероховатости.

Преимущества определения средней глубины профиля:

- может определяться непрерывно по покрытию мобильными методами на обычной скорости движения, в отличие от метода пятна, который является местным методом, требующим временного закрытия дорожного движения в местах выполнения измерений;

- исходя из нее можно вычислить используемую ранее величину объемного пятна «средняя глубина шероховатости», тем самым обеспечивая основу для сравнения старых данных с данными нынешних исследований;

- является общей количественной иллюстрацией шероховатости дорожного покрытия, однако не описывает качественный состав шероховатости;

- служит хорошим описанием зависящего от скорости коэффициента сцепления на увлажненной поверхности;

□ позволяет привести в соответствие значения коэффициента сцепления, измеренные сильно различающимся оборудованием.

Для иллюстрации зависимости между двумя расчетами рассмотрим идеализированный вариант поверхностей, представленный на рис. 4.3. Одна из поверхностей является зеркальным отображением другой. Средняя глубина шероховатости этих двух поверхностей должна быть идентична. Вместе с тем MPD положительной текстуры будет значительно больше, чем отрицательной. Для того чтобы данную концепцию можно было представить наглядно, рассмотрим эти две поверхности, заполненные стеклянными шариками, как происходит в случае применения метода объемного пятна.

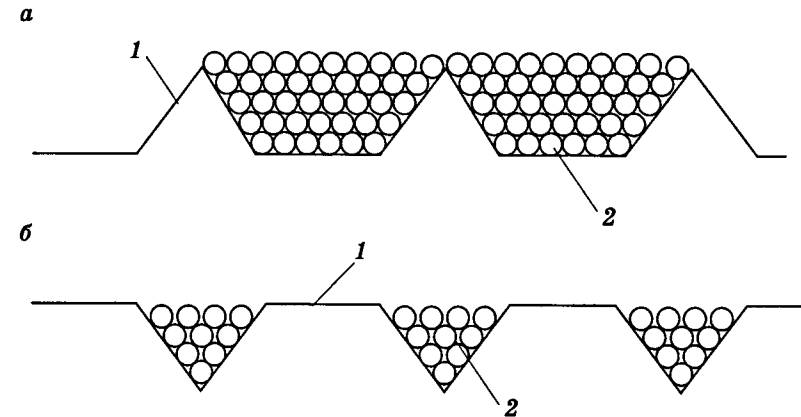


Рис. 4.3. Позитивная (а) и негативная (б) текстура: 1 — идеальная поверхность; 2 — стеклянные шарики

Примеры реальных покрытий, которые проявляют свойства положительной и отрицательной текстуры, представлены на рис. 4.4. Поверхностная обработка придает поверхности значительную позитивную текстуру, и наоборот, макротекстура цементобетонного покрытия, дополнительная шероховатость поверхности которого достигается за счет устройства мелких борозд, обеспечивается через негативную текстуру.

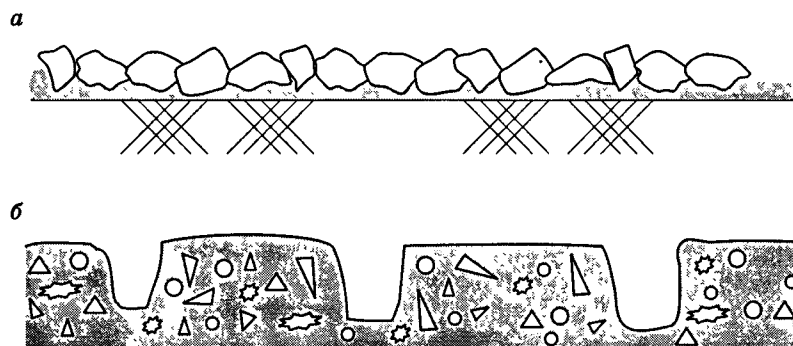


Рис. 4.4. Примеры позитивной и негативной текстуры: а — поверхностная обработка (позитивная текстура); б — цементобетонное покрытие (негативная текстура)

Таким образом, шероховатость является самой важной характеристикой дорожных покрытий и дорожных одежд в целом, оказывая влияние на такие процессы взаимодействия шин и дороги, как трение, износ шин, внешний шум, внутренний шум и сопротивление качению. Следовательно, описание шероховатости важно при попытках количественного определения состояния дорожного покрытия и/или ее потенциального воздействия на безопасность движения, экономию топлива и окружающую среду.

Методы измерения шероховатости

4.2. дорожных покрытий

Шероховатость дорожного покрытия определяют методами песчаного пятна, объемного пятна, вытекания, профилометрическими методами (рис. 4.5).

4.2.1. Метод песчаного пятна

Метод песчаного пятна — определение шероховатости покрытий в дорожных условиях — заключается в измерении средней глубины впадин шероховатости на покрытии автомобильных дорог (рис. 4.6).

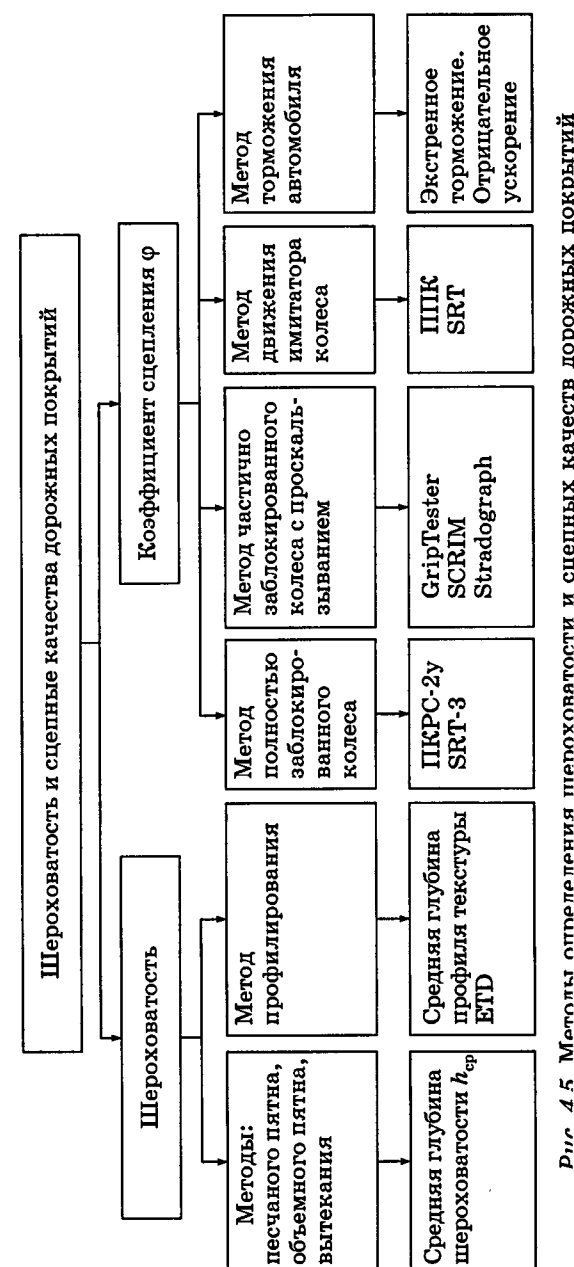


Рис. 4.5 Методы определения шероховатости и сцепных качеств дорожных покрытий

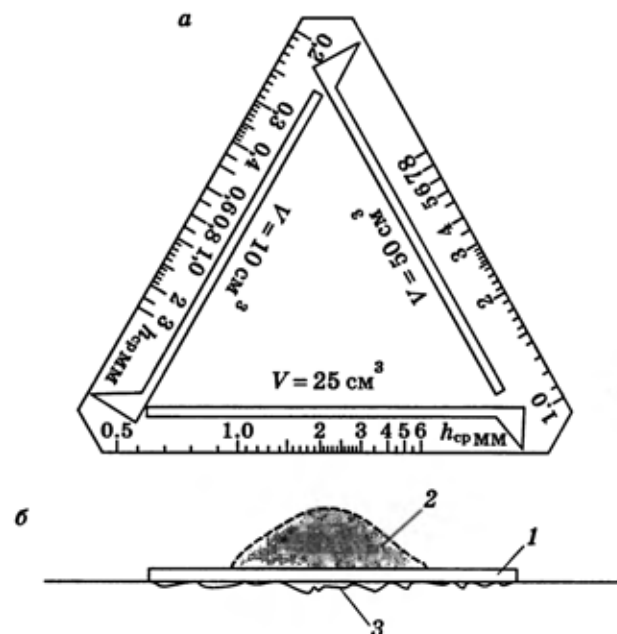


Рис. 4.6. Метод песчаного пятна:
а — номограмма; б — схема проведения испытаний (1 — диск; 2 — песок до начала испытания; 3 — песок после проведения испытания)

Комплект оборудования для определения средней глубины шероховатости включает два мерных стаканчика емкостью 10 и 25 см³ для дозирования песка, металлический диск диаметром 100 мм для распределения песка по поверхности покрытия, номограмму для определения средней глубины шероховатости по диаметру песчаного пятна с тремя шкалами для 10, 25 и 50 см³ объема песка.

При измерении средней глубины шероховатости на поверхность покрытия высыпают мерным стаканчиком порцию мелкого песка (размер зерен 0,14...0,31 мм): при мелкошероховатом покрытии — 10 см³, среднешероховатом — 25 см³, крупношероховатом — 50 см³. Порцию песка круговыми движениями распределяют по поверхности покрытия до заполнения всех впадин уровня наиболее высоких выступов. Полученное «песчаное пятно» измеряют по четырем взаимно

перпендикулярным направлениям и определяют среднестатистический диаметр. Для особо мелкошероховатой поверхности берут порцию песка 5 см³, среднюю глубину шероховатости определяют по шкале номограммы для объема 10 см³, умножая показания шкалы на коэффициент 0,5.

Среднюю глубину шероховатости вычисляют по формуле

$$h_{cp} = 4V/\pi D^2, \quad (4.2)$$

где V — объем песка, см³; D — средний диаметр песчаного пятна, см.

4.2.2. Метод объемного пятна

Метод объемного пятна — определение шероховатости покрытий с помощью стеклянных шариков в дорожных условиях — заключается в измерении средней глубины впадин шероховатости на покрытии автомобильных дорог (рис. 4.7).

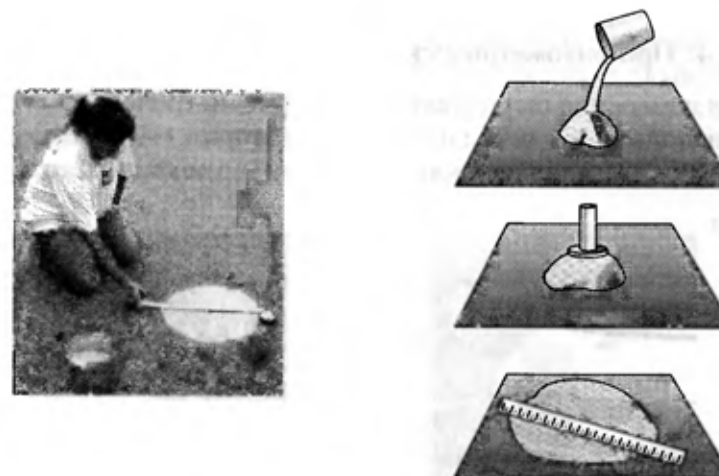


Рис. 4.7. Метод объемного пятна

Метод объемного пятна аналогичен методу песчаного пятна, но в качестве материала используются стеклянные шарики, которые распределяют по покрытию с помощью специального инструмента (хоккейной шайбой с ручкой).

4.2.3. Метод вытекания

При использовании метода вытекания (рис. 4.8) в качестве меры шероховатости используется время вытекания воды (1 дм^3) между резиновым кольцом, установленным на покрытии, и шероховатой поверхностью. Применяется на относительно гладких покрытиях.



Рис. 4.8. Метод вытекания

4.2.4. Профилометрические методы

Для измерения шероховатости профилометрическими методами используется передвижная лаборатория «Профилограф» (рис. 4.9), определяющая макротекстуру автомобильных дорог.

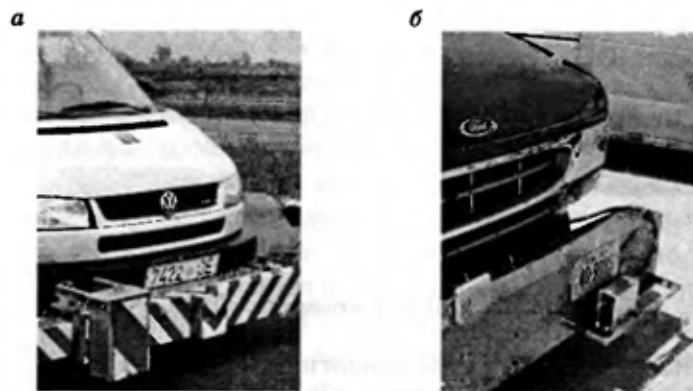


Рис. 4.9. Профилометрические лазерные измерители, используемые в Беларуси (а) и США (б)

Специальный лазер для измерения макротекстуры (шероховатости) поверхности устанавливается вдоль левой или правой полосы наката.

Измерительным органом при работе установки «Профилограф» (Беларусь/Дания) является лазерный датчик SELCOM. При движении автомобиля луч света полупроводникового лазерного диода падает на поверхность покрытия с частотой 64 кГц. Детектор, установленный в корпусе датчика, определяет профиль макрошероховатости от условного среднего уровня лазера, поддерживаемого сервомотором, и преобразует в электрический сигнал, на основании которого электронные устройства могут вычислить фактическое расстояние до объекта измерения. Конструкция лазерного датчика позволяет производить измерения по высоте от его нижней грани на среднем расстоянии 200 мм в диапазоне ± 30 мм. Измерения выполняются через каждые 0,2...0,3 мм пути движения установки. Скорость движения — 40...70 км/ч (в зависимости от шага измерений).

По результатам измерений вычисляют параметры макротекстуры по песчаному пятну (ETD) и среднюю глубину профиля макротекстуры (MPD), приходящуюся на участок протяженностью 1, 10, 100, 1000 м.

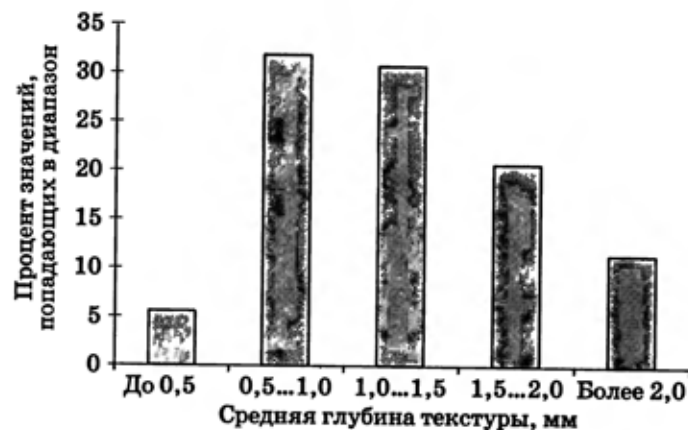


Рис. 4.10. Распределение средней глубины текстуры на республиканских дорогах Беларуси

Анализ результатов измерений макротекстуры на республиканских дорогах Беларуси показывает, что значения MPD распределены в широком диапазоне: от 0,3 до 2,5 мм и более. На рис. 4.10 представлен пример типичной гистограммы распределения значений средней глубины текстуры на республиканской автомобильной дороге в Беларуси.

Методы измерения сцепных качеств

4.3. покрытия

Коэффициент сцепления — отношение результирующей реакции, возникающей в опорной плоскости касания колеса с поверхностью, к соответствующему значению нормальной нагрузки, действующей на колесо. Коэффициент поперечного сцепления является частью коэффициента сцепления, соответствующей движению колеса под углом к плоскости вращения колеса, а коэффициент продольного сцепления — частью коэффициента сцепления, соответствующей движению колеса в плоскости его вращения.

Коэффициент сцепления можно вычислить по формуле (рис. 4.11)

$$\phi = T/Q, \quad (4.3)$$

где T — горизонтальная реакция, кН; Q — нагрузка, кН.

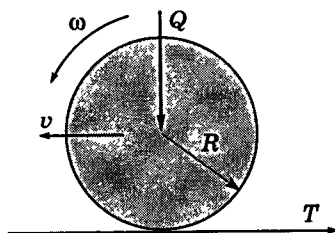


Рис. 4.11. Принципиальная схема сил при измерении коэффициента сцепления:

T — горизонтальная реакция; Q — нагрузка; v — скорость измерения; ω — угловая скорость вращения измерительного колеса (равна нулю при полностью заблокированном колесе); R — радиус измерительного колеса

4.3.1. Факторы, влияющие на сцепные качества покрытий

Большим количеством исследований установлено, что коэффициент сцепления зависит от ряда факторов, важнейшими из которых являются: скорость движения; величина нагрузки на колесо, его размеры; размер, конструкция, материал, внутреннее давление пневматической шины и протектор с его изменяющейся жесткостью, гистерезисом и рисунком; условия контакта шины с покрытием; тип и состояние дорожного покрытия; износ покрытия и шины; материал и методы строительства; климатические условия и т.п.

С увеличением скорости движения сцепление между колесом автомобиля и дорогой снижается.

Однако наибольшее влияние на коэффициент сцепления оказывает комплексное действие повышения влажности дорожного покрытия и скорости движения, что приводит к увеличению длины тормозного пути и нарушению устойчивости автомобиля.

В процессе эксплуатации дороги происходит износ покрытия, особенно интенсивный в пределах полос наката. Степень износа, а следовательно, и условия сцепления колес автомобиля с дорожным покрытием зависят от срока службы покрытия и интенсивности движения. Неравномерное изменение условий сцепления в поперечном профиле дороги может привести к заносу автомобиля и дорожно-транспортному происшествию.

Аналогичное явление можно наблюдать и в случае неоднородных условий сцепления в продольном профиле. При интенсивном встречном движении и частых обгонах даже опытный водитель допускает превышение безопасной скорости, так как он не всегда в состоянии сосредоточить внимание на состоянии дорожного покрытия (грязное, мокрое, обледенелое).

Безопасность движения зависит также от степени надежности сцепления колес автомобиля с дорогой на участках горизонтальных и вертикальных выпуклых кривых, в пределах которых на автомобиль действует центробежная сила, стремящаяся в первом случае сдвинуть его в наружную сто-

рону закругления, а во втором — оторвать от поверхности дороги (уменьшение нагрузки на колесо). В связи с ухудшением условий сцепления и управляемости автомобилем безопасное движение на подобных участках возможно лишь с ограниченными скоростями.

На сцепные качества покрытий существенно влияет наличие грязи и влаги на отдельных участках. При экстренном торможении создается аварийная ситуация, так как длина тормозного пути на загрязненном или замасленном покрытии при малой величине коэффициента сцепления значительно больше, чем на чистом сухом покрытии дороги.

Низкие сцепные качества покрытий наблюдаются в местах выхода вяжущего (битума) на поверхность дороги, на участках, проходящих через лесные массивы (в период листопада), в местах частого увлажнения покрытий вследствие вечерних и утренних туманов (низины, поймы рек, озер, болот) и т.п. Большое количество дорожно-транспортных происшествий происходит при недостаточно высоком сопротивлении скольжению дорожных покрытий, особенно на пересечениях автомобильных дорог в одном уровне. Величина коэффициента сцепления в таких местах снижается вследствие полировки выступающих поверхностей каменных частиц дорожного покрытия в результате интенсивного движения автомобилей, а также применения для борьбы с гололедом песка, хлористого кальция или натрия. Поэтому к сцепным качествам покрытий на указанных участках следует предъявлять повышенные требования, применяя для устройства покрытий каменный материал с повышенным сопротивлением истиранию.

Как правило, отдельные участки дороги имеют либо разные типы покрытий, либо однородные покрытия, но с различными поверхностными обработками. Незначительные изменения в составе асфальтобетона, каменном материале или органическом вяжущем, различная технология производства работ влияют на коэффициент сцепления. Величина сопротивления скольжению также зависит от неодинаковой температуры поверхности покрытия на смежных участках, расположенных

в залесенной и открытой местностях. Поэтому в процессе оценки сцепных качеств того или иного маршрута необходимо учитывать возможные изменения сопротивления скольжению и производить измерения на всех характерных участках с учетом изменений в поперечном профиле.

Таким образом, безопасность движения в значительной степени обусловлена условиями взаимодействия колес автомобиля с дорогой, а оценивать эти условия необходимо в первую очередь на наиболее опасных, скользких участках дороги, в местах возможного возникновения дорожно-транспортных происшествий. При этом потенциально опасные участки дорог следует систематически выявлять и принимать меры по повышению шероховатости покрытий или ограничению скорости движения автомобилей.

Следовательно, для предупреждения дорожно-транспортных происшествий, вызываемых недостаточным сцеплением шины с покрытием, необходимо регулярно проверять состояние покрытия, а на отдельных, особо опасных участках и в местах, где наиболее часто бывают ДТП, — оценивать скользкость дорог. Кроме того, следует изучать места концентрации дорожно-транспортных происшествий, составлять линейные графики происшествий и состояния сцепных качеств дорожного покрытия вдоль всего маршрута.

Методы определения сцепления шин с дорожным покрытием можно разделить на четыре группы (см. рис. 4.5):

□ метод определения коэффициентов сцепления путем непосредственного измерения силы сцепления в контакте шины с покрытием полностью заблокированного колеса (ПКРС-2У, SRT-3 и др.);

□ метод определения коэффициентов сцепления путем непосредственного измерения силы сцепления в контакте шины с покрытием частично заблокированного колеса, 12...35%-ным проскальзыванием (коэффициент сопротивления заносу) (Grip-Tester, SCRIM, Stradograph и др.);

□ метод измерения условной величины перемещения (линейное или угловое) движения имитатора колеса (ППК, SRT);

□ метод торможения автомобиля.

Первый метод широко распространен в странах СНГ, Польше и др. и имитирует торможение автомобиля с «обычной» тормозной системой. Второй метод имитирует торможение автомобиля, оборудованного антиблокировочной системой тормозов, и применяется в большинстве европейских стран и США. Третий метод используется в портативных измерителях коэффициента сцепления. Четвертый метод применяется для предварительной оперативной оценки величины коэффициента сцепления.

Конструктивно установки по измерению коэффициента сцепления выполняют в виде прицепа, реже встраивают в транспортное средство. Портативные установки имеют множество конструктивных решений.

4.3.2. Метод полностью заблокированного колеса

Динамометрический прицеп ПКРС-2У. Измерение сцепления покрытий с помощью динамометрического прицепа проводят дискретно в режиме скольжения полностью заблокированного колеса прицепного устройства по увлажненной поверхности покрытия (рис. 4.12).



Рис. 4.12. Динамометрический прицеп ПКРС-2У

Колесо блокируют нажатием на тормозную педаль в отдельных точках дороги. При измерении коэффициента сцепления необходимо фиксировать температуру воздуха и получаемые величины приводить к расчетной температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ путем введения поправки, составляющей при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $-0,06$, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $-0,04$, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $-0,03$, $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $-0,02$, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 0 , $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $0,01$, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $0,02$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $0,02$.

Принцип работы. При определении величины коэффициента сцепления на большом протяжении проводят не менее пяти измерений на 1 км полосы движения. В момент блокировки покрытие увлажняют с созданием водной пленки толщиной 1 мм. Величина коэффициента сцепления фиксируется компьютерным устройством или микропроцессорной системой с привязкой к километражу автомобильной дороги. Технологически целесообразно оборудовать установку емкостью повышенной вместимости (2000...3000 л) для повышения производительности измерений.

4.3.3. Метод частично заблокированного колеса с проскальзыванием

Установка GripTester предназначена для непрерывного измерения сцепления колеса с покрытием на автомобильных дорогах (рис. 4.13, табл. 4.1). При помощи GripTester определяется сила сцепления в контакте шины с покрытием частично заблокированного колеса с гладкой шиной на влажном покрытии при движении с коэффициентом проскальзывания 15 %.



Рис. 4.13. Измерительная установка GripTester

Таблица 4.1

Основные характеристики установки GripTester

Характеристика	Значение
Погрешность измерения коэффициента сцепления, %	± 4
Скорость движения при выполнении измерений, км/ч	5...30
Объем емкости для воды, л	450
Средняя производительность измерений, км в смену	120
Масса измерительного прицепа, кг	85

Установка представляет собой прицеп, буксируемый автомобилем или передвигаемый вручную. Имеется возможность представления результатов измерений в единицах SCRIM. Предусмотрена фиксация пройденного пути. Установка оснащена персональным компьютером типа ноутбук для записи, обработки и хранения результатов измерений.

Установка SCRIM предназначена для непрерывного измерения сцепления колеса с покрытием на автомобильных дорогах. SCRIM определяет силу сцепления в контакте шины с покрытием частично заблокированного колеса с гладкой шиной на влажном покрытии при движении с коэффициентом проскальзывания 34,2 %. Установка вмонтирована в грузовой автомобиль и оснащена емкостью для воды объемом 2750 л и системой увлажнения перед измерительным колесом (рис. 4.14, 4.15, табл. 4.2).



Рис. 4.14. Измерительная установка SCRIM (а) и измерительное колесо (б)

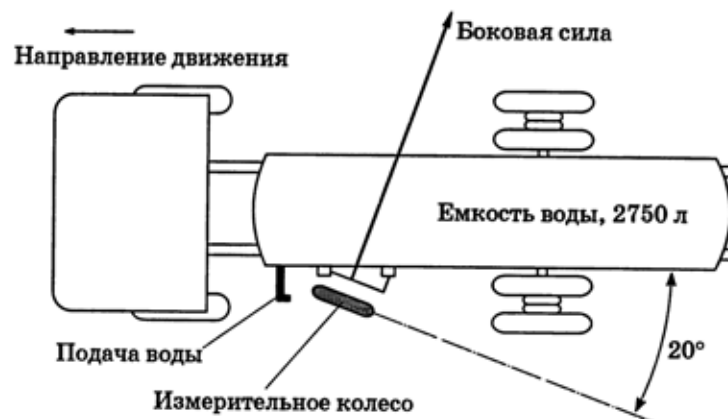


Рис. 4.15. Принципиальная схема измерительной установки SCRIM

Таблица 4.2

Основные характеристики установки SCRIM

Характеристика	Значение
Скорость движения при выполнении измерений, км/ч	50...80
Угол установки измерительного колеса	20° по отношению к направлению движения
Скорость скольжения измерительного колеса, км/ч	17,1 при скорости измерения 50 км/ч ($50 \times \sin(20^\circ)$)
Процент проскальзывания, %	34,2 ($100 \times \sin(20^\circ)$)
Размеры измерительного колеса, мм:	
ширина	76
диаметр	508
Давление в шине измерительного колеса, кПа	350
Жесткость и эластичность шины измерительного колеса	Стандартизованы
Объем емкости для воды, л	2750

4.3.4. Метод измерения условной величины перемещения движения имитатора колеса

Портативный прибор ППК предназначен для оценки коэффициента сцепления колеса автомобиля в определенном месте дорожного покрытия (рис. 4.16). Принцип действия прибора основан на оценке потерь кинетической энергии сбрасываемого груза при трении имитаторов колеса автомобиля о покрытие при стандартизированной величине начальной потенциальной энергии.

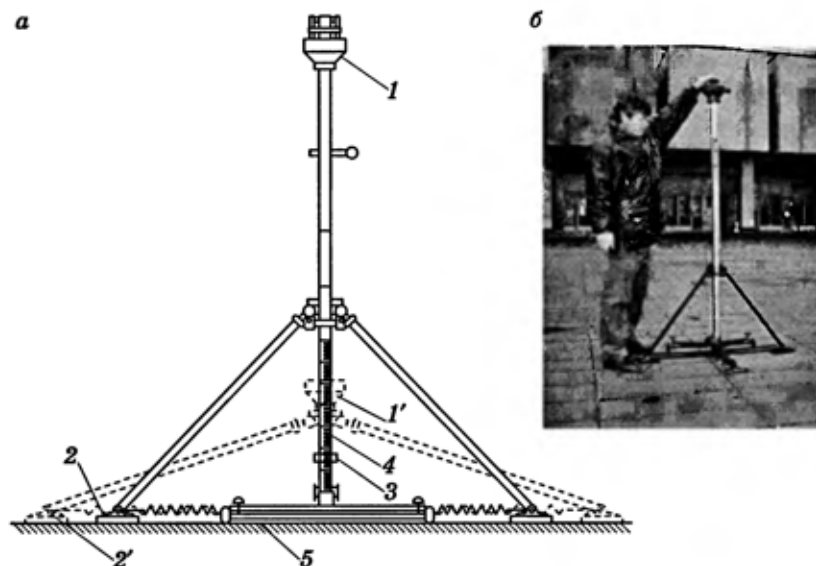


Рис. 4.16. Схема проведения испытаний по определению коэффициента сцепления прибором ППК:

а — схема; б — общий вид; 1 — положение груза до проведения испытаний; 1' — положение груза после проведения испытаний; 2 — положение имитаторов до проведения испытаний; 2' — положение имитаторов после проведения испытаний; 3 — измерительное кольцо; 4 — шкала прибора; 5 — мокрое покрытие

Принцип работы. Для измерения коэффициента сцепления дорожное покрытие увлажняют непосредственно под имитаторами и в направлении их скольжения. Размер поло-

сы увлажнения должен быть не менее 15×30 см. Необходимое количество воды — $100 \dots 150 \text{ см}^3$. Не позднее чем через 3 с после увлажнения покрытия нажимают на кнопку сброса груза и измеряют коэффициент сцепления. Для получения устойчивых значений коэффициента сцепления на любых типах покрытий достаточно от трех до пяти измерений.

Портативный прибор маятникового типа SRT. Метод основан на трении резинового имитатора, прикрепленного к образцу в виде маятника, с поверхностью дорожного покрытия (рис. 4.17).

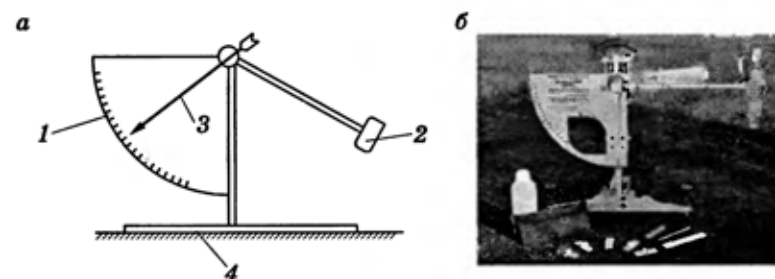


Рис. 4.17. Схема прибора маятникового типа SRT:

а — схема; б — общий вид; 1 — шкала прибора; 2 — маятник; 3 — стрелка; 4 — мокрое покрытие

Принцип работы. Испытания проводят по полосе наката на мокром покрытии каждой полосы движения автомобильной дороги с продольным уклоном на участке не более 10 % и температуре воздуха не ниже 0°C . Коэффициент сцепления измеряют через каждые 200 м.

Порядок проведения испытаний. Измеряют температуру воздуха, устанавливают прибор в точке измерения коэффициента сцепления и фиксируют маятник прибора в верхнем положении (рис. 4.18). Затем увлажняют дорожное покрытие водой по траектории движения маятника из расчета $0,05 \text{ л}$ на каждое измерение, отпускают маятник, чтобы он совершил одно колебание по покрытию, и останавливают рукой обратное движение. По стрелке на шкале прибора фиксируют значение показателя сцепления. В каждой точке выполняют по три измерения и результаты испытаний заносят в таблицу.



Рис. 4.18. Проведение испытаний по определению коэффициента сцепления прибором маятникового типа SRT

4.3.5. Метод торможения автомобиля

При отсутствии динамометрических прицепов степень скользкости оценивается методом торможения автомобиля на мокрых покрытиях. Тормозной путь определяют на прямых горизонтальных участках дороги при отсутствии сильного ветра и закрытом движении на участке измерений. Непосредственно перед каждым измерением коэффициента сцепления дорожное покрытие должно быть искусственно увлажнено так, чтобы обеспечить на покрытии 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:

$$\varphi_{\text{сц}} = v^2 / 254 S_T \pm i, \quad (4.4)$$

где v — начальная скорость торможения, км/ч; S_T — длина тормозного пути; i — уклон участка, доли единицы.

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

$$S_T = 1,09 l_{\text{сл.т}}, \quad (4.5)$$

где $l_{\text{сл.т}}$ — длина видимого следа торможения на покрытии, м.

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

Вычисляют среднее значение отрицательных ускорений в каждом направлении движения:

$$a_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, \quad (4.6)$$

где a_i — ускорение при i -м замере; n — число замеров.

Затем определяют расчетное значение отрицательного ускорения. Оно принимается как среднее арифметическое измерений по ходу и против хода километража:

$$a = \frac{a'_{\text{ср}} + a''_{\text{ср}}}{2}. \quad (4.7)$$

Коэффициент сцепления вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{a}{g} \pm i, \quad (4.8)$$

где i — уклон участка, доли единицы.

4.3.6. Расчетные показатели шероховатости и сцепных качеств дорожных покрытий

Возросшая потребность в измерении коэффициента сцепления привела к появлению на рынке многочисленных приборов — от простейших устройств до достаточно сложных систем. Несмотря на то что измерительные системы получили

широкое распространение в мире начиная еще с 1960-х гг., возникают сложности в получении сопоставимых данных для различных измерительных приборов. Трудность заключается в сопоставимости и репродуцировании результатов измерений, полученных при помощи различных приборов, и их калибровке по «единой шкале измерений». Это вызвано применением различных принципов измерения и конструкций приборов.

Сложившаяся ситуация напоминает возникшую в 1970-х гг. проблему измерения ровности, которая была решена путем математического моделирования колебаний движения виртуального транспортного средства по реальным неровностям автомобильной дороги. В этом случае измерялись неровности на покрытии, а показатель ровности, получивший название «Международный индекс ровности» (IRI), вычислялся.

Показатель IRI, нашедший широкое распространение в мире, навел на мысль о математическом моделировании процесса торможения виртуального колеса по реальному покрытию. Выполнить математическое описание колеса автомобиля с заданными свойствами и смоделировать процесс торможения сравнительно несложно: следует измерить текстуру поверхности дорожного покрытия и выполнить все необходимые расчеты.

Однако при этом возникает другая проблема.

Измерение шероховатости покрытия — это процесс измерения собственно неровностей, образуемых зернами каменного материала, или объема материала (песка/стеклянных шариков или смазки/воды), необходимого для заполнения объемного пространства, образованного между условной плоскостью, проходящей по вершинам зерен каменного материала, и их впадинами.

Шероховатость дорожного покрытия измеряют методами профилометрии, объемного (песчаного) пятна, объемного пятна с силиконовой или консистентной смазкой, вытекания, стереофотограмметрических снимков. Профилометрические приборы с лазерным датчиком или игольчатой конструкции измеряют непосредственно профиль, когда датчик, например

кончик иглы или лазерное пятно, непрерывно касается покрытия дорожной одежды или светит на него по мере движения по поверхности (рис. 4.19). Таким образом, в мировой практике хорошо научились измерять макротекстуру.

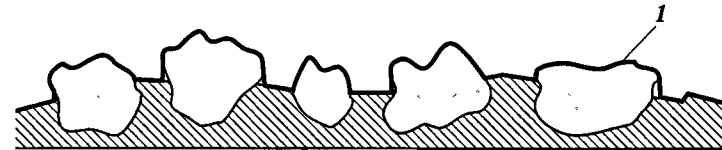


Рис. 4.19. Схема измерения макротекстуры:
1 — траектория движения датчика

Однако реально применяемые в мире методы и приборы, в том числе и лазерные, не позволяют в настоящее время измерить микротекстуру поверхности дорожного покрытия.

Исследования, проводимые в различных странах, в том числе в Беларуси, показывают, что устойчивая корреляционная зависимость между коэффициентом сцепления и шероховатостью отсутствует. Имеется большой разброс показаний в зависимости от скорости, величины шероховатости и степени увлажнения покрытия. Одна из линейных зависимостей связи между коэффициентом сцепления и шероховатостью приведена на рис. 4.20.

Таким образом, отсутствие измерений микротекстуры не позволяет в полной степени математически смоделировать процесс торможения колеса и получить «индекс сцепления», независимый от параметров колеса и отражающий только сцепные качества дорожного покрытия.

Связь между шероховатостью и коэффициентом сцепления достаточно сложно выразить однозначной зависимостью.

Необходимость в едином показателе, отражающем сцепные качества покрытий, побудила ученых начать исследования для введения в практику Международного индекса трения (IFI) при эталонной скорости, т.е. значения, которое в принципе не зависит от оборудования, исходя из измерений коэффициента сцепления и шероховатости. В дальнейшем предполагается

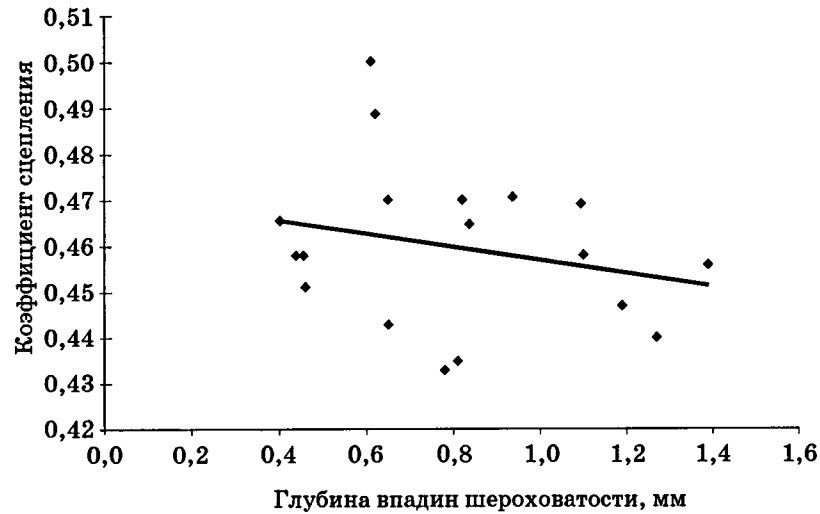


Рис. 4.20. Связь между глубиной текстуры и шероховатостью (данные по Беларуси)

ется установить единые стандарты, а возможно, и предельно допустимые значения как в Европе, так и по всему миру.

Так, согласно исследованиям, проведенным в Скандинавских странах, соотношение между шероховатостью и коэффициентом сцепления можно описать при помощи базовой модели:

$$F = F_0 e^{S/S_p}, \quad (4.9)$$

где F — коэффициент сцепления на определенной скорости; F_0 — коэффициент сцепления, определяемый микротекстурой; S — скорость скольжения шины, которая является произведением относительного коэффициента скольжения и скорости движения; S_p — коэффициент сцепления, определяемый макротекстурой.

Частное от S/S_p является влиянием скорости на измерение. В данной модели коэффициент сцепления линейно возрастает вместе с микротекстурой и нелинейно — с макротекстурой.

Коэффициент сцепления исходя из фактической скорости движения на эталонной скорости скольжения 60 км/ч:

$$F_{60} = A + BF_m e^{(S_m - 30)/S_p} + CT_m, \quad (4.10)$$

где A , B и C — константы, связанные с измеряющими коэффициент сцепления устройствами ($C = 0$ для эталонных типов шин); F_m — измеренный коэффициент сцепления; S_m — скорость скольжения (при измерении равна скорости движения v_m , умноженной на соотношение скольжения или (для устройств типа SCRIM для измерения боковых сил) на произведение скорости движения v_m и синуса угла скольжения. Обычно это постоянное значение для каждого устройства и вычисляется один раз для всех); T_m — измеренная шероховатость, обычно MPD; S_p — константа скорости трения, основанная на T_m :

$$S_p = c + dT_m, \quad (4.11)$$

где c и d — константы, связанные с измеряющими трение устройствами. При использовании MPD константы c и d определяются один раз и для всех устройств.

Работы над определением коэффициентов в настоящее время ведутся.

5.1. Общие сведения

Одним из основных условий выбора наиболее эффективных мероприятий по повышению транспортно-эксплуатационных качеств дороги является наличие надежных данных о размерах ее геометрических элементов.

Ширину проезжей части измеряют на каждом характерном участке (на прямых, кривых в плане и профиле, в местах сужений и изменения ширины, над трубами, на мостах и путепроводах, на высоких насыпях, в местах установки ограждений), но не реже чем одно измерение на километр.

Длину участка и ширину элементов дороги в плане определяют следующими приборами:

- датчиком пути на дорожных лабораториях;
- мерной лентой;
- курвиметром, представляющим собой колесо окружностью 1,0 м, установленное на вилке с ручкой и соединенное зубчатой передачей со счетчиком;
- приемниками GPS.

Уклоны обочин и откосы земляного полотна, а также продольные и поперечные уклоны покрытий измеряют:

- угломерной линейкой КП-135, КП-216;
- гироскопическими датчиками крена, которые устанавливают на кузов автомобиля. Они регистрируют фактическое положение кузова автомобиля относительно поверхности покрытия дороги.

Установки для определения геометрических параметров 5.2. автомобильных дорог

Установка на базе микроавтобуса «Газель» (РУП «Белдорцентр», Республика Беларусь) (рис. 5.1, табл. 5.1). Предназначена для измерения продольных и поперечных уклонов проезжей части автомобильных дорог и величин углов поворота при движении базового автомобиля с последующим вычислением радиусов вертикальных и горизонтальных кривых.



Рис. 5.1. Лаборатория визуального обследования дорог и определения геометрических параметров автомобильных дорог

Таблица 5.1

Основные характеристики установки	
Характеристика	Значение
Диапазон измерения продольных уклонов, %	±17,5
Диапазон измерения поперечных уклонов, %	±17,5
Диапазон измерения углов поворота, град.	0...360
Погрешность измерения продольных уклонов, ‰	5

Окончание табл. 5.1

Характеристика	Значение
Погрешность измерения поперечных уклонов, ‰	5
Погрешность измерения углов поворота, град.	1
Производительность, км за смену	50

Установка смонтирована на микроавтобусе «Газель», оснащена персональным компьютером типа ноутбук для записи и хранения информации. Электронное оборудование включает в себя гироскопическую систему и систему фиксации данных на магнитных носителях. Программное обеспечение системы позволяет производить расчет кривых в плане и профиле по измеренным первичным данным.

Установка «Профилограф». В основные характеристики установки «Профилограф» (см. рис. 2.25) входит возможность измерения геометрических параметров автомобильной дороги. Оптические гироскопы позволяют измерять радиусы вертикальных и горизонтальных кривых, а также продольные и поперечные уклоны. Результаты измерений заносят в компьютер, анализируют и обрабатывают.

Лаборатория с лазерно-гироскопической системой ЛГС (ФГУП СоюздорНИИ, Российская Федерация) (табл. 5.2). Мобильная диагностическая лаборатория с лазерно-гироскопической системой (ЛГС) предназначена для измерения геометрических характеристик поверхности покрытий автомобильных дорог и аэродромов: продольной и поперечной ровности, уклонов, радиусов кривизны на цементобетонных, асфальтобетонных и сборных бетонных покрытиях. Разработана СоюздорНИИ и МГТУ им. Баумана в 1995–2000 гг.

Таблица 5.2

Основные характеристики лаборатории

Характеристика	Значение
Шаг измерения (минимальная величина), мм	10
Скорость, при которой производятся измерения, км/ч	0...100
Производительность, км за смену	До 400

Окончание табл. 5.2

Характеристика	Значение
Диапазон измерения длин волн неровностей, м	0,5...60
Диапазон измерения продольных уклонов, ‰	0...150
Диапазон измерения поперечных уклонов, ‰	0...15
Напряжение питания аппаратуры, В	12

В системе ЛГС, установленной на базе автомобиля «Фольксваген Мультиван», используется шесть лазерных датчиков, расположенных на поперечной балке, установленной впереди автомобиля. В состав ЛГС входят следующие рабочие модули:

- курсовой прибор;
- блок электроники;
- датчик пройденного пути;
- компьютер Kontron Intite со специальным программным обеспечением;
- навесной блок:
 - центральная гировертикаль;
 - акселерометр (чувствительность $10^{-5} \cdot g$);
 - шесть лазерных датчиков.

Измерительная информация непрерывно сбрасывается на жесткий диск компьютера, емкость которого достаточна для записи данных на участке более 1000 км. Система позволяет также получать оценочные показатели ровности в соответствии со СНиП 3.06.03–85, ГОСТ 30412–96, а также с Международными показателями ровности IRI и PSD.

Электронная линейка-нивелир Smartlevel фирмы Wedge (США). Предназначена для измерения уклонов поперечного профиля дороги и дренажа, наклона выемки, вертикального угла различных уровней (рис. 5.2). Длина прибора в зависимости от назначения составляет 2, 4 и 6 футов, что соответствует 0,61, 1,22 и 1,83 м. Корпус выполнен из алюминия и имеет сенсорный модуль размером 6 дюймов (15,24 см), а также источник питания в виде батареи в 9 В. Точность данных, снимаемых электронным нивелиром Smartlevel, составляет $1/10^\circ$.



Рис. 5.2. Электронная линейка-нивелир

При нажатии на кнопку включения на экран прибора выводится угол наклона поверхности. Особенностью прибора является то, что показания на экране всегда ориентированы правой стороной вверх.

Лаборатория «Трасса-1», «Трасса-2» (ГипродорНИИ, Российская Федерация) (табл. 5.3). Лаборатория позволяет измерять радиус кривой в плане, радиус вертикальной кривой, линейные параметры дороги. Измеряют и записывают геометрические параметры самопишущим прибором Н-340 при скорости движения от 30 до 40 км/ч. Определение радиуса кривизны возможно двумя независимыми способами, что позволяет с наименьшей погрешностью получить необходимые данные.

Таблица 5.3

Основные характеристики лаборатории

Характеристика	Значение
Пределы измерения продольного уклона, ‰	0...100
Угол поворота трассы, град.	0...60
Общее рабочее напряжение, В	24 ± 2

Принцип работы. Существует несколько способов измерения геометрических параметров автомобильных дорог.

Первый способ. Радиус кривизны устанавливают соотношением угловой (ω) и линейной (v) скорости:

$$R_{\omega} = v/\omega. \quad (5.1)$$

Линейную скорость (v) определяют с помощью бесконтактного тахогенератора переменного трехфазного тока, угловую скорость (ω) — гироскопическим датчиком угловой скорости.

Второй способ. Определяют угол поворота продольной оси автомобиля γ в поперечной плоскости (для кривых в плане) и вертикальной плоскости (для вертикальных кривых). Радиус кривой рассчитывают по формуле

$$R_{\gamma} = 57,35 \cdot S/\gamma, \quad (5.2)$$

где S — пройденный путь, м; γ — измеренный угол, град.

Углы γ измеряются гирополукомпасом, направление измерительной оси которого всегда остается постоянным и ориентированным параллельно первоначальной установке.

Передвижная лаборатория, оснащенная прибором КП-208. Прибор КП-208 предназначен для измерения в движении и записи на диаграммную ленту углов поворота, продольных и поперечных уклонов, длины прямых и кривых.

Принцип работы. Измерения проводят челночным способом в прямом и (для контроля) обратном направлениях, участками по 10...20 км. В процессе измерений регистрируют начало, конец каждого участка и характерные точки на дороге (километровые столбы, мосты, трубы, съезды, переезды, линии связи и электропередачи). Скорость измерения — 20 км/ч, производительность — до 60 км за смену.

Определение геометрических параметров дорог с помощью геодезических

5.3. приборов и инструментов

Величину радиуса существующей кривой в плане при отсутствии документации можно найти несколькими способами.

Первый способ (рис. 5.3). Определяют величину угла поворота с помощью теодолита. Затем находят точки начала и конца кривой. Мерной лентой или курвиметром измеряют длину кривой. При малой интенсивности движения длину кривой устанавливают по оси дороги, при большой интенсивности — по кромке проезжей части.

Радиус кривой рассчитывают по формуле

$$R = \frac{180 K}{\pi Y}, \quad (5.3)$$

где K — длина кривой, м; Y — угол поворота, град.

При измерении длины кривой по кромке проезжей части найденное значение радиуса уточняют:

$$R_k = R - B/2, \quad (5.4)$$

где R_k — радиус кривой, м; R — вычисленное значение радиуса; B — ширина проезжей части, м.

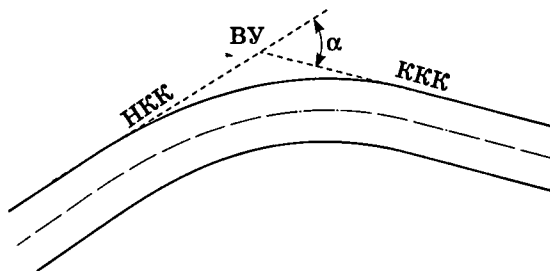


Рис. 5.3. Схема определения радиуса кривой в плане по первому способу: НКК — начало круговой кривой; ВУ — вершина угла; ККК — конец круговой кривой

Второй способ (рис. 5.4). Радиус кривой определяют путем измерения стрелки Z и хорды B , стягивающей дугу окружности.

Обычно величину хорды принимают равной длине мерной ленты.

Радиус кривой в плане рассчитывают по формуле

$$R = \frac{4Z^2 + B^2}{8Z}. \quad (5.5)$$

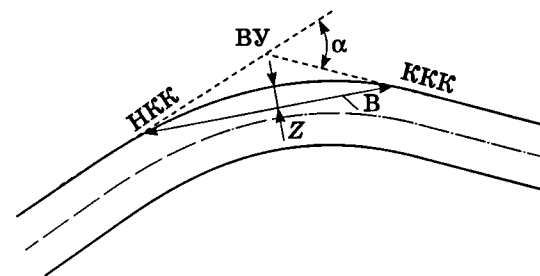


Рис. 5.4. Схема определения радиуса кривой в плане по второму способу. Обозначения те же, что на рис. 5.3

Так же как и при измерении по первому способу, при определении величин стрелки Z и хорды B по кромке покрытия радиус кривой уточняют.

Третий способ (рис. 5.5). Вначале определяют вершину угла поворота. Затем с помощью теодолита, установленного над точкой вершины угла, определяют угол поворота. Величину биссектрисы измеряют мерной лентой или курвиметром от вершины угла поворота до середины проезжей части. Точка вершины угла поворота должна быть установлена и закреплена заранее путем провешивания линий тангенсов с помощью вешек по оси дороги при небольшой интенсивности движения.

Величину радиуса кривой определяют по формуле

$$R = \frac{B}{\sec Y/2 - 1}, \quad (5.6)$$

где B — биссектриса кривой, м; Y — угол поворота, град.

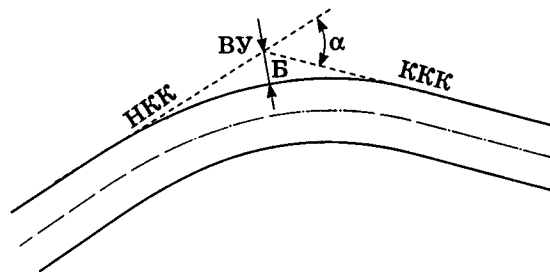


Рис. 5.5. Схема определения радиуса кривой в плане по третьему способу. Обозначения те же, что на рис. 5.3

При большой интенсивности движения смещенную вершину угла поворота устанавливают путем провешивания линий тангенсов с помощью вешек по кромке проезжей части, а затем определяют величину биссектрисы от смещенной вершины угла до кромки проезжей части.

6

ДЕФЕКТНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Общее понятие дефекта, его виды

6.1. и характеристики

Дефект — любое несоответствие свойств объекта заданным, требуемым или ожидаемым его свойствам, нарушающее исправность, работоспособность или правильность функционирования объекта. Дефекты дорожных покрытий (дорожных одежд) — отклонения геометрических параметров, текстуры и структуры дорожной одежды от нормативных требований. В зависимости от характера, местоположения и величины выделяют дефекты различных видов. Применительно к автомобильным дорогам в зависимости от вида объекта различают дефекты земляного полотна, дорожной одежды, искусственных сооружений, элементов инженерного и архитектурного благоустройства.

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 неверного использования нормативной документации, ошибочности в вычислениях.

Производственные дефекты возникают в результате несоответствия фактически реализованных технических решений (ширина земляного полотна, уклон дороги, радиус закругления и т.д.) требованиям проектной документации.

Технологические дефекты обусловлены нарушением технологической дисциплины, несоблюдением технологических правил и режима производства работ, отсутствием настоящего контроля за ходом работ.

Эксплуатационные дефекты возникают в процессе эксплуатации дороги и являются следствием естественного ста-

рения материалов, износа конструкции, влияния погодноклиматических факторов, воздействия транспортных нагрузок и других причин.

По значимости и месту в системе оценки состояния объекта дефекты подразделяются на явные, скрытые, критические, значительные и др.

Явный дефект — дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

Скрытый дефект — дефект, для выявления которого в нормативной документации, обязательной для данного вида контроля, не предусмотрены соответствующие правила, методы и средства.

Критический дефект — дефект, при наличии которого использование продукции по назначению практически невозможно или недоступно.

Значительный дефект — дефект, который существенно влияет на использование сооружения (продукции) по назначению и его долговечность, но не является критическим.

Малозначительный дефект — дефект, который существенно не влияет на использование сооружения по назначению и его долговечность.

Неустраняемый дефект — дефект, устранение которого технически невозможно или экономически нецелесообразно.

Устранимый дефект — дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно.

Для определения дефектности продукции, объектов, сооружений используется *коэффициент дефектности* — средневзвешенное количество дефектов, приходящихся на единицу продукции. Коэффициент дефектности вычисляют по формуле

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{\alpha} m_i v_i, \quad (6.1)$$

где n — выборка из рассматриваемого объема продукции (например, километров дороги); α — количество анализируемых

дефектов (видов дефектов); m_i — число дефектов каждого вида в выборке; v_i — коэффициент весомости соответствующих видов дефектов.

Относительный коэффициент дефектности (Q) рассчитывают по формуле

$$Q = \frac{D}{D_6}, \quad (6.2)$$

где D_6 — базовое значение коэффициента дефектности, соответствующее определенному базовому периоду развития науки и техники.

Перечень указанных видов дефектов целиком относится к автомобильным дорогам и может быть использован для оценки состояния и степени их дефектности.

Дефекты асфальтобетонных дорожных покрытий

6.2.

Под влиянием света, тепла, кислорода воздуха битумные материалы стареют. В процессе старения одни составные части их улетучиваются или окисляются, а другие агрегируют и уплотняются. Пластичность битумов уменьшается, увеличивается хрупкость, появляются трещины. Это особенно опасно в агрессивных химических средах.

Благодаря сложности и высокой степени полимеризации соединения, входящие в состав битумных материалов, обладают относительно высокой кислотностью. 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 — до 70 %, фосфорной — до 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. Они хорошо противостоят неокисленным органическим кислотам, в органических растворителях растворяются.

Коррозия битумов приводит к снижению физико-механических свойств асфальтобетона, возникновению в дорожных покрытиях различных дефектов.

6.2.1. Трещины

Трещины — дефекты нарушения сплошности дорожного покрытия. Возникают в результате знакопеременной нагрузки, усталостных явлений, температурного расширения и других факторов (рис. 6.1). Увеличение числа и протяженности трещин свидетельствует о начале процесса разрушения дорожной одежды. Для асфальтобетонных покрытий характерны отдельные, а также частые трещины.

Отдельные трещины — поперечные и косые трещины, не связанные между собой, среднее расстояние между которыми 4 м и более. В процессе диагностики записывается общая длина трещин, измеряемая в погонных метрах (рис. 6.2, рис. 6.3 на вклейке).

Частые 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 диагностике дорог измеряется площадь участка с трещинами в квадратных метрах (рис. 6.4 и рис. 6.5 на вклейке).

Сетка трещин — взаимопересекающиеся поперечные, продольные и криволинейные трещины, делящие поверхность ранее монолитного покрытия на ячейки. Дефект измеряется в квадратных метрах (рис. 6.6, рис. 6.7 на вклейке).



Рис. 6.3. Отдельная трещина



Рис. 6.5. Частые трещины



Рис. 6.7. Сетка трещин на асфальтобетонном покрытии



Рис. 6.11. Заплаты



Рис. 6.9. Выбоины



Рис. 6.13. Колейность менее 15 мм



Рис. 6.14. Колейность от 15 до 30 мм



Рис. 6.15. Колейность более 30 мм



Рис. 6.16. Шелушение покрытия



Рис. 6.17. Разрушение кромки

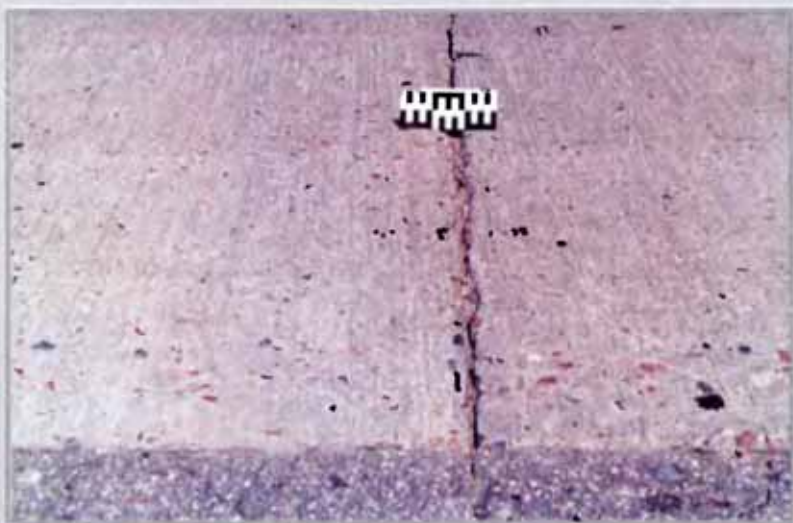


Рис. 6.19. Незаполненные швы



Рис. 6.21. Повреждение кромок швов



Рис. 6.25. Разрушение плит



Рис. 6.26. Выкрашивание поверхностной обработки



Рис. 6.27. Разрушения участка дороги в результате дефекта трубы



Рис. 6.30. Регистратор дефектов покрытия

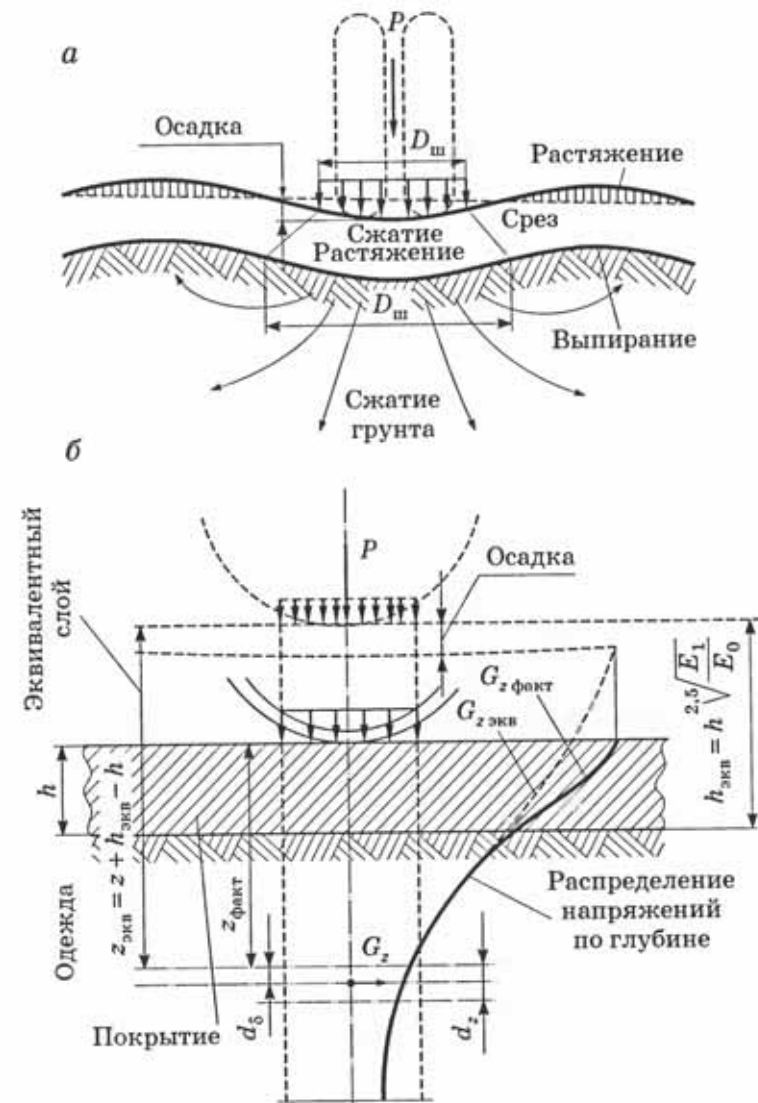


Рис. 6.1. Деформации и напряжения в дорожной конструкции: а — под нагрузкой автомобиля; б — при выборе расчетной модели

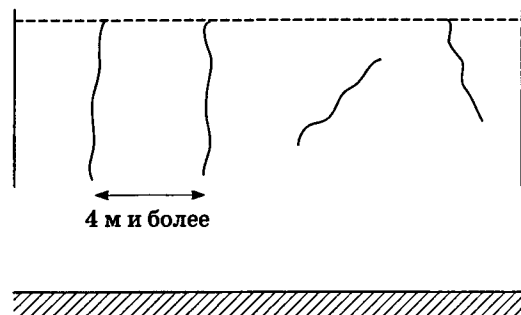


Рис. 6.2. Отдельные трещины

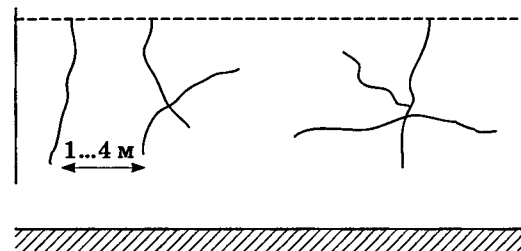


Рис. 6.4. Частые трещины

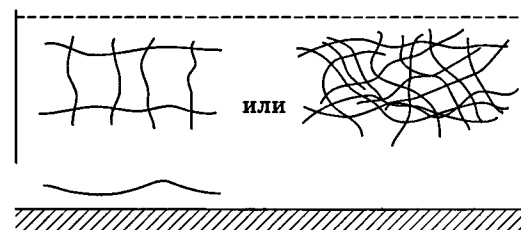


Рис. 6.6. Сетка трещин

Трещины — самый распространенный дефект. В зависимости от причин возникновения подразделяются на температурные и температурно-усталостные. Показателем наличия трещин является трещиноватость, характеризующаяся индексом трещиноватости:

$$\text{ИТ} = \frac{\sum T_{\text{п}} + \sum T_{\text{пр}} + \sum T_{\text{к}}}{1000} \left(\frac{\text{п. м}}{1000 \text{ м}^2} \right), \quad (6.3)$$

где $T_{\text{п}}$, $T_{\text{пр}}$, $T_{\text{к}}$ — длина продольных, поперечных и косых трещин соответственно.

На дороге, ширина которой постоянна, трещиноватость может оцениваться 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 трещины могут стать причиной усталостных разрушений. Проникающая через них вода способствует развитию деструктивных процессов в нижних конструктивных слоях, уменьшению несущей способности грунта земляного полотна и всей дорожной конструкции.

Трещины на асфальтобетонных покрытиях, уложенных на несвязанные гравийные и щебеночные основания, как правило, начинают образовываться через две зимы на третью. Площадь покрытия, пораженная трещинами $F_{\text{т}}$ (м), вычисляется по зависимости

$$F_{\text{т}} = \frac{1000}{[105(t_{\text{т}} - 2)^{-1,44} + (505(t_{\text{т}} - 2)^{-1,13})(H_{\text{п}} - 80)/100] K_{\text{т}} K_6}, \quad (6.4)$$

где $t_{\text{т}}$ — срок службы покрытия от момента строительства или капитального ремонта до момента прогнозирования, лет; $H_{\text{п}}$ — толщина слоев, содержащих органическое вяжущее; $K_{\text{т}}$ — коэффициент, учитывающий влияние типа асфальтобетона и свойств вяжущего на релаксационную способность (табл. 6.1); K_6 — то же, влияние типа (марки) битума (табл. 6.2).

Таблица 6.1

Значение коэффициента K_r	
Тип асфальтобетона	K_r
А	1,1
Б	1,0
В	0,9
Г, Д	0,8

Таблица 6.2

Значение коэффициента K_6	
Марка битума	K_6
БНД 60/90	0,9
БНД 90/130	1,0
БНД 130/200	1,2
Модифицированный полимерами	1,5

Отраженные температурно-усталостные трещины образуются вследствие концентрации деформаций асфальтобетонных слоев на жестких основаниях над швами или трещинами (до 50...70 % от общей деформации и соответствующего увеличения растягивающих напряжений). Замедлить этот процесс можно путем значительного увеличения толщины защитного слоя асфальтобетона (до 18...20 см), что во многих случаях экономически нецелесообразно.

Количество трещин увеличивается с повышением жесткости асфальтобетонных слоев, возрастанием интенсивности движения, старением покрытия.

6.2.2. Выбоины

Выбоины — местные разрушения дорожного покрытия, имеющие вид углублений с резко очерченными краями, которые образовались 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 автомобилей из-за неровности покрытия и т.д. Для предотвращения увеличения выбоин по площади и глубине необходимо принимать экстренные меры по их устранению сразу после обнаружения (рис. 6.8, рис. 6.9 на вклейке).

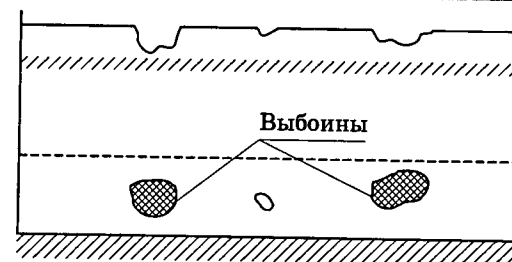


Рис. 6.8. Выбоины

6.2.3. Заплаты

Заплаты — участок, на котором исходное дорожное покрытие было удалено и заменено сходным или другим материалом. Измеряются в квадратных метрах. Являются результатом ямочного ремонта, при некачественном выполнении которого заплаты ухудшают ровность за счет разности в уровнях поверхности покрытия и заплат. Заплаты также влияют на коэффициент яркости покрытия (рис. 6.10, рис. 6.11 на вклейке).

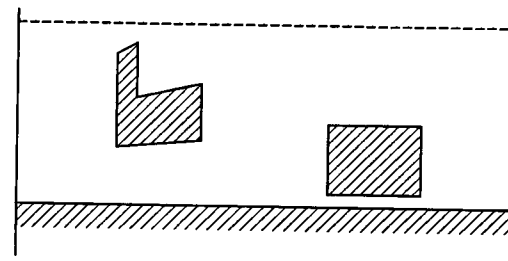


Рис. 6.10. Заплаты

6.2.4. Колейность

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. 6.12). Образуется колейность при значительных (пре-

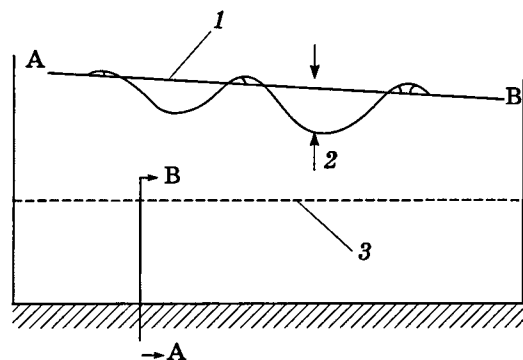


Рис. 6.12. Поперечный профиль покрытия с образовавшейся колеей: 1 — первоначальный профиль покрытия; 2 — глубина колеи; 3 — ось дороги

дельных) 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 автомобилей, ухудшает водоотвод с покрытия и повышает опасность дорожного движения. При диагностике автомобильных дорог колеиность различают по глубине: до 15 мм (рис. 6.13 на вклейке), от 15 до 30 мм (рис. 6.14 на вклейке), свыше 30 мм (рис. 6.15 на вклейке) — и измеряют в погонных метрах.

Измеряют колеи ручным и инструментальным способом. При ручном способе на гребни колеи в полосе наката укладывают рейку с рекомендуемой длиной 2 м. Глубиной колеи считается максимальный просвет под рейкой, измеренный в миллиметрах. Колею измеряют по каждой полосе движения отдельно в прямом и обратном направлении. Основным инструментальный способ — измерение колеи лазерным профилографом (см. рис. 2.25). При использовании профилографа глубину колеи рассчитывают при помощи программного обеспечения, входящего в состав оборудования. Допускается применение другого оборудования, в том числе ультразвукового. В этом случае результаты следует привести к измеренным с помощью рейки.

6.2.5. Выкрашивание и шелушение

Выкрашивание — разрушение дорожного покрытия в результате потери им отдельных зерен минерального материала — гравийного, щебеночного (на покрытиях переходного типа) или за счет потери связи между зернами материала на усовершенствованных покрытиях облегченного типа, а также на капитальных покрытиях нежесткого типа при плохом сцеплении (адгезии) зерен щебня с битумом или плохом перемешивании смеси, при использовании в покрытии некачественных материалов или при укладке материала в дождливую либо холодную погоду, при недоуплотнении покрытия. При диагностике дорог измеряется в квадратных метрах.

Шелушение — разрушение поверхности покрытия за счет отделения наружных тонких пленок материала, вызванного воздействием воды и низкой температуры (рис. 6.16 на вклейке). Особенно интенсивно происходит при частом замерзании и оттаивании покрытия, 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.

6.2.6. Разрушение кромок

Разрушение кромок — разрушение краев покрытия в виде сетки трещин или откалывания его материала (рис. 6.17 на вклейке). Кромки могут обламываться при переезде через них колес тяжелых автомобилей, при ударах колес на стыках цементобетонных плит, а также при недостаточной прочности дорожной одежды в прикромочной зоне. Для предохранения кромок покрытия от повреждения в местах сопряжения их

с обочинами устанавливают бордюры, устраивают краевые полосы, укрепляют обочины, швы между плитами заделывают мастикой.

При диагностике автомобильных дорог разрушение кромок измеряется в погонных метрах.

6.3. Дефекты цементобетонного покрытия

Дефекты цементобетонного покрытия, как и дефекты асфальтобетонных покрытий, бывают различных видов в зависимости от их характера, местоположения и размеров.

На практике деформации и разрушения цементобетонных покрытий проявляются в виде шелушения с равномерным разрушением на глубину до 10...30 мм верхнего слоя покрытия, откалывания кромок в зоне температурных швов и краевых полос, образования трещин на поверхности и в общей массе дорожного покрытия, появления отдельных выбоин, раковин и др.

6.3.1. 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 произвольные очертание и расположение. Причины их появления разные. Сквозные 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 в плите штырей приводят к образованию сквозных трещин, расположенных

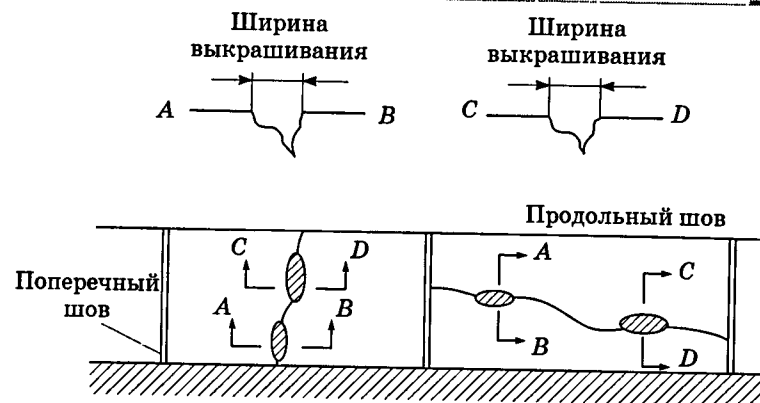


Рис. 6.18. Продольные и поперечные трещины

параллельно поперечным швам на расстоянии около 25 см от них. При диагностике дорог устанавливается общая длина трещин в погонных метрах (рис. 6.18), для частых трещин определяется площадь участка с дефектом в квадратных метрах.

6.3.2. Незаполненные швы

Незаполненные швы — швы, не заполненные мастикой.

В отличие от всех остальных дефектов незаполненные швы на цементобетонном покрытии вызваны низким качеством работ по содержанию покрытий. При измерении дефектов данного вида записывается общая длина незаполненного шва в погонных метрах (рис. 6.19 на вклейке).

6.3.3. Повреждение кромок швов

Повреждение кромок швов — сколы и выкрашивание бетонных плит размером до 10 см от шва.

Измеряется общая длина дефекта в погонных метрах (рис. 6.20, рис. 6.21 на вклейке).

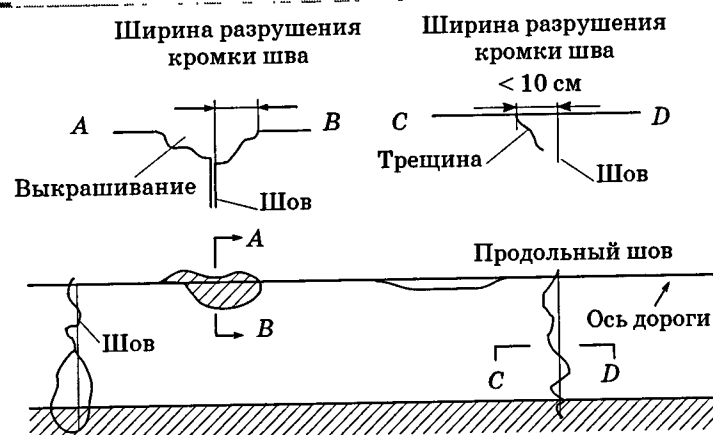


Рис. 6.20. Повреждение кромок швов

6.3.4. Заплаты

Заплаты — часть плиты или вся плита, которая была удалена и заменена или на которую был нанесен дополнительный материал после первоначального строительства. При диагностике измеряется площадь заплат в квадратных метрах (рис. 6.22).

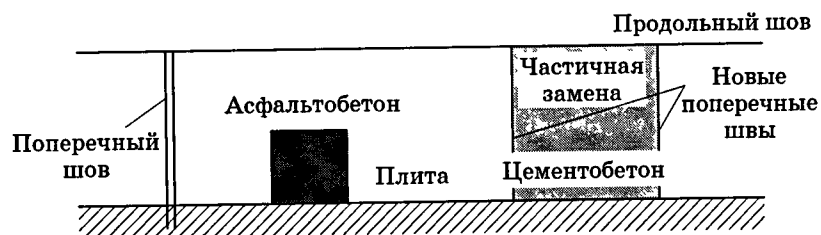


Рис. 6.22. Заплаты

6.3.5. Смещение по высоте смежных элементов

Смещение по высоте смежных элементов — разность по высоте между обеими сторонами шва или трещины. При диагностике записывается число вертикальных смещений плит (рис. 6.23).

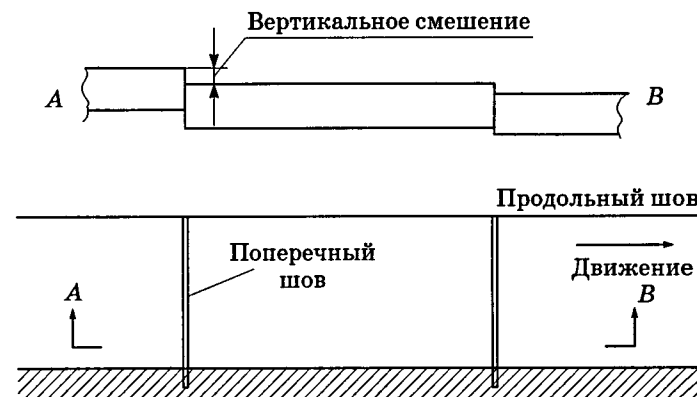


Рис. 6.23. Смещение по высоте смежных элементов

6.3.6. Разрушение плит

Разрушение плит — потеря целостности плит с образованием отдельных их участков и наличием сколов, выбоин, трещин, отсутствие единой поверхности. Записывается площадь дефектной поверхности в квадратных метрах (рис. 6.24, рис. 6.25 на вклейке).

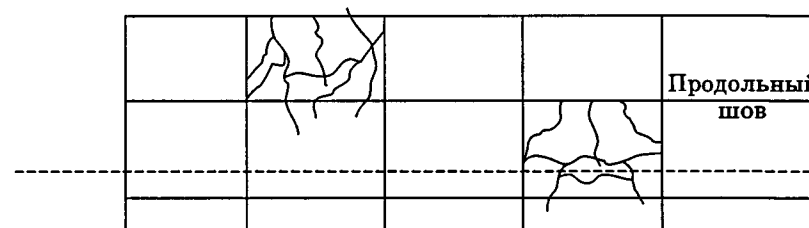


Рис. 6.24. Разрушение плит

6.3.7. Выкрашивание поверхностной обработки

Выкрашивание поверхностной обработки — участки с поверхностной обработкой, на которых наблюдается потеря щебня. Записывается площадь повреждения в квадратных метрах (рис. 6.26 на вклейке).

6.3.8. Шелушение

Шелушение — разрушение поверхности покрытия за счет отделения наружных тонких пленок материала, вызванное воздействием воды и мороза.

Интенсивность шелушения зависит от качества материалов. Пористые и слабые материалы более чувствительны к колебаниям температуры и чаще подвержены шелушению. Особенно заметно шелушение на цементобетонных покрытиях из некачественного пористого бетона в первые годы их эксплуатации. К шелушению приводит нарушение технологии приготовления и укладки бетонной смеси и неудовлетворительный уход за свежесуложенным бетоном. При шелушении цементобетонных покрытий вначале разрушается цементный камень, а затем выкрашивается мелкий материал и крупный заполнитель. Решающую роль при этом играет коррозия цементобетона. Следует различать физическую, физико-химическую и химическую коррозии.

Физическая коррозия — разрушение из-за кристаллизации солей, наличия в грунте более 1 % водорастворимых солей (особенно Na_2SO_4 , Mg_2SO_4 и др.) или высокого уровня грунтовых вод с минерализацией не менее 3000 мг/л. Физическая коррозия может происходить и в результате водной сорбции. При неблагоприятных температуре и влажности в порах бетона такие соли, как Na_2SO_4 и др., из безводных или мало-водных форм могут переходить в соединения с большим количеством молекул воды ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Такой переход сопровождается увеличением объема твердой фазы в 1,5–3 раза и возникновением значительных напряжений в теле бетона, вызывающих большие деформации.

Физико-химическая коррозия происходит из-за выщелачивания или осмотических явлений. Коррозия выщелачивания обуславливается тем, что все составляющие цементного камня, в первую очередь гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$, растворяются в воде. Растворимость гидросиликатов типа $\text{CSH}(\text{B})$, $\text{C}_2\text{IH}_2(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, гидроалюминатов $\text{C}_4\text{AH}_{13}(4\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O})$, $\text{C}_4\text{AH}_{12}(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, C_4AH_6

($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и других значительно меньшая. Поэтому под воздействием воды на бетон вначале растворяется и уносится водой гидрат окиси кальция, что сопровождается нарушением структуры, уменьшением прочности бетона. После вымывания свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, снижения его концентрации в фильтрующейся через бетон воде до 1100 мг/л начинается разложение $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ с выделением гидрата окиси кальция. При концентрации CaO менее 1080 мг/л начинается гидролиз соединения $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$. При дальнейшем уменьшении концентрации CaO в поровой жидкости (до 560 мг/л) и завершении гидролиза вышеуказанных соединений наблюдается разложение C_4AH_{12} , C_4AH_6 и переход их в C_2AH_8 , который в свою очередь гидролизуются при концентрациях CaO ниже 360 мг/л.

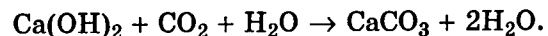
Примерно такие же процессы последовательного разложения претерпевают и гидроферриты кальция разной основности ($\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $4\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$). Наиболее устойчивы гидросиликаты кальция типа $\text{CSH}(\text{B})$, разложение которых наблюдается только при концентрации CaO в растворе менее 60...80 мг/л.

В.М. Москвин выделил три основных вида физико-химической коррозии бетона:

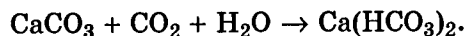
- 1) выщелачивание растворимых компонентов бетона;
- 2) образование растворимых соединений или продуктов, не обладающих вяжущими свойствами, в результате обменных реакций между компонентами цементного камня и жидкой агрессивной средой;
- 3) коррозию, характеризующую образованием и накоплением в бетоне малорастворимых солей, которые увеличиваются в объеме при переходе в твердую фазу (эти три вида коррозионного разрушения бетона официально признаны в действующих нормативных документах).

К **химической коррозии** относится разрушение бетона и железобетона кислотами, щелочами, растворами солей, различными органическими соединениями, а также всеми агрессивными газами.

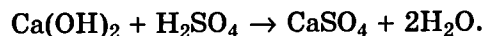
Наиболее часто наблюдается коррозия бетона под действием углекислых вод, так как углекислота присутствует во многих природных водах. Вначале идет реакция между Ca(OH)_2 цементного камня и углекислотой с образованием малорастворимого в воде карбоната кальция по схеме



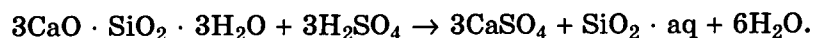
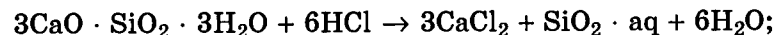
Дальнейшее действие углекислоты на бетон приводит к образованию более растворимого бикарбоната по реакции



Соляная и серная кислоты вступают в реакцию с гидроксидом кальция и образуют легкорастворимые соли в виде хлористого кальция CaCl и сернокислого кальция CaSO_4 .

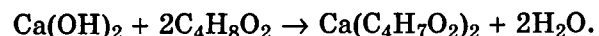
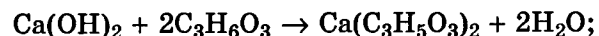
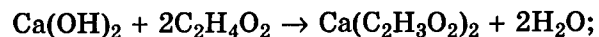


Реакции указанных кислот с основным гидросиликатом цементного камня $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ протекают по схеме:



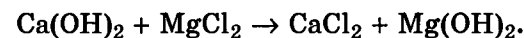
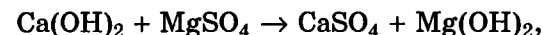
Аналогично действуют на бетон азотная и другие неорганические кислоты.

Из органических кислот активно влияют на цементные бетоны уксусная, молочная и масляная. При взаимодействии их с гидратом окиси кальция образуются ацетат кальция $\text{Ca(C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$, лактат молочнокислого кальция $\text{Ca(C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2$ и бутират кальция $\text{Ca(C}_4\text{H}_7\text{O}_2)_2$ по реакции:

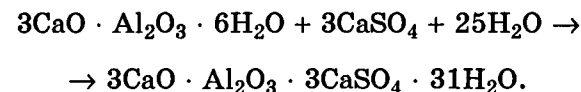


Специфически влияют на бетонные конструкции растворы магниевых солей. В сточных и грунтовых водах эти

соли присутствуют, как правило, в виде сульфата и хлорида магния:

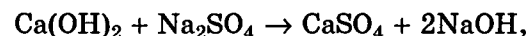


Часто в природных и производственных водах присутствуют сульфаты в виде солей CaSO_4 и Na_2SO_4 . Сульфат кальция (CaSO_4) взаимодействует с высокоосновным алюминатом кальция:



Образование малорастворимой трехсульфатной формы гидросульфалюмината кальция (этtringита) из твердого C_3AH_6 и растворенного в воде CaSO_4 сопровождается увеличением твердой фазы (по сравнению C_3AH_6) примерно в 4,5 раза. Это вызывает возникновение силовых напряжений в цементном камне, приводящих к нарушению его структуры и разрушению.

Сульфат натрия Na_2SO_4 вначале реагирует с Ca(OH)_2 по схеме



в последующем идет образование этtringита из CaSO_4 и алюмината кальция.

При этом следует отметить, что этtringит образуется только при наличии четырех- или трехкальциевого алюмината, устойчивого при концентрациях гидрата окиси кальция в окружающей поровой жидкости соответственно ниже 1080 и 560 мг/л (в пересчете на CaO).

Существует также классификация коррозии бетона по В.А. Кинду, по которой выделяют коррозию выщелачивания, общекислотную, углекислотную, сульфатную, магниевую.

Кроме коррозии, на разрушение цементобетонных покрытий влияет ряд других факторов, к которым можно отнести:

□ низкую механическую прочность бетона на истирание и знакопеременные нагрузки;

- повышенную пористость, особенно в верхней части покрытий;
- несоответствующее условиям работы количество условно замкнутых (резервных) воздушных включений;
- недостаточную коррозионную стойкость компонентов цементного камня и заполнителя.

При диагностике дорог шелушение измеряется в квадратных метрах площади дефектного участка.

6.4. Дефекты земляного полотна

Земляное полотно — это комплекс основных и вспомогательных дорожных сооружений, непосредственно и косвенно связанных с движением автомобильного транспорта и служащих для размещения дорожной одежды, сооружений системы дорожного водоотвода, инженерных сооружений (акведуков, виадук, галерея, тоннели и др.), обстановки пути, снегозащитных сооружений и других элементов автомобильных дорог.

Основными дефектами земляного полотна можно считать:

- *осадки 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 откоса насыпи — при уменьшении ширины обочины более 20 см; выемки — 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;

- *недостаточную несущую способность обочин* — продавливание покрытия обочин из грунта (гравия) при наезде колеса автомобиля;
- *разрушение на стыке с цементобетонным покрытием* — в зоне сопряжения с покрытием сетка трещин в полосе шириной до 0,2 м от кромки;
- *отсутствие кюветов, разрушение кюветов* — отсутствие кюветов и недостаточная их глубина в выемках, низких насыпях и нулевых местах;
- *разрушение водоотводных сооружений* — разрушение и размывы лотков, быстроток, водобойных колодцев.

6.5. 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:

- *смещение звеньев относительно друг друга на толщину стенки звена и более;*
- *расхождение звеньев с просыпкой грунта тела насыпи внутрь трубы;*
- *разрушение звеньев, требующее их замены;*
- *разрушение звеньев или оголовка, нарушающее сток воды.*

Для прямоугольных труб в оценку включаются трубы сечением более 0,50 м × 1,50 м.

В некоторых случаях ошибки проектирования, а также дефекты содержания могут привести к разрушению не только самой трубы, но и участка земляного полотна (рис. 6.27 на вклейке).

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.

6.6. Отказы

Отказом называется событие, при котором нарушается работоспособное состояние объекта вследствие недопустимого изменения его параметров или свойств под влиянием внутренних физико-химических процессов или внешних механических, климатических или иных воздействий. Критерии отказа зависят от особенностей и характера рассматриваемого объекта. Однако во всех случаях под критерием отказа можно понимать признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической (проектной) документации.

Причинами отказа бывают явления, процессы, события и состояния, вызвавшие его возникновение. Последствия отказа могут быть самыми различными 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 его последствия.

Для определения отказов используются следующие термины (рис. 6.28):

□ **критический отказ** — отказ, тяжесть последствий которого признана недопустимой и требует принятия специальных мер по снижению вероятности данного отказа и возможного ущерба, связанного с его возникновением;

□ **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 нескольких параметров;

□ **постепенный отказ** — отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта;

□ **промежающийся отказ** — многократно возникающий и 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 или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики;

□ **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 уста-

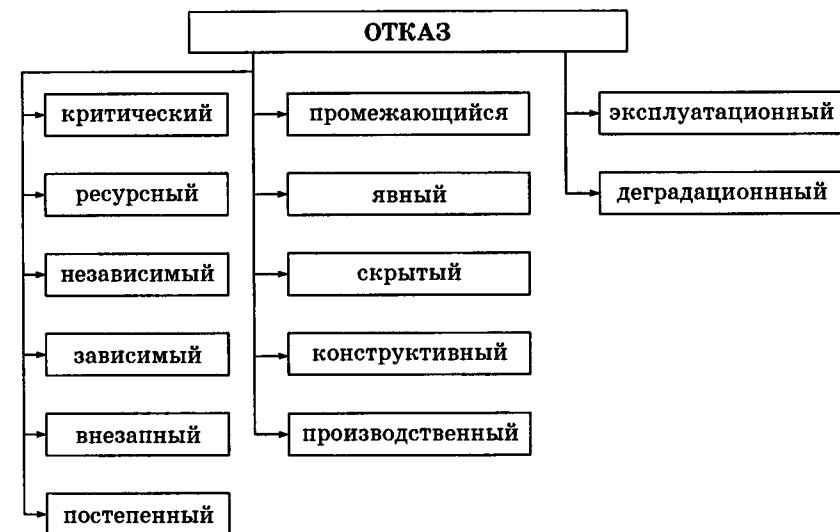


Рис. 6.28. Классификация отказов

лости при соблюдении всех установленных правил и норм проектирования, строительства и эксплуатации.

Отказы автомобильных дорог и отдельных их сооружений имеют решающее значение при определении надежности и долговечности. Специфика же эксплуатации дорог требует особого подхода как в установлении отказов, так и в определении надежности. В этом направлении необходимо продолжить исследования.

Оценка дефектности покрытий

6.7. при диагностике дорог

Визуальное обследование автомобильной дороги — один из важнейших этапов оценки ее состояния. Основной целью такого обследования служит выявление дефектов различных конструктивных элементов дороги.

6.7.1. Методы оценки дефектности покрытий

Визуальное обследование является в настоящее время наиболее доступным методом оценки состояния дороги благодаря простоте материальной базы, отсутствию необходимости в длительной подготовке оператора. Это позволяет применять визуальное обследование в любой дорожной организации.

В настоящее время такое обследование выполняется в отрасли при диагностике и осмотрах автомобильных дорог.

При *диагностике дорог* визуальное обследование включает детальный осмотр покрытия с оценкой и определением объемов выявленных дефектов и их километровой привязкой, указанием геометрических и технологических особенностей обследуемого участка, а также предварительный осмотр инженерных сооружений (мосты, путепроводы, трубы и т.д.) и составление отчетной документации в соответствии с действующими нормативными документами. Наблюдение проводится из автомобиля, двигающегося с небольшой скоростью (15...40 км/ч) или в процессе прохождения обследуемого участка исследовательской группой со средней скоростью 3...5 км/ч.

При *осмотрах дорог*, кроме состояния покрытия, оцениваются и другие элементы дороги: земляное полотно, полоса отвода и др. Осмотр проводится из движущегося автомобиля. Скорость движения выше, чем при диагностике дорог. Километровая привязка отдельных дефектов не производится.

Визуальное обследование и осмотры с использованием существующего оборудования имеют следующие сложности и недостатки, возникающие в процессе сбора и обработки данных:

- большое количество обрабатываемых оператором данных, ведущее к быстрому утомлению, что отрицательно сказывается на производительности работы, а также на полноте и точности представляемых данных;

- недостаточная точность визуальной регистрации дефектов, не позволяющая сопоставить данные старых и новых обследований и принять обоснованные инженерные решения по ремонтным мероприятиям.

Вследствие этого результаты визуального обследования рассматриваются как ориентировочные, имеющие вспомогательный характер. При этом существующие методы работ, в которых объемы отдельных дефектов определяются человеком визуально, не позволяют добиться значительного повышения качества сбора данных.

Единственным способом повышения достоверности данных является перевод таких работ из категории визуального обследования в разряд инструментального обследования.

Разработанные в последние годы средства автоматизации сбора данных о дефектах автомобильной дороги позволяют повысить качество и достоверность информации.

Все методы автоматизации можно разделить на три основные группы (рис. 6.29).

6.7.2. Установки для определения дефектности покрытий

Лаборатория на базе автомобиля «Газель» (РУП «Белдорцентр», Республика Беларусь). Методика визуального обследования автомобильных дорог, предложенная РУП «Белдор-



Рис. 6.29. Схема процесса регистрации дефектов и их дальнейшей обработки

центр», представляет собой отработанную систему обследования, сбора, анализа информации о дефектах и параметрах покрытия, земляного полотна, о местоположении пересечений и примыканий на дороге, ее обустройстве, а также о расположении и состоянии инженерных сооружений.

Сбор данных выполняется исследовательской группой из двух человек из автомобиля «Газель»,двигающегося со скоростью, позволяющей оценить состояние исследуемого участка, как правило, 15...40 км/ч. Информация о состоянии асфальтобетонного и цементобетонного покрытия заносится в персональный компьютер типа ноутбук, подключенный к датчику пути посредством кодированного сообщения с клавиатуры. Вид дефекта и его объем определяет инженер и сообщает эту информацию оператору, который вводит ее в компьютер.

Каждый дефект привязывается к километражу дороги с учетом точности местоположения километровых столбов. На автомобильных дорогах I категории обследование проводится по каждому направлению отдельно. Дополнительно фиксируются участки с большим количеством дефектов на покрытии, значительным разрушением несущих слоев, образованием колеи 15...30 мм и более 30 мм. Программное обеспечение построено таким образом, что после ввода кода дефекта, его объема и нажатия клавиши «Ввод» автоматически записывается местоположение дефекта, которое считывается с датчика пути.

Данные о земляном полотне, ширине проезжей части, состоянии обочин, обустройстве и разметке на обследуемом участке заносятся в карту обследования.

Информация о местоположении и состоянии инженерных сооружений на дороге заносится в ведомость дефектов инженерных сооружений. Предварительно уточняются технические характеристики мостов и путепроводов, а также их местоположение. Для дальнейшей оценки состояния, выявления причин и прогнозирования возможных нарушений функционирования дороги полученная информация заносится в автоматизированный банк данных. Поскольку данные о дефектах уже записаны в электронном виде, процесс занесения их в банк данных автоматизирован. Существенным неудобством метода является использование компьютера типа ноутбук, который плохо приспособлен к работе в движущемся автомобиле и подвергается ускоренному износу.

В процессе обработки результатов по каждому виду дефектов подсчитывают суммарный объем и определяют дефектность покрытия с учетом коэффициентов весомости каждого дефекта.

Величина дефектности покрытия (ДП) определяется по формуле

$$ДП = \frac{\sum S_i \cdot K_{\text{вес}}}{S_{\text{общ}}} \cdot 100 \%, \quad (6.5)$$

где S_i — площадь дефектов покрытия на участке дороги, м^2 ; $K_{\text{вес}}$ — коэффициент весомости отдельных дефектов для ас-

фальтобетонных покрытий; $S_{\text{общ}}$ — общая площадь покрытия на участке, м^2 .

Если значение ДП выше 100 %, то оно принимается равным 100 %.

Коэффициент весомости ($K_{\text{вес}}$) для асфальтобетонных покрытий дефекта «трещины» принят за единицу. По отношению к трещинам весомость остальных дефектов принимается равной: частые трещины — 1,0; сетка трещин — 1,2; выбоины — 1,0; колея до 1,5 см — 1,0; колея 1,5...3,0 см — 1,3; колея более 3,0 см — 1,6; заплаты — 0,6; выкрашивание — 0,3; разрушение кромок — 0,1.

Система визуальной оценки покрытия дороги (SOWA-1, Республика Польша). Оценка дефектов поверхности покрытия этим методом в Польше выполняется только для нужд содержания сети загородных дорог с использованием визуальных методов, утвержденных директивой SOSN (система оценки состояния покрытия). Параметрами оценки покрытия являются показатель трещин n и показатель состояния покрытия p . Сеть дорог республики разделена на множество отрезков длиной 0,5...3,0 км. В пределах отрезка оцениваются дефекты на так называемой «эталонной стометровке» и на этом основании определяется состояние всего отрезка. Данная оценка является приблизительной. Такой способ визуального осмотра имеет несколько недостатков:

- выполнять измерения на дороге небезопасно, в отличие от наблюдения из автомобиля;

- существует высокая вероятность необъективного выбора «эталонной стометровки» и, как следствие, ошибочной оценки выбранного отрезка;

- оценка выбранного эталонного отрезка не отражает действительного состояния покрытия на другом километре этого отрезка в сравнении с измеренным.

В 1997–1998 гг. в Польше для оценки состояния асфальтобетонных покрытий была опробована новая система SOWA (система визуальной оценки поверхности). Дефекты покрытия на участке дороги определяются непрерывно при помощи электронно-программного устройства. В настоящее время

для нужд дорожной отрасли в Польше используется более 20 устройств SOWA-1.

Система SOWA-1 включает следующие элементы:

- счетчик пути, установленный в автомобиле. Во время выполнения измерений сигналы со счетчика подаются в регистратор. Пройденный путь измеряется с точностью до 1 м;

- электрический регистратор, служащий для записи событий, т.е. дефектов покрытия и характерных пунктов, обнаруженных на отрезке измерения;

- интегрированный пакет программ для передачи данных с регистратора на персональный компьютер и их дальнейшей обработки.

Регистрации подлежат события, которые включают в себя дефекты покрытия и характерные точки на участке дороги. Информация о таких пунктах необходима только для связывания измерительных файлов с расположением дороги на этапе обработки данных. Электронный регистратор находится в специальном пульте, служащем для записи дефектов покрытия (рис. 6.30, цветной вариант см. на вклейке). Объем памяти регистратора составляет 512 килобайт, что позволяет регистрировать 48 360 событий без необходимости сброса данных, при максимальном числе измерительных файлов 256. Допустима возможность учета во время движения оценки поверхности крайне разрушенных участков общей протяженностью около 250 км. Поскольку обследованию подлежат покрытия разных технических категорий и с разным состоянием, практическая длина таких отрезков может быть значительно больше.

Клавиатура регистратора содержит следующие клавиши:

- *Ввод данных при учете дефектов:*

нумерация значений клавиш установлена в соответствии с описанием данных сверху, с левой стороны кнопки.

- *Регистрация дефектов покрытия:*

S — сетка трещин;

Rp — одиночная поперечная трещина;

L — заплаты;

U — выкрашивание, шелушение;

Pd — одиночная продольная трещина;

W — выбоины.

□ **Степень дефектности покрытия:**

- небольшая ($\leq 50\%$ ширины полосы движения) — клавиша с желтой окантовкой (см. рис. 6.30 на вклейке);
- значительная ($\geq 50\%$ ширины полосы движения) — клавиша с красной окантовкой (см. рис. 6.30 на вклейке).

□ **Степень тяжести дефекта:**

- небольшая — клавиша с буквой М, расположенной с правой стороны, вверх;
- значительная — клавиша с буквой D, расположенной с правой стороны, вверх.

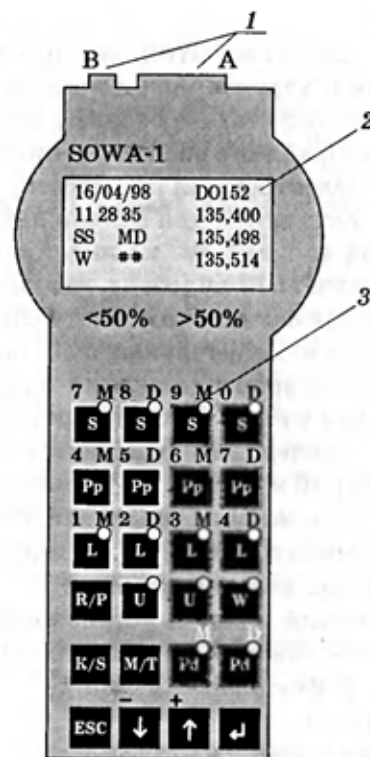


Рис. 6.30. Регистратор дефектов покрытия:

1 — подключение прибора (А — счетчик пути; В — питание 12 В); 2 — отображение информации во время работы прибора; 3 — светодиод, установленный на клавишах, регистрирующих линейные дефекты

□ **Регистрация характерных точек:**

- R — пункты учета;
 - P — пропуск;
 - K — километровый знак;
 - S — перекресток;
 - M — мост;
 - T — железнодорожный переезд;
- **Операционные клавиши:**
- ESC — выход;
 - ↑↓ — передвижение;
 - ↵ — подтверждение.

Практическая скорость передвижения лаборатории при визуальном наблюдении изменяется в интервале 0...40 км/ч и зависит от технических возможностей, степени, в которой специалист владеет регистратором во время учета дефектов, а также от степени дефектности покрытия. Для переноса и обработки данных служит компьютерная программа. Результат учета дефектов, а также показатели оценки состояния покрытия представляются в форме отчетов. Очень удобна форма графических отчетов местонахождения дефектов.

Состав дефектов, подлежащих учету, аналогичен обязательному списку дефектов в составе методики SOSN. Аналогично также и описание этих дефектов.

Для удобства учета в системе SOWA-1 дефекты разделены на две группы: линейные и точечные.

К группе линейных относятся дефекты, измерение которых возможно в продольном направлении (параллельно оси движения). Дефекты, не относящиеся к такому виду измерения, принадлежат к группе точечных. Во время учета расположение линейного дефекта описывается координатами начала и окончания дефекта, а точечного — единственной координатой.

Линейный дефект, расположенный в поперечном направлении (перпендикулярно оси движения), характеризуется в системе SOWA параметром «объем». Дефект относится к «малообъемному», если при измерении в поперечном направлении его размер не больше половины ширины полосы движения. В противном случае он будет «многообъемным».

Благодаря этому объем дефектов типа сетки трещин, заплат, а также выкрашивание и шелушение в процессе обработки данных представляют собой площадь покрытия. Одиночные поперечные трещины по отношению к продольным регистрируются как пункт и измеряются линейно. Дефекты типа выбоины также регистрируются как пункт.

В системе SOWA-1 некоторые дефекты характеризуются параметром «тяжесть». Выделено две степени «тяжести»: значительная и небольшая. Дефектам типа выкрашивание и шелушение, а также выбоинам не приписывается параметр «тяжесть». Оценка разницы в степени тяжести выкрашивания значительно затруднена при ручном способе обследования, тем более трудно дать такую оценку при измерении из автомобиля. Отдельные выбоины свидетельствуют о начавшейся местной деградации конструкции покрытия.

В табл. 6.3 приведена информация о правилах учета дефектов покрытия в системе SOWA-1.

Таблица 6.3

Дефекты покрытия, подлежащие учету в системе SOWA-1

Дефект	Клавиша	Параметр	
		объемность	тяжесть
Линейный:			
сетка трещин	S	+	+
продольные одиночные трещины	Pd	—	+
заплаты	L	+	+
выкрашивание	U	+	—
Поперечный:			
поперечные одиночные трещины	Pr	+	+
выбоины	W	—	—

После выполнения визуального обследования данные для дальнейшей обработки заносятся в компьютер. Первое действие программы — связывание местоположения дефекта с пикетажем дороги, или, иначе говоря, привязывание измерен-

ных файлов к местоположению дороги. Эти действия важно проводить при обработке результатов других измерений, например, таких, как автоматизированное измерение колеи или продольной ровности. На следующем этапе выполняется автоматизированное определение показателей n и p для каждого 100 м обследованного покрытия.

В системе SOWA-1 анализ зарегистрированных данных проходит в двух фазах: фаза 1 — анализ объемов дефектов; фаза 2 — анализ оценки пунктов для приведения дефектов, а также классифицирующих показателей к виду показателя трещин n и показателя состояния покрытия p . Входными данными для этих расчетов являются внесенные ранее объемы дефектов с учетом их степени тяжести.

В процессе определения объемов учитывается собственная иерархия дефектов, основанная на так называемых преобладающих дефектах. Это касается случаев, когда на одном и том же образце покрытия зарегистрировано одновременно несколько однотипных дефектов.

В процессе подсчета пунктов для отдельных видов дефектов с учетом их степени тяжести, а также установления значимости показателей n и p используется модифицированный алгоритм, применяемый в системе SOSN.

Таким образом, особенностью визуального обследования в Польше является отказ от точной регистрации объемов дефектов.

Недостатками метода являются:

□ незначительное количество определяемых дефектов, ограничивающихся покрытием. При этом расширить перечень дефектов, в особенности за счет дефектов других конструктивных элементов, а не только покрытия, проблематично;

□ крайняя сложность сравнения данных разных лет.

При такой системе сбора данных устройство SOWA-1 полностью решает проблему автоматизации. При этом нет необходимости использования компьютеров типа ноутбук.

Прибор «Куратор» (СГУПС, Российская Федерация) (табл. 6.4). Прибор, разработанный Сибирским государственным университетом путей сообщения, предназначен для

оперативного сбора информации при визуальных осмотрах, а также для использования при выполнении паспортизации, контроля качества и проектировании автомобильных дорог.

Таблица 6.4
Основные характеристики прибора «Куратор»

Характеристика	Значение
Среднеквадратическая погрешность измерения расстояния, %	0,1
Диапазон измерения, м	9999,9
Количество кодируемых объектов	99
Потребляемая мощность, Вт	6
Напряжение питания, В	12
Масса контроллера, г	100
Масса датчика пути, г	50

Прибор состоит из двух устройств, включающих в себя датчик пути и контроллер, содержащий микропроцессор, блок питания, индикатор и клавиатуру (рис. 6.31). Его установка не вызывает сложностей и может быть проведена на любом типе автомобиля. Принцип действия основан на схеме счисления пути и указании дефектов с их дальнейшей привязкой к пикетажу дороги. Прибор может работать в комплексе с видеокамерой и спутниковым приемником.



Рис. 6.31. Прибор «Куратор» для визуального обследования состояния автомобильной дороги

Прибор объединяет в себе характерные особенности методов, применяемых в Беларуси и Польше. С одной стороны, это учет дефектов и привязка их к километражу, как в Беларуси, с другой — использование специального регистрирующего устройства, как в Польше. Однако при этом имеют место и недостатки, присущие каждому из методов.

Лаборатория Videoroute (Франция). Во Франции успешно применяют системы Videoroute, использующие видеосъемку для оценки характеристик дорожной одежды так, как их воспринимает водитель (рис. 6.32). Эти системы включают в себя цветную видеокамеру с варифокальным объективом, установленную на крыше автомобиля, и регистрирующее устройство 3/4 U-Matic с числовым блоком для определения местоположения снимаемого видеокамерой участка дороги. Измерения могут проводиться при скорости движения от 40 до 120 км/ч. Благодаря использованию устройства записи, система позволяет создать банк изображений, который может быть дополнен любым другим банком дорожных данных.



Рис. 6.32. Лаборатория Videoroute

Определение объемов дефектов дорожных покрытий производится при камеральной обработке отснятого материала с использованием масштабной сетки. Лабораторию часто используют для инвентаризации дорожной разметки.

Лаборатория VideoCar (Дания). Оборудование VideoCar позволяет перевести фиксацию дефектов покрытия из разряда визуального обследования в разряд инструментальных измерений. Лаборатория производилась совместно двумя датскими фирмами ImageHouse и Greenwood Engineering с 1998 года. В настоящее время сотрудничество фирм в этом направлении прекращено. Лабораторию VideoCar использует дорожная администрация Словакии. Ее применение позволяет реализовать возможность детального обследования дорожного покрытия, а также использовать информацию для других задач, например составления паспортов. Ускоренное визуальное обследование асфальтобетонного покрытия выполняется оператором дорожного банка данных дорожного управления Словакии или служащими других организаций, занимающихся наблюдением за покрытием сети автомобильных дорог.

Основные возможности системы:

- проведение ускоренного визуального наблюдения за состоянием покрытия и систематическая запись результатов с дальнейшим их импортированием в банк данных и оценкой. Система устанавливается в автомобиль VW Caravelle (рис. 6.33);



Рис. 6.33. Лаборатория VideoCar

- использование видеокамеры для цифровой записи изображения, а также вывода изображения на монитор;
- эффективная оценка до 20 000 км дорог в течение ежегодного сезона, составляющего 100 рабочих дней;
- запись характеристик дороги и расчет степени дефектности по 15 видам дефектов;
- сохранение информации в формате, используемом в банке данных сети дорог.

VideoCar представляет собой оборудование для ускоренного визуального наблюдения, видеозаписи и оптико-цифровой записи сообщений.

Основные элементы:

- автомобиль VW Caravelle;
- видеокамера (24 бит, RGB) с разрешением 720×576, позволяющая сохранять цифровое изображение на жесткий диск и выводить полученный видеосигнал на дисплей;
- одометр (или GPS);
- промышленный компьютер;
- монитор;
- устройство для записи компакт-дисков;
- дополнительный цифровой пульт-клавиатура;
- блок питания;
- программное обеспечение для сбора данных.

Измерительные параметры:

- оптико-цифровая запись плотности (шага) — 10...15 м;
- две скорости видеозаписи изображения.

Получаемая информация:

- 15 типов различных дефектов, выявленных на участке дороги;
- непрерывное видеоизображение дороги;
- оптико-цифровая запись изображения.

При выполнении измерений необходимо придерживаться следующих условий:

- покрытие автомобильной дороги должно быть сухим;
- запрещено проводить измерения во время дождя или снега, а также при сильном загрязнении покрытия;
- калибровку одометра необходимо производить при износе шин или при существенном изменении давления в шинах.

Если эти условия выполняются, то измерения можно проводить в течение всего года.

Визуальный осмотр покрытия системой VideoCar проводится для общей диагностики сети дорог в стране, области, районе, а также для быстрого обнаружения участков с недопустимым состоянием покрытия и их дальнейшим обследованием. Дефекты разделяются на семь классов, которые определяются программой следующим образом:

- точечные дефекты: поперечные трещины; выбоины;
- линейные дефекты: продольные трещины; сетка трещин; выкрашивание, шелушение; деформация дорожной одежды; заплаты.

К дефектному покрытию относятся участки, имеющие:

- одиночные и частые трещины шириной 1 м, при этом предполагается в дальнейшем распространение трещин по всему объему дорожной одежды;
- линейные дефекты, которые определяются началом и окончанием. Их длина устанавливается точно, значение ширины полосы движения или всего покрытия определяется дополнительно;

- выбоины, разделяющиеся на маленькие, площадью до 0,5 м², и большие, площадью более 1 м².

Процент дефектности покрытия представляет отношение объема заплат и дефектного покрытия к общей измеренной площади.

В Словакии в качестве критерия состояния покрытия дополнительно используется индекс ухудшения (IPSVcar):

$$\text{IPSVcar} = 5,03 - 0,09(P + O) - 0,855z^2, \quad (6.6)$$

где P — площадь существующего деформированного покрытия, %; O — измеренная площадь дефектов, %; z — продольная неровность, измеренная профилографом, см.

Система программного обеспечения VideoCar может обрабатывать картинки с видеокамеры, а также информацию, получаемую во время движения автомобиля. Информация записывается с указанием местонахождения данных относи-

тельно сети автомобильных дорог. Во время непрерывного движения узловые точки необходимо вводить через клавиатуру. Перед выполнением визуального осмотра следует определить данные, существующие по выбранному объекту. Вся информация по обследуемому участку записывается во время движения на компакт-диск или на магнитный диск для дальнейшей корректировки и обработки. Измеренные объемы записываются в специальные файлы. Программа создает систему файлов данных из отдельных измеренных параметров.

Программа реализует следующие операционные возможности:

- цифровую обработку данных в формате, необходимом для дальнейшей работы системы;
- расчет и обработку данных о дефектах;
- вывод данных.

Обработка данных представляет собой переброску данных из рабочих файлов в файлы формата базы данных, которые формируют информацию, необходимую для результирующих файлов дорожного банка данных. В базу данных записываются файлы, названия которых включают в себя названия измеренных параметров. Программа сортировки формирует однотипные данные по установленным параметрам. Обработка данных VideoCar интегрируется в программной части для дальнейшей обработки.

Рабочая программа и программа обработки данных являются дополнением к пакету программ Poruchyb, являющимся зарегистрированным продуктом VideoCar, который включает в себя программы вычисления, сортировки, формирования данных.

Программа вычисления управляет формированием данных состояния покрытия. Оцениваются участки по 100 м. Для каждого участка рассчитывается индекс ухудшения состояния (IPSVcar) и устанавливается классификация по трехбалльной шкале.

Программа сортировки позволяет работать со всеми параметрами. Сортировка файлов базы данных идентична структуре формирования файлов. Различие файлов состоит только

в перечне параметров, который включает в себя законченную отсортированную секцию соответствующего параметра.

Программа формирования данных позволяет просматривать все используемые файлы, а также файлы, созданные программой. Первичные файлы, файлы обработки, файлы однотипных данных находятся в меню программы.

Лаборатория НПО «Регион» (Россия)*. Компанией «НПО «Регион» разработан программно-аппаратный комплекс сбора и обработки дорожной информации (рис. 6.34). Использование современных технологий (включая цифровое видео и GPS) позволяет вывести на новый уровень практику обследования дорог. В настоящее время видеолaborатория выпускается серийно и используется в Москве, Республиках Татарстан, Марий Эл, Бурятия, а также в Тверской, Кемеровской, Иркутской, Омской, Ростовской областях и Краснодарском крае.



Рис. 6.34. Общий вид дорожной лаборатории НПО «Регион»

* Информация и изображения с сайта компании <http://www.nporegion.ru>

Дорожная лаборатория предназначена для сбора данных о состоянии дороги и прилегающих к ней объектов. В зависимости от комплектации возможна регистрация:

- геометрических характеристик дороги, включая:
 - пройденный путь;
 - положение дороги на плоскости (2D-модель дороги) и в мировой системе координат WGS-84;
 - радиусы кривых и углы поворота в плане;
 - продольные уклоны и радиусы выпуклых и вогнутых кривых;
 - поперечные уклоны;
 - расстояния прямой видимости;
 - абсолютных координат любых объектов в мировой системе координат WGS-84;
 - колеиности и поперечной ровности проезжей части;
 - поперечного сечения полотна дороги;
 - продольной ровности по методу продольного нивелирования (ГОСТ 30412–96) или по Международному индексу ровности (IRI);
 - обустройства дороги;
 - трехмерной цифровой модели поверхности дороги и придорожной полосы.
- Передвижная лаборатория состоит из частей, которые можно объединить в три основных блока (рис. 6.35):
- бортовой компьютер;
 - блок инерциальной системы навигации с модулем сбора информации с датчиков;
 - видеокамеры, датчики и другое измерительно-регистрирующее навесное оборудование (ультразвуковой профилометр, лазерный сканер, георадар).

Работы по автоматизации распознавания дефектов при оценке состояния покрытия автомобильных дорог компанией только ведутся. Результатом будет снижение трудоемкости работ, повышение точности данных, а также исключение фактора субъективности при оценке состояния дорог.

Метод распознавания дефектов основан на совместном анализе характеристик растрового (цифрового) изображения про-

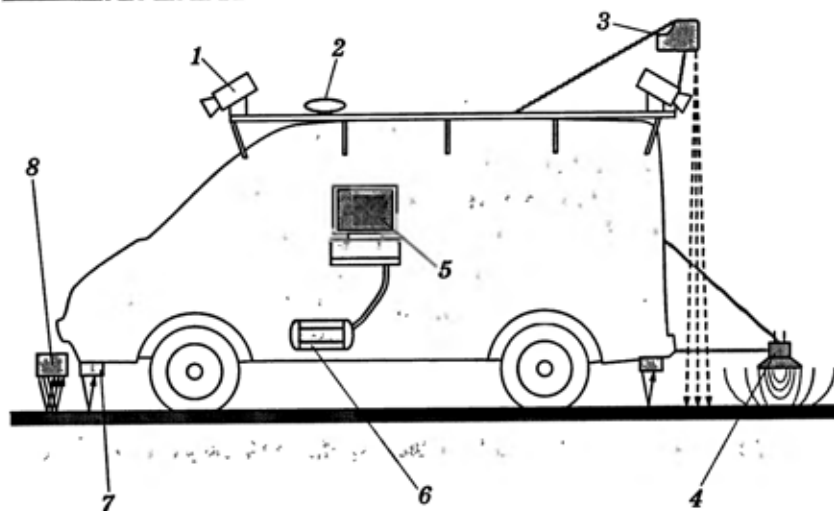


Рис. 6.35. Размещение оборудования лаборатории:
1 — видеокамеры; 2 — GPS; 3 — лазерный сканер; 4 — георадар; 5 — бортовой компьютер; 6 — гироскопы; 7 — ультразвуковые датчики положения; 8 — ультразвуковой регистратор колеи

езжей части и параметров трехмерной модели дороги, описывающей микронеровности поверхности дорожного покрытия. При этом обеспечивается как автоматическое выделение (сегментация) внешних контуров аномалий на дорожном покрытии, так и распознавание вида повреждения с определением его размеров.

Оценка состояния дорожного покрытия проводится для решения следующих задач:

- регистрация характерных повреждений (дефектов) проезжей части с целью адресного планирования работ по ремонту или содержанию дорог. Такая оценка, как правило, проводится в весенний период, после того как поверхность проезжей части освободилась от снега;
- контроль объемов и качества выполненных работ с целью оценки уровня содержания дороги (включая содержание в зимний период);
- расчет объемов выполненных работ по содержанию (ямочный ремонт, обработка трещин и т.п.).

Лаборатория диагностики автодорог КП-514МП ОАО «СНПЦ «Росдортех» (Россия). Передвижная лаборатория КП-514МП оснащена системой видеосъемки (рис. 6.36) и дополнительным рабочим местом оператора для сбора данных об инженерном оборудовании дорог. Видеосъемка покадровая, осуществляется через задаваемый оператором интервал пути по длине дороги. Производителем рекомендуется автоматическая съемка через каждые 20 м.



Рис. 6.36. Передвижная лаборатория КП-514МП с системой видеосъемки

Для съемки используются видеокамера или цифровой фотоаппарат, которые закрепляются в специальном кожухе на кронштейне перед лобовым стеклом лаборатории на фиксируемой высоте. Оптическая ось камеры ориентируется под определенным углом к поверхности покрытия дороги.

Размещение камеры и ее ориентация должны быть такими, чтобы в кадр попадала не только проезжая часть, но и элементы обустройства дороги (дорожные знаки, ограждения, переходно-скоростные полосы), были видны съезды, примыкания других дорог.

Снимаемое видеоизображение дороги оцифровывается, вводится в бортовой компьютер и записывается на магнитооптический диск. Скорость движения при съемке снижается до 20...30 км/ч.

Разработано специальное программное обеспечение, позволяющее по кадрам видеоизображения выполнять линейные измерения, включающие определение ширины проезжей части, полос движения, расстояние до объектов сбоку от дороги, высоту бордюров и ограждений, размещение дорожных знаков, указателей, размеры трещин, площадь дефектов на покрытии дороги (рис. 6.37).

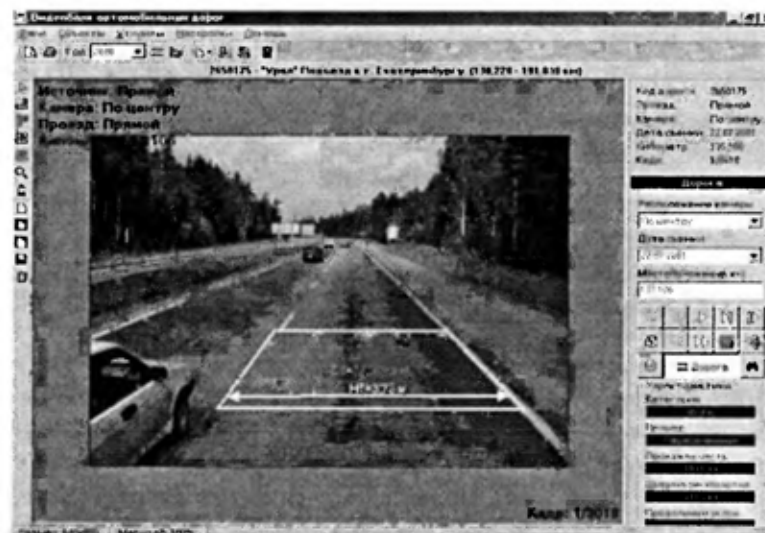


Рис. 6.37. Программа для видеосъемки автомобильных дорог

Существенным недостатком лаборатории при использовании ее для оценки состояния покрытия является дискретность получаемого изображения.

Измерительная лаборатория Argus Sprinter фирмы Schnaiering (Германия) (рис. 6.38). Предназначена для быстрого и точного обследования дороги.

Скорость движения лаборатории при проведении измерений составляет около 100 км/ч, что обеспечивает свободное движение автомобиля и не создает помех для транспорта на дороге. Лаборатория Argus обеспечена 1–3 видеокамерами для регистрации общего состояния дороги и полосы отвода,

а также 3–5 видеокамерами для отображения изменений состояния покрытия. Кроме видеозаписи, лаборатория позволяет определять:

- ☐ поперечную ровность;
- ☐ продольную ровность;
- ☐ колеиность.



Рис. 6.38. Общий вид лаборатории Argus Sprinter

Комплексная съемка покрытия и оценка дороги реализуются при помощи интегральной и масштабируемой видеосистемы. Дефекты отображаются во время движения автомобиля, при этом используется дополнительное освещение покрытия стробоскопическими лампами кратковременного освещения (1/60 000 с). Компьютерная видеосъемка позволяет производить запись в нескольких режимах (непрерывный или съемка через определенный промежуток времени). Изображение записывается в цветном режиме, в цифровом формате. Возможен просмотр изображения с нескольких камер, установленных в разных точках лаборатории. Измерение проводится на скорости до 100 км/ч в зависимости от интенсивности движения на дороге.

Данные по сети дорог записываются в так называемый модуль сети, состоящий из узловых точек, межузловых отрезков и пикетажа. Пикетажное расположение каждого отрезка локально обнуляется в начале узла и заканчивается в конце узла. Видеозапись и измеренные дефекты привязываются к сети дорог через GPS с точностью до 3 м, а также на основе точного измерения расстояния между последовательными пунктами (узлами), отмеченными оператором во время движения лаборатории. Подобная система измерения позволяет однозначно привязывать кадры съемки к конкретному пикетажу.

Измерение таких дефектов покрытия, как трещины, заплаты, выбоины, выкрашивание и шелушение, записывается с трех видеокамер, расположенных в задней части лаборатории. Черно-белое изображение позволяет во время записи информации определить ширину раскрытия трещин более 1 мм. Анализ записанного фильма проводится в лаборатории, оборудованной тремя мониторами, информацию с которых по специальной методике анализируют специалисты.

Дефектность покрытия анализируется в результате просмотра видеозаписи после проведения измерений. При помощи клавиатуры дефекты записываются на магнитные носители с учетом их местоположения по пикетажу. Фирмой Schniering предложено 10 видов дефектов асфальтобетонных покрытий.

Для измерения колеи лаборатория Argus оборудована поперечной балкой, расположенной в передней части автомобиля. На балке установлены 33 лазера, определяющих расстояние между покрытием и балкой. Для учета неточности измерения предусмотрена соответствующая корреляционная система. Точность измерения на 1 м составляет 0,1 мм. Ширина измерительной балки регулируется в пределах от 2,5 до 3,5 м. Для измерения удобства езды (амплитуда и частота колебаний) в лаборатории используется балка с семью лазерами, установленная с правой стороны автомобиля. При компьютерном пересчете значение колеи покрытия приводится к усредненному значению на участках 10...100 м. На основании предварительных результатов вычисляется глубина колеи в последовательных поперечных сечениях, выраженная в миллиметрах.

Степень повреждения покрытия оценивается на основании компьютерного анализа видеоматериала. В результате оценки данных определяется степень дефектности в процентах, а после окончания измерения и обработки — общее состояние каждого участка автомобильной дороги.

Лаборатория линейного сканирования (Дания). Производится датской фирмой Greenwood Engeneering. В лаборатории используется принцип линейного сканирования поверхности, являющийся в настоящее время наиболее точным.

Обычная цифровая видеокамера — это камера с пиксельным отображением в двух измерениях, например 3000×2000 для цифровой камеры класса high end. Такие камеры могут воспринимать одну картинку с частотой до 20 кадров в секунду, где каждый кадр имеет 6 млн пикселей. При их использовании нет возможности контролировать четкость экспозиции и возникает необходимость освещения большой поверхности (3×2 м). При этом все неровности на дороге вызывают прерывистость в кадре, в результате получается новая картинка на каждые 2 м пути.

Принцип линейного сканирования позволяет получить одну длинную картинку всей дороги.

Камера линейного сканирования имеет пиксельное отображение только в одной плоскости, например 1×2048 для камеры с высоким разрешением. Такие камеры в зависимости от конфигурации могут воспринимать картинку размером $(1...2) \times (2...4)$ мм. Разместив камеру таким образом, что короткое направление ориентировано в направлении движения, и контролируя экспозицию для получения новой линейной картинки для каждых 1...2 м пути, можно соединить эти участки для получения одного довольно длинного изображения (например, 100 км длиной на 4 м шириной). Отдельные участки соединяются в одно длинное изображение специальным устройством, установленным в компьютере.

Для работы необходима камера, которая позволяет сканировать участок 15 000...30 000 раз в секунду, чтобы соответствовать скорости транспортного средства.

Искусственное освещение системы линейного сканирования также дает возможность получить более качественное изображение, поскольку при этом можно точно контролировать направление света. В установке применяется импульсное светодиодное освещение (рис. 6.39). Получаемый свет в 10 раз ярче солнечного, что позволяет устранить тени на покрытии.

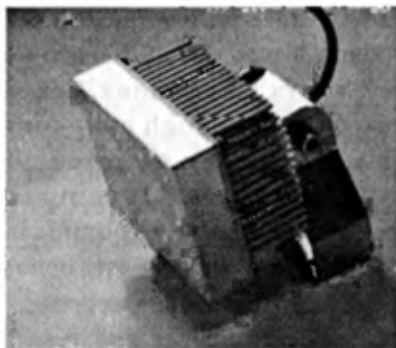


Рис. 6.39. Элемент освещения установки линейного сканирования

После сохранения изображения на компьютере имеется возможность обрабатывать изображение различными способами:

- вручную анализировать изображение и классифицировать дефекты;
- автоматически определять дорожную разметку;
- автоматически устанавливать дефекты поверхности дорожного покрытия.

Камера жестко закреплена в задней части транспортного средства (рис. 6.40), работает совместно с системой освещения и цифровым одометром. Каждая записанная строка изображения шириной 1 или 2 мм добавляется к предыдущим строкам, все вместе они составляют один длинный непрерывный образ.

Лаборатории линейного сканирования в настоящее время используются в Дании, Германии, Беларуси.



Рис. 6.40. Общий вид установки линейного сканирования

Установка ARAN (Канада)*. Канадская компания Fugro-Roadware производит комплексную диагностическую систему ARAN (рис. 6.41), позволяющую среди прочих возможностей оценивать состояние покрытия.

Работа основана на использовании синхронизированной системы двух цифровых видеокамер, расположенных в задней части автомобиля (рис. 6.42). Каждая камера выполняет съемку участка покрытия площадью $1,5 \times 4$ м. Для подсветки снимаемого участка покрытия применяется высокоинтенсивная стробоскопическая система освещения. Изображения, получаемые камерами, частично перекрываются и совмещаются автоматически при помощи программного обеспечения.

* Информация и фотографии с сайта компании <http://www.roadware.com>



Рис. 6.41. Общий вид установки ARAN

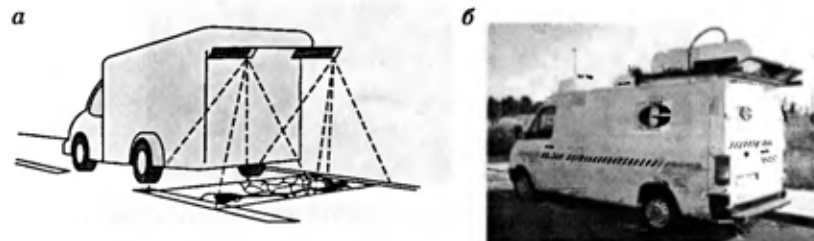


Рис. 6.42. Схема получения изображения в системе ARAN (а) и общий вид камер сбоку (б)

Для оценки состояния покрытия фирмой разработан комплекс компьютерных программ, наиболее интересными из которых являются WiseCrax®, а также D/V-Rate.

Программа WiseCrax® предназначена для обнаружения трещин на дорожном покрытии (рис. 6.43).

Особенностями программы являются:

- полная автоматизация процесса;
- подготовка отчетов о типе трещин, их тяжести, степени и местоположении;
- выявление и анализ трещин шириной раскрытия 1 мм;
- автоматическая подготовка карт трещин на покрытии;
- интерактивный характер работы и открытая архитектура программного обеспечения.

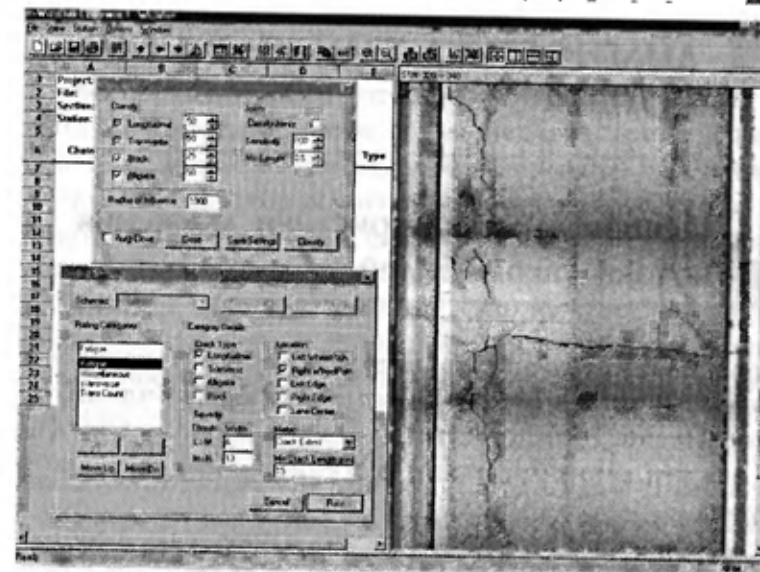


Рис. 6.43. Копия экрана при работе с программой WiseCrax®

Программный комплекс D/V-Rate позволяет оценивать состояние дорожного покрытия в режиме постобработки в офисе на основе анализа полученного видеоизображения. Пользователь имеет возможность просматривать изображение, выделять на экране характерные объекты (дефекты), определять их тип (точка, линия, площадной объект), объем, присваивать наименование. Могут быть отмечены также и другие объекты (мосты, участки ремонта и т.п.).

Основные характеристики движения потока автомобилей

7.1.

потока автомобилей

Транспортные потоки характеризуются: интенсивностью, составом, скоростью, интервалами между автомобилями, плотностью потока. Вследствие взаимодействия автомобилей в потоке все эти характеристики функционально связаны друг с другом.

Для получения надежных данных о пропускной способности должны быть учтены показатели, характеризующие взаимные действия между автомобилями в потоке в различных дорожных условиях.

7.1.1. Пропускная способность

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

Пропускная способность автомобильных дорог 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 одного из этих факторов приводит к существенным колебаниям пропускной способности в течение суток, месяца, сезона и года. При частых помехах на дороге происходят значительные ко-

лебания скорости, приводящие к появлению большого числа автомобилей, движущихся в группах, а также к снижению средней скорости всего потока.

На пропускную способность маршрута в целом существенно влияет время, затрачиваемое на преодоление узких мест отдельных участков дороги. Продолжительность его 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 протяженность 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 нагрузках 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 горизонтальных участков дороги, считая постоянными интервалы между автомобилями и однородным состав транспортного потока (состоящим только из легковых автомобилей). Теоретическая пропускная способность полосы автомобильной магистрали составляет около 2900 легковых авт./ч.

Практическая пропускная способность обеспечивается на дорогах в реальных условиях движения. Различают два вида практической пропускной способности: максимальную $P_{\max}$, наблюдаемую на эталонном участке, и практическую P в конкретных дорожных условиях.

Эталонный участок с максимальной практической пропускной способностью $P_{\max}$ характеризуется следующими дорожными условиями: наличие горизонтальных прямолинейных участков; расстояние между пересечениями более 5 км; наличие не менее двух полос движения; ширина полосы 3,75 м; укрепленные обочины шириной 3 м; расстояние видимости свыше 800 м; сухое покрытие ровное, шероховатое, транспортный поток состоит только из легковых автомобилей; отсутствие на обочинах боковых препятствий, снижающих скорость; благоприятные погодные-климатические условия.

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

Расчетная пропускная способность характеризует экономически целесообразное число автомобилей, которое может пропустить в единицу времени участок 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 обеспечивает на расчетную 20-летнюю перспективу оптимальные параметры работы дороги в специфических погодных-климатических условиях рассматриваемого района проектирования.

Показатель расчетной пропускной способности обосновывают расчетом. При этом принимают во внимание погодные-климатические условия, условия формирования интенсивности движения на дороге, характеристики рельефа местности, интенсивность и состав движения.

Расчетная пропускная способность

$$P_{\text{расч}} = K_p \cdot P_t, \quad (7.1)$$

где K_p — коэффициент перехода от теоретической пропускной способности к расчетной; P_t — теоретическая пропускная способность, легковых авт./ч.

Пропускная способность автомобильных дорог может быть повышена:

- проектированием сочетания элементов плана и продольного профиля, не вызывающих резкого изменения скоростей;
- назначением ширины проезжей части, позволяющей разделить поток автомобилей по составу (дополнительные полосы на подъемах, на пересечениях в одном уровне) и обеспечивающей оптимальную загрузку, при которой движение происходит с достаточно высокими скоростями;
- повышением ровности покрытия и его сцепных качеств;
- реконструкцией пересечений в одном уровне (например, устройство разных типов канализированных пересечений) или устройством пересечений в разных уровнях;
- выбором средств регулирования, обеспечивающих радиальный режим движения;
- снабжением водителей полной информацией об условиях движения по маршруту;
- 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. Повышая пропускную способность, можно добиться и увеличения скоростей с одновременным обеспечением безопасности движения. Это будет способствовать значительному повышению производительности автомобильного транспорта.

7.1.2. Интенсивность движения

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 проводят 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.

Исследования, проведенные в различных странах, показывают, что интенсивность движения изменяется в течение часа, суток, недели, месяца, по сезонам в течение года и по годам. Причем наиболее резкие колебания интенсивности наблюдаются на подходах к городам и населенным пунктам.

В среднем в течение часа интенсивность движения меняется незначительно. Величина этого изменения зависит от суммарной часовой интенсивности. Наиболее значительные колебания наблюдаются в часы пик.

Интенсивность движения в течение суток меняется крайне не равномерно. Характер ее изменения в течение суток зависит от дня недели. Во все дни, кроме субботы и воскресенья, наблюдаются два пика интенсивности движения: утром (8...10 ч) и вечером (17...19 ч). В субботу (утром) и воскресенье (вечером) имеется один пик.

Эти пики интенсивности вызваны тем, что основной объем перевозок, составляющий около 85 % суточного объема, происходит на дорогах за 10...12 дневных часов. Анализ изменения интенсивности движения в течение недели показывает, что наибольшая ее величина приходится на пятницу и составляет около 18 % от суммарной интенсивности за неделю. В летние месяцы около крупных городов интенсивность дви-

жения (с преобладанием легковых автомобилей) наиболее высокая в субботу и воскресенье вечером, а иногда и в понедельник утром.

Существенных колебаний интенсивности движения в течение месяца не отмечается, за исключением некоторого ее увеличения в конце месяца и снижения — в начале.

Наиболее существенные колебания интенсивности наблюдаются по сезонам года, что обусловлено изменением в хозяйственной деятельности, проведением посевных кампаний, сбором урожая, неравномерным использованием личных автомобилей, наличием периода массовых отпусков. Наибольшая интенсивность на всех дорогах отмечается в августе.

При использовании данных, основывающихся на учете часовой интенсивности движения в различные периоды года, для обоснования мероприятий по организации движения, оценки уровня удобства движения, планирования инженерных мероприятий по повышению безопасности движения и пропускной способности за расчетную принимают часовую интенсивность движения $N_{\text{ч}}$, составляющую 0,8 от максимальной N_{max} , т.е. $N_{\text{ч}} = 0,8N_{\text{max}}$.

Расчетная часовая интенсивность движения

$$N_{\text{ч}} = 0,076N_{\text{с}}, \quad (7.2)$$

где $N_{\text{с}}$ — среднегодовая суточная интенсивность движения в обоих направлениях, авт./сут.

Разрабатывая мероприятия, повышающие пропускную способность отдельных элементов дорог с ярко выраженным различием условий 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 0,6. Тогда расчетная часовая интенсивность движения:

- в одном направлении $N_1 = 0,046N_{\text{с}}$;
- в другом направлении $N_2 = 0,03N_{\text{с}}$.

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.

7.1.3. Состав движения

Состав движения, как и интенсивность, существенно влияет на пропускную способность и выбор мероприятий по ее повышению. Его необходимо учитывать при всех расчетах, связанных с оценкой уровней удобства и пропускной способности. Состав движения на дороге определяют на основе непосредственного учета движения, анализа народнохозяйственного района положения дороги и перспектив его развития, анализа парка автопредприятий, расположенных в зоне влияния дороги.

Для технико-экономических расчетов, связанных с определением оптимальной загрузки дорог, необходима детализация состава движения по моделям автомобилей с учетом их грузоподъемности.

7.1.4. 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 движением z , коэффициент скорости c , коэффициент насыщения движением r .

Коэффициент загрузки движением

$$z = N/P, \quad (7.3)$$

где N — интенсивность движения (существующая или перспективная), легковых авт./ч; P — практическая пропускная способность, легковых авт./ч.

Коэффициент скорости движения

$$c = v_z/v_0, \quad (7.4)$$

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

$$r = q_z/q_{\max}, \quad (7.5)$$

где q_z — средняя плотность движения, авт./км; $q_{\max}$ — максимальная плотность движения, авт./км.

Различают четыре уровня удобства движения на дорогах.

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 несколько уменьшается, но практически все они имеют тяжелые последствия.

Уровень удобства Б. При этом уровне 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.

Уровень 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 состав-

ляет 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.

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 и равной ей.

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.

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 меньше, чем при других уровнях. 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 ши-

рины полосы отвода; при разработке стадийных мероприятий по повышению пропускной способности; для выбора средств регулирования движения; при установлении предельной интенсивности для рассматриваемой категории дорог с учетом района их проложения и движения на них.

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.

Методы определения параметров

7.2. транспортного потока

В настоящее время учет интенсивности транспортных средств осуществляется как визуальным методом, так и при помощи автоматических счетчиков.

Проблема управления движением на автомобильных дорогах, а также проблема автоматического учета движущихся по дорогам автомобилей привели к необходимости разработки и создания специальных приборов, измеряющих и регистрирующих те или иные параметры транспортного потока. Эти приборы принято называть детекторами транспорта. Классификация данных приборов приведена в табл. 7.1.

Среди методов определения параметров транспортного потока можно выделить: контактно-механические, магнитно-индуктивные, с применением зондирующих импульсов. Для этих методов используют детекторы транспорта.

7.2.1. Контактно-механические методы

Принцип работы детекторов, основанных на использовании этих методов, заключается в непосредственном воздействии движущегося автомобиля на дорожное покрытие. Поэтому

Классификация детекторов

Методы детектирования	Виды детекторов	Место установки на дороге	Параметр	
			воздействующий	чувствительный
Контактно-механические	Взвешивающие	В покрытии	Масса автомобиля	Сопротивление датчика
	Пневматические	На покрытии	То же	Давление воздуха в шланге
	Электроконтактные	В покрытии и на нем	»	Электрический контакт
	Емкостные и магнитные	То же	»	Емкость или индуктивность
	Трибоэлектрические	»	Вибрация покрытия	Электрический заряд
	Вибрационные	»	То же	Амплитуда колебаний
	Роликовые	В покрытии	Касательные усилия колес	Число оборотов
Магнитно-индуктивные	Петлевые с искусственным электромагнитным полем	В покрытии и на нем	Металлическая масса автомобиля	Индуктивность петли
	С использованием магнитного поля Земли	В покрытии	То же	Магнитное поле Земли
	Магнитные	То же	»	То же
	Электромагнитные	»	»	Электромагнитное поле

Таблица 7.1

транспорта

Определяемые параметры транспортного потока					Точность детектирования	Влияние метеословий	Стоимость	
кол-во осей	кол-во ТС	масса ТС	длина ТС	скорость			установки	эксплуатации
+	+	+	-	+	Высокая	Значительное	Высокая	Высокая
+	-	-	-	+	Высокая	Среднее	Низкая	Низкая
+	-	-	-	+	Высокая	Среднее	Высокая	Средняя
+	-	+	-	+	Высокая	Слабое	Высокая	Средняя
+	+	-	-	+	Низкая	Среднее	Средняя	Средняя
+	+	-	-	+	Низкая	Среднее	Низкая	Средняя
+	-	-	-	+	Высокая	Значительное	Высокая	Высокая
+	+	-	+	+	Средняя	Среднее	Средняя	Низкая
-	+	-	-	-	Средняя	Слабое	Средняя	Низкая
-	+	-	+	+	Высокая	Слабое	Средняя	Средняя
-	+	-	+	+	Высокая	Слабое	Средняя	Средняя

Методы детектирования	Виды детекторов	Место установки на дороге	Параметр	
			воздействующий	чувствительный
С применением зондирующих импульсов	Фотоэлектрические	На покрытии	Непрозрачные части автомобиля	Сопротивление фотоприемника
	Инфракрасные	Над дорогой и на покрытии	Поверхность автомобиля	Сопротивление приемника
	Ультразвуковые	Над дорогой	То же	Амплитуда колебаний приемника
	Радиолокационные	Над дорогой и сбоку	Скорость движения ТС	Частота колебаний
По излучению автомобиля	Инфракрасного излучения двигателя	Сбоку или сверху	Тепловое излучение	Количество тепла
	Электромагнитного излучения системы зажигания	То же	Электромагнитное излучение	Интенсивность электромагнитного поля
	Шума автомобиля	»	Акустические колебания	Амплитуда акустического сигнала
	Обнаружения выхлопных газов	»	Химические элементы выхлопных газов	Количество СО или других газов

Окончание табл. 7.1

Определяемые параметры транспортного потока					Точность детектирования	Влияние метеоусловий	Стоимость	
кол-во осей	кол-во ТС	масса ТС	длина ТС	скорость			установки	эксплуатации
+	+	–	+	+	Средняя	Сильное	Средняя	Средняя
–	+	–	+	+	Средняя	Среднее	Высокая	Средняя
–	+	–	+	+	Средняя	Среднее	Высокая	Средняя
–	+	–	–	+	Средняя	Среднее	Высокая	Средняя
–	+	+	–	+	Низкая	Слабое	Средняя	Средняя
–	+	–	–	–	Низкая	Слабое	Средняя	Средняя
–	+	+	–	+	Средняя	Слабое	Высокая	Средняя
–	+	–	–	–	Низкая	Слабое	Высокая	Средняя

для восприятия этого воздействия на покрытия или в верхнем его слое должны располагаться элементы, чувствительные к нагрузкам, создаваемым колесами проходящих автомобилей (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Классификация контактно-механических методов и детекторов транспорта

Взвешивающие детекторы наиболее привлекательны с точки зрения получения информации как о количестве проходящих автомобилей, так и о составе транспортного потока.

Конструкция взвешивающих детекторов содержит, как правило, балку или платформу, встроенную в полотно дороги (рис. 7.2). Опорами для балки служат взвешивающие чувствительные элементы. В качестве чувствительных элементов

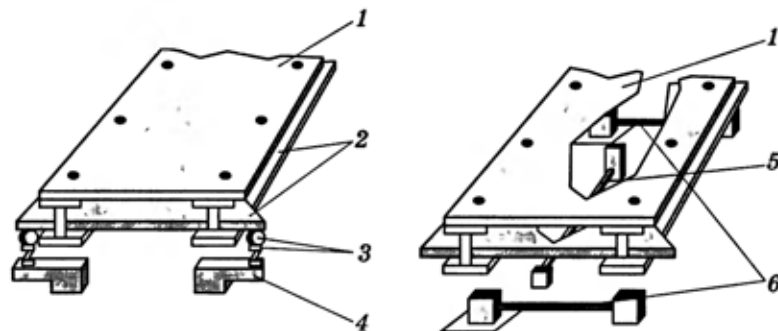


Рис. 7.2. Схема поосевых весов с платформами:
1 — платформа; 2 — рама весов; 3 — шаровая опора; 4 — взвешивающий элемент; 5 — продольный стабилизатор; 6 — поперечный стабилизатор

используют обычно кварцевые (рис. 7.3), пьезоэлектрические (рис. 7.4), тензометрические или магнитоупругие датчики. Тензометрический чувствительный элемент может быть наклеен на нижнюю поверхность платформы или балки. При наезде автомобиля на платформу сигнал, пропорциональный массе автомобиля (или одной из его осей), поступает во вторичную регистрирующую аппаратуру.

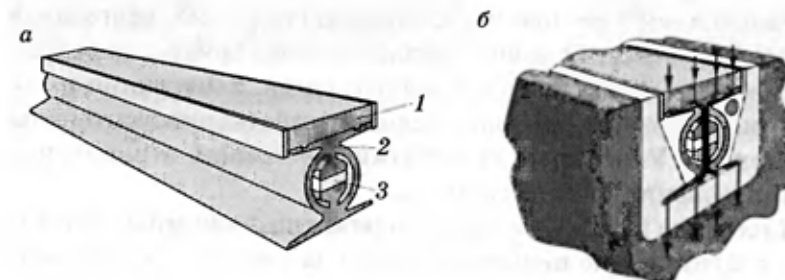


Рис. 7.3. Схема кварцевого датчика (а) и его расположение в покрытии автомобильной дороги (б):
1 — нагружаемая поверхность; 2 — алюминиевый профиль; 3 — кварцевый элемент

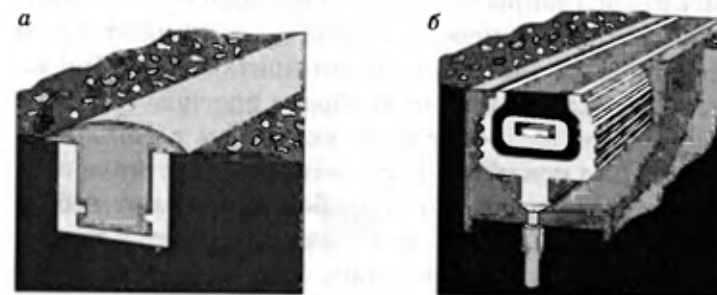


Рис. 7.4. Схема «жесткой» (а) и «эластичной» (б) установки пьезоэлектрических датчиков в покрытии автомобильной дороги

Другая разновидность конструкции взвешивающего детектора содержит чувствительный элемент, выполненный в виде заполненного жидкостью резервуара, верхняя пластина которого расположена на уровне поверхности дороги. Под на-

грузкой пластина прогибается, давление жидкости воздействует на мембрану измерительной части, которая замыкает и размыкает контакты, расположенные на различном расстоянии от поверхности мембраны. В цепь каждого контакта включено счетное устройство, оттарированное на соответствующую нагрузку. Сигналы регистрируются автоматически с записью на магнитную ленту.

К недостаткам взвешивающих детекторов следует отнести сложность их установки в дорожное покрытие, разрушение покрытия в местах расположения балок, трудность защиты подвижных узлов от грязи, влаги, снега, замерзания и прочих воздействий, тяжелые условия работы чувствительных элементов. Указанные недостатки обусловили ограниченное использование этих устройств.

Большую группу образуют контактно-нажимные детекторы, реагирующие непосредственно на давление колеса автомобиля. Из этой группы наиболее распространены *пневматические детекторы*, что объясняется простотой их установки и эксплуатации. Детектор представляет собой шланг из резины или прорезиненной материи, который укладывают непосредственно на покрытие или в небольшое углубление. Шланг с одной стороны закрывают глухой пробкой или пробкой с калиброванным отверстием, с другой — соединяют с мембраной, связанной с электрическими контактами. При наезде колес автомобиля на шланг мембрана прогибается, замыкая контакты, которые могут быть включены в цепь счетчика импульсов. Для исключения срабатывания счетчика при медленном нажатии на шланг в пробке выполняют небольшое отверстие, вследствие чего мембрана прогибается только при резком сдавливании шланга (рис. 7.5).

Пневматические детекторы позволяют считать только число осей, по ним нельзя точно определить количество автомобилей. Для определения скорости и направления движения необходима установка двух детекторов рядом (рис. 7.6). Кроме того, шланги детектора изнашиваются и быстро выходят из строя, а в зимний период повреждаются снегоочистителями, автомобилями с шипами и т.п.



Рис. 7.5. Измерение интенсивности движения контактно-механическим методом счетчиком Marksman 400 с пневматическими детекторами

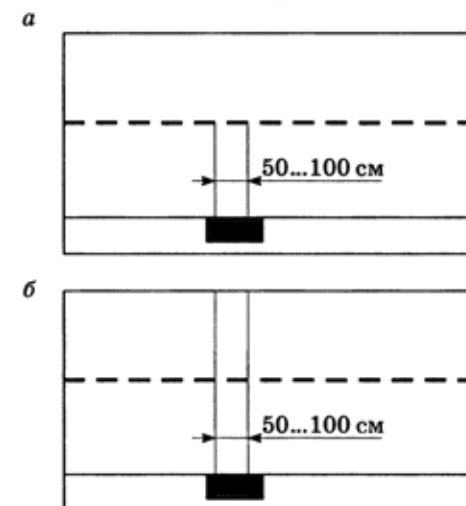


Рис. 7.6. Схема установки счетчика Marksman 400 с пневматическими детекторами:

а — ТТ-конфигурация сенсоров: параллельные трубы поперек одной полосы;
б — ТТ × 2-конфигурация сенсоров: параллельные трубы поперек двух полос

Счетчик-классификатор Marksman 400 (табл. 7.2) предназначен для определения интенсивности движения и состава транспортного потока на автомобильных дорогах.

Таблица 7.2

Основные характеристики счетчика Marksman 400

Характеристика	Значение
Сенсоры	Две резиновые трубы с размером внешнего диаметра 12 мм, внутреннего — 6 мм
Длина труб, м, не более	15
Напряжение батарей, В, не менее	2,2
Питание	Автономное
Рабочая температура измерений, °C	–10 (специальные трубы) ... +35 (рекомендуемая температура — от 0)
Классификация транспортных средств, групп	8–13 Наиболее распространенная — на 13 групп (схема EURO 13, табл. 7.3)

При проезде транспортного средства прибор фиксирует:

- ☐ время прохождения через поперечное сечение дороги;
- ☐ количество осей и межосевое расстояние транспортного средства;

- ☐ скорость движения;
- ☐ направление движения;
- ☐ группу транспортного средства в соответствии с выбранной классификацией. Транспортные средства классифицируются по количеству осей и межосевому расстоянию между ними.

Таблица 7.3

Классификация транспортных средств по схеме EURO 13

№ п/п	Вид транспортного средства	Схематическое изображение
1	Легковой автомобиль, микро-автобус, легковой автомобиль с прицепом	
2	2-осевой грузовой автомобиль	

Окончание табл. 7.3

№ п/п	Вид транспортного средства	Схематическое изображение
3	3-осевой грузовой автомобиль	
4	4-осевой грузовой автомобиль	
5	2-осевой грузовой автомобиль с прицепом (всего 4 оси)	
6	3-осевой грузовой автомобиль с прицепом (всего 5 осей)	
7	2-осевой грузовой автомобиль с полуприцепом (всего 3 оси)	
8	2-осевой грузовой автомобиль с полуприцепом (всего 4 оси)	
9	2-осевой грузовой автомобиль с полуприцепом (всего 5 осей)	
10	3-осевой грузовой автомобиль с полуприцепом (всего 5 осей)	
11	3-осевой грузовой автомобиль с полуприцепом (всего 6 осей)	
12	Автобусы	
13	Другие, не классифицированные транспортные средства	

Электроконтактные детекторы также основаны на принципе замыкания контактов в цепи счетчика. При этом чувствительными элементами могут быть различного рода подпружиненные пластины и балки, установленные в покрытие и защищенные резиновыми ковриками или металлическими пластинами. Количество контактов этих детекторов может быть различным. Несколько контактов, уложенных по ши-

рине проезжей части, позволяют получать сигнал о месте проезда автомобиля и количестве колес задней оси, что в некоторой степени характеризует грузоподъемность автомобиля. Два ряда контактов, уложенных вдоль дороги, дают возможность определять скорость и направление движения автомобиля.

Электроконтактным детекторам присущи те же недостатки, что и пневматическим. Кроме того, электрические контакты, располагаемые в дорожном покрытии, не обеспечивают требуемой надежности срабатывания из-за окисления их поверхности, изменения зазора между ними или поломки. Ввиду того что замена контактных групп связана со строительными работами и закрытием движения, находят применение бесконтактные детекторы, срабатывающие под воздействием проходящих автомобилей. К этой группе относятся емкостные и магнитные детекторы.

Емкостный детектор выполняется в виде двух металлических пластин, между которыми расположена эластичная изолирующая прокладка. При проходе автомобиля прокладка сжимается, расстояние между пластинами уменьшается, что приводит к увеличению емкости конденсатора. Регистрация факта изменения емкости обеспечивает получение импульсного сигнала, соответствующего проходу одной оси. Более сложная схема, измеряющая величину изменения емкости, может быть использована в устройствах, оценивающих массу проходящего автомобиля. В этом случае емкостный детектор может выполнять функции взвешивающего детектора.

Другой разновидностью бесконтактного нажимного детектора является магнитный детектор, чувствительный элемент которого выполнен в виде магнитной цепи, образованной неподвижными постоянными магнитами или электромагнитами и подвижными металлическими пластинами. При проходе автомобиля пластина перемещается, вызывая изменение магнитного сопротивления указанной цепи, которое регистрируется специальной схемой. Использование двух последовательно расположенных магнитных цепей позволяет определять направление движения автомобиля.

Вибрационные детекторы. Помимо непосредственного давления на покрытие, колеса проходящих автомобилей вызывают вибрацию поверхностного слоя дороги. С использованием этого эффекта разработаны электроконтактные и трибоэлектрические вибрационные детекторы.

Вибрационный электроконтактный детектор выполняется в виде металлической полосы, свободно лежащей на покрытии поперек направления движения. К концу полосы прикрепляют небольшую коробку, в которой размещают приемник колебаний полосы и усилитель с электроконтактами на выходе. При возбуждении колесами автомобиля колебаний полосы замыкаются контакты на выходе усилителя, подавая импульсный сигнал в цепь регистрации или включая счетчик импульсов. В последнем случае в коробке размещают также сухую батарею и блок питания. Введение задержки в цепь усилителя позволяет регистрировать сигнал только от переходных осей, т.е. количество автомобилей, а не осей.

Простота конструкции и несложность установки детектора обуславливают его применение в тех случаях, когда достаточно получать информацию только о количестве автомобилей или осей.

В *вибрационном трибоэлектрическом детекторе* используется эффект электризации трением, возникающий из-за вибраций в коаксиальном кабеле (трибоэлектрический эффект). Чувствительный элемент выполняется в виде трубчатого проводника со свободно лежащим внутри него изолированным проводом. Этот элемент вставляется в защитную оболочку из резины или пластмассы и прокладывается в дорожном покрытии. Электрический сигнал, возникающий при вибрации кабеля, попадает в преобразовательный блок, а оттуда — в систему регистрации сигналов. Детектор позволяет получить один импульс на каждую ось автомобиля при скорости движения до 160 км/ч, а также разделить сигналы, получаемые при прохождении различных транспортных средств, начиная от велосипедов и кончая тяжелыми грузовыми автомобилями.

В отдельный вид можно выделить **роликовые детекторы**. Чувствительными элементами их являются свободно вращаю-

щиеся ролики, установленные поперек дороги таким образом, что внешние образующие ролики почти совпадают с поверхностью дороги. Проход колеса автомобиля по ним вызывает вращение роликов вокруг своей оси. Если соединить ролики с регистрирующим прибором и преобразовывать их вращение в электрический сигнал, то можно регистрировать проход автомобилей и направление их движения. Сложность конструкции и установки, а также необходимость постоянной очистки и смазки вращающихся деталей обусловили весьма ограниченное применение роликовых детекторов.

7.2.2. Магнитно-индуктивные методы

Неудобства эксплуатации контактно-механических детекторов, вызванные прежде всего тем, что подвижные элементы нужно заделывать в дорожное покрытие, привели к разработкам других видов детекторов, не имеющих подвижных элементов. Среди них наиболее многочисленную группу составляют детекторы, реализующие магнитно-индуктивные методы, основанные на взаимодействии металлической массы автомобиля с магнитным или электромагнитным полем.

К магнитно-индуктивным детекторам относятся детекторы с индуктивной петлей, с использованием магнитного поля Земли и с разомкнутой магнитной цепью (электромагнита или постоянного магнита).

Наибольшее распространение получили индуктивные петлевые детекторы (рис. 7.7). Чувствительный элемент детектора, выполненный в виде одно- или многовитковой рамки (петли), как правило, закладывают в верхний слой дорожного покрытия на глубину 2...4 см (рис. 7.8). С этой целью специальными фрезами пропиливают канавку шириной до 1 см, которую после укладки рамки заливают битумной мастикой. Длина рамки зависит от схемы измерения и колеблется от одного до нескольких десятков метров. Ширину рамки выбирают по ширине полосы движения (в отдельных случаях одной рамкой перекрывают все полосы движения).

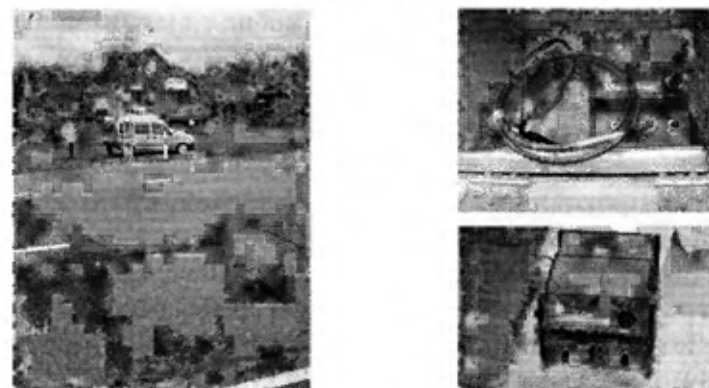


Рис. 7.7. Магнитно-индуктивный метод с индуктивными петлевыми детекторами определения параметров транспортного потока (счетчик Marksman 660)

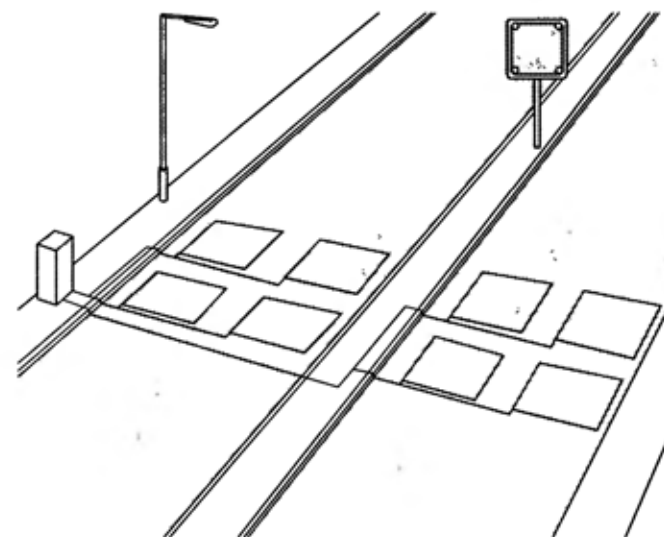


Рис. 7.8. Схема расположения индуктивных петель по полосам движения автомобильной дороги

Индуктивную петлю включают в колебательный контур генератора высокой частоты, вследствие чего в зоне контура образуется высокочастотное электромагнитное поле. Метал-

лическая масса проходящего автомобиля вызывает изменение индуктивности контура, что может быть зарегистрировано вторичной схемой детектора.

Если рамка располагается по ширине всей проезжей части, то индуктивность ее меняется пропорционально числу одновременно проходящих над ней автомобилей, что может быть зафиксировано схемой измерения.

На рис. 7.9 показана зона фиксации, которая присутствует за границами петли. Вверху изображен легковой автомобиль, который должен въехать в зону фиксации. Внизу показан грузовик, который должен въехать в ту же зону позже, поскольку имеет более высокое шасси. Аналогичные действия происходят, когда транспортные средства покидают зону фиксации: грузовик покинет зону раньше легкового автомобиля. Петли не дают информацию в зависимости от направления движения. Для получения ее необходимо либо добавить еще одну петлю на ту же полосу, либо применить другой тип датчиков.

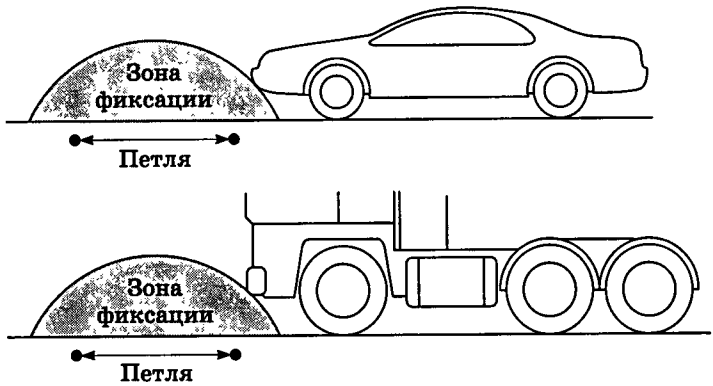


Рис. 7.9. Схема фиксации разного типа транспортных средств

В конфигурациях, где задействовано несколько петель, подключенных к одной плате, каждая петля сканируется последовательно, в то время как другие петли остаются неактивными.

Петлевые детекторы могут выполнять функции: проходного детектора, выдающего сигнал в момент прохождения автомобиля над петлей; детектора присутствия, выдающего сигнал в течение всего времени нахождения автомобиля над петлей; детектора направления, выдающего сигнал при движении автомобиля над петлей в определенном направлении; детектора скорости движения автомобиля; детектора длины автомобиля.

Для выполнения последних двух функций детектор должен содержать две петли, уложенные на заданном расстоянии друг от друга. При этом усложняется схема вторичной аппаратуры.

Индуктивные петлевые детекторы обладают рядом преимуществ по сравнению с контактно-механическими: отсутствие подвижных элементов, дешевизна и простота установки чувствительных элементов, минимальные нарушения целостности покрытий, отсутствие помех движению, защищенность от воздействия колес, снегоочистительных машин и пр. Эти преимущества предопределили широкое распространение петлевых детекторов в нашей стране и за рубежом.

Наиболее существенным недостатком индуктивных рамок, уложенных в асфальтобетонное покрытие, является изменение во времени параметров рамки вследствие колебаний температуры и влажности среды.

Счетчик-классификатор Marksman 660 (табл. 7.4) предназначен для определения интенсивности движения и состава транспортного потока на автомобильных дорогах в составе стационарных учетных пунктов.

Таблица 7.4

Основные характеристики счетчика Marksman 660

Характеристика	Значение
Объем памяти регистрирующего устройства и емкость батарей	Обеспечивают непрерывное накопление данных в среднем в течение 30 суток
Питание	Автономное

Окончание табл. 7.4

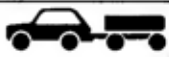
Характеристика	Значение
Рабочая температура измерений, °С	–40...+60 (возможна работа в дождь, при ярком солнце)
Классификация транспортных средств	6 групп (EURO 6) (табл. 7.5)
Возможность подключения дополнительных датчиков (трубы, пьезодатчики, кварцевые датчики и др.)	Присутствует (возможно определение до 25 классов транспортных средств)
Возможность подключения к регистрирующей системе датчиков измерения уровня СО	Присутствует

При проезде транспортного средства прибор фиксирует:

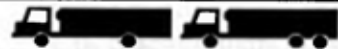
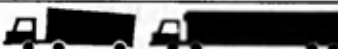
- ☐ время прохождения через поперечное сечение дороги;
- ☐ количество осей и межосевое расстояние транспортного средства;
- ☐ скорость движения;
- ☐ направление движения;
- ☐ группу транспортного средства в соответствии с выбранной классификацией. Классификация транспортных средств производится по количеству осей и межосевому расстоянию между ними.

Таблица 7.5

Классификация транспортных средств по схеме EURO 6

№ п/п	Вид транспортного средства	Схематическое изображение
1	Мотоциклы	
2	Легковые автомобили и микроавтобусы	
3	Легковые автомобили с прицепом	

Окончание табл. 7.5

№ п/п	Вид транспортного средства	Схематическое изображение
4	Грузовые автомобили	
5	Автопоезда	
6	Автобусы	

Детекторы транспорта с использованием магнитного поля Земли представляют собой различного рода магнитометры, изменяющие свои показания при прохождении автомобиля. Так как автомобиль представляет собой ферромагнитную массу, магнитное поле Земли вокруг него искажается. Чувствительные элементы этих детекторов выполняются в виде датчиков Холла, магнитоиндуцированных резисторов, включенных в измерительную схему, индуктивных катушек и т.д.

Одна из разновидностей такого детектора выполнена в виде магнитной стрелки, связанной с подвижной обкладкой конденсатора, который включен в мостовую схему. При прохождении автомобиля стрелка отклоняется, изменяя емкость конденсатора, на выходе моста появляется сигнал.

Ввиду небольшой напряженности магнитного поля Земли на работу этих детекторов влияют различные источники электромагнитного излучения (силовые кабели, провода, промышленные объекты), поэтому они не получили широкого распространения.

7.2.3. Методы с применением зондирующих импульсов

Действие детекторов, реализующих методы этой группы, основано на том, что автомобиль, являясь физическим телом с определенными габаритами, может быть обнаружен с помощью различных зондирующих импульсов (рис. 7.10). При применении зондирующих импульсов создается лучевой барьер, прерываемый движущимся автомобилем, или измеряются

параметры импульсов, отражаемых автомобилем, т.е. используется принцип локации, который может реализоваться с применением принципа эхолота или эффекта Доплера.

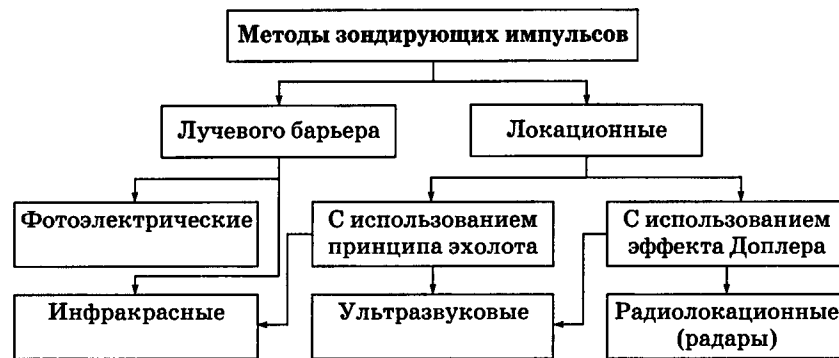


Рис. 7.10. Классификация методов и детекторов определения параметров транспортного потока с помощью зондирующих импульсов

В случае использования лучевого барьера поток импульсов пересекает полосу движения и аппаратура фиксирует моменты прерывания луча.

При применении локационного принципа поток импульсов направляется навстречу (или вслед) идущему автомобилю, а аппаратура измеряет параметры импульсов, например частоту, изменяющуюся из-за наличия известного эффекта Доплера. Если направлять импульсы сверху на покрытие и измерять время прихода отраженного от дороги сигнала, то при проходе автомобиля расстояние до отражающей поверхности, а следовательно, и измеряемое время уменьшаются (принцип эхолота).

Наиболее наглядно принцип лучевого барьера используется в *фотоэлектрических детекторах*, содержащих источник и приемник излучения, расположенные по обе стороны проезжей части, и вторичный блок обработки сигналов.

Источник и приемник излучения могут размещаться также и с одной стороны дороги. Тогда на противоположной стороне устанавливается зеркальный отражатель.

Разработано автоматическое устройство с фотоэлектрическими детекторами, позволяющее классифицировать проходящие автомобили по группам длин и скоростным группам.

Для контроля параметров транспортного потока одновременно по нескольким полосам магистрали обычно используют *принцип эхолота*. С этой целью источники инфракрасного излучения устанавливают над дорогой на опоре или специальном кронштейне. Приемники излучения монтируют в дорожном покрытии. При такой установке повышается точность детектирования, однако требуется периодическая очистка приемников от загрязнения.

Чаще источник и приемник излучения располагают на кронштейне рядом, совмещая их в одном конструктивном элементе, и направляют пучок зондирующих импульсов перпендикулярно к покрытию. Параметры отраженного от покрытия сигнала, улавливаемого приемником, изменяются при появлении автомобиля в зоне действия детектора. По этой схеме могут работать инфракрасный и ультрафиолетовый детекторы.

Ультразвуковые детекторы применяют также при определении скорости движения, используя эффект Доплера. В этом случае источник и приемник излучения направляют навстречу движению автомобиля (или вслед). Скорость движения автомобиля пропорциональна разности частот зондирующего и отраженного от автомобиля импульсов.

Для одновременной регистрации количества и скорости проходящих автомобилей *радарные детекторы* выполняются в виде двух пар источников и приемников излучения. Одна пара предназначена для регистрации прохода автомобиля и выдает вертикальный зондирующий импульс. Отраженный от днища автомобиля сигнал включает вторую пару с горизонтальным направлением зондирующего импульса, измеряющего скорость движения. Находят также применение радарные детекторы, работающие в оптическом диапазоне частот. Источником излучения в них служит неоновый-гелиевый лазер, формирующий поток красного света.

К недостаткам детекторов транспорта, реализующих эту группу методов, следует отнести сложность аппаратуры и высокую ее стоимость, влияние погодных-климатических усло-

вий. Например, колебания температуры воздуха изменяют частотные характеристики чувствительных элементов, раскачивание их порывами ветра сказывается на точности детектирования. Кроме того, установка приемников излучения на проезжей части требует особого ухода за ними. Немаловажным фактором является также возможность умышленного повреждения аппаратуры из-за ее доступности.

7.2.4. Учет интенсивности транспортных средств визуальным методом

Сеть обследуемых дорог разделяется на характерные по интенсивности движения дорожные участки (перегоны) учета, для которых интенсивность движения будет достаточно равномерной.

Границами участков (перегонов) учета являются места на автомобильных дорогах, где существенно меняется интенсивность движения (подходы к административным и промышленным центрам, пересечения и примыкания дорог и др.).

В пределах перегонов учета назначаются учетные пункты.

Информация о транспортном потоке собирается в определенных точках дорожной сети, которыми могут быть перекрестки (развязки) или линейные участки (рис. 7.11).

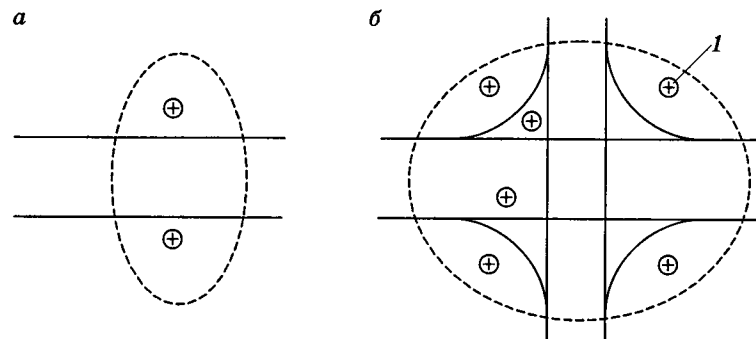


Рис. 7.11. Пример организации учета интенсивности и состава транспортного потока:

а — линейный учетный пункт; б — учетный пункт на перекрестке;
1 — оборудование (учетчик)

Учетный пункт — это область, в которой установлено одно устройство или более (либо находятся учетчики). Учетные пункты на перекрестках пересекаются в центре и границы определяются рисунком дороги вокруг них.

Учетные пункты могут располагаться:

- на перекрестке двух и более дорог, включая сливающиеся полосы;
- левосторонних и правосторонних Т-образных перекрестках;
- сложных перекрестках со множеством островков;
- круговых развязках.

Схема сети дорог и расположения пунктов учета, сводная ведомость пунктов учета движения должны разрабатываться организацией, производящей обследование движения.

В каждом пункте учета автотранспортные средства учитываются отдельно по направлениям и группам.

При необходимости строятся эпюры интенсивности движения.

В различных странах могут применяться национальные системы классификации. Однако наибольшее распространение получила международная система классификации автотранспортных средств.

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, в том числе грузопассажирские автофургоны с количеством мест для сидения не более 9, включая место водителя, и легкие автофургоны, допустимая максимальная масса 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, допустимая масса которых превы-

шает 3,5 т; грузовые автомобили с одним или несколькими прицепами; тягачи с полуприцепами или несколькими прицепами; тягачи с одним или несколькими прицепами) 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, категории С и D — тяжелых механических транспортных средств.

Учет движения по категориям и группам транспортных средств позволяет определить состав транспортных потоков на перегонах каждой автомобильной дороги.

По результатам обработки данных учета движения определяются следующие показатели:

- суточная интенсивность движения по всем категориям и группам автотранспортных средств в дни проведения учета;
- среднемесячная суточная интенсивность движения по категориям и группам автотранспортных средств (за квартал);
- среднегодовая суточная интенсивность движения по категориям и группам автотранспортных средств;
- наибольшая часовая интенсивность движения, повторяющаяся в течение не менее 50 ч в год;
- суммарный пробег автомобилей по категориям автотранспортных средств и участкам дорог за год.

Дополнительно при необходимости устанавливаются:

- средняя суточная интенсивность движения в период массовых отпусков (июль, август);
- среднегодовая ночная интенсивность движения за время с 22.00 до 6.00 ч;
- максимальная интенсивность движения в час пик;
- интенсивность выходного дня.

Суточная интенсивность движения автотранспортных средств в n -е дни учета движения определяется по формуле

$$I_{\text{сут}}(n) = K \cdot A(n), \quad (7.6)$$

где K — коэффициент приведения краткосрочных замеров в суточные в зависимости от времени начала и продолжительности учета; $A(n)$ — количество транспортных средств, подсчитанных за t ч в n -й учетный день.

Среднемесячная суточная интенсивность движения автотранспортных средств соответственно за первый $I_1(m)$, второй $I_2(m)$, третий $I_3(m)$ месяцы каждого m -го квартала определяются по формулам

$$I_1(m) = \frac{I_{\text{сут}}(1) \cdot L_1(m) + I_{\text{сут}}(B) \cdot L_2(m)}{L_1(m) + L_2(m)}, \quad (7.7)$$

$$I_2(m) = \frac{I_{\text{сут}}(2) \cdot I_1(m)}{I_{\text{сут}}(1)}, \quad (7.8)$$

$$I_3(m) = \frac{I_{\text{сут}}(3) \cdot I_1(m)}{I_{\text{сут}}(1)}, \quad (7.9)$$

где $I_{\text{сут}}(1)$ — суточная интенсивность движения транспортных средств в рабочий день первого месяца квартала; $I_{\text{сут}}(B)$ — суточная интенсивность движения транспортных средств в выходной день первого месяца квартала; $I_{\text{сут}}(2)$ — то же в рабочий день второго месяца квартала; $I_{\text{сут}}(3)$ — то же в рабочий день третьего месяца квартала; $L_1(m)$, $L_2(m)$ — коэффициенты приведения по кварталам года.

Коэффициенты приведения по кварталам года определяются как среднее количество рабочих дней $L_1(m)$ в месяце за квартал и выходных (суббота, воскресенье, праздничные дни) $L_2(m)$.

Среднеквартальная суточная интенсивность движения автотранспортных средств за квартал определяется как средневзвешенное значение из трех месяцев:

$$I(m) = \frac{I_1(m) \cdot D_1 + I_2(m) \cdot D_2 + I_3(m) \cdot D_3}{D_1 + D_2 + D_3}, \quad (7.10)$$

где D_1, D_2, D_3 — количество дней в месяце.

Среднегодовая суточная интенсивность движения автотранспортных средств определяется как средневзвешенное арифметическое значение этих показателей за 4 квартала:

$$I_{\text{год}} = \frac{Im_1 \cdot D_{k1} + Im_2 \cdot D_{k2} + Im_3 \cdot D_{k3} + Im_4 \cdot D_{k4}}{D_{k1} + D_{k2} + D_{k3} + D_{k4}}, \quad (7.11)$$

где $D_{k1}, D_{k2}, D_{k3}, D_{k4}$ — количество дней в квартале.

Средняя суточная интенсивность движения в период отпусков (июль, август) рассчитывается как среднее значение среднемесячной суточной интенсивности движения автотранспортных средств за июль и август.

Среднегодовая ночная интенсивность движения определяется среднегодовым количеством автотранспортных средств, проходящих через учетный пункт за восемь часов ночного времени (с 22.00 ч до 6.00 ч).

Максимальная интенсивность движения на каждом учетном пункте устанавливается путем выборки из данных учета максимальной часовой и суточной интенсивности движения с указанием даты и времени суток сбора информации.

По окончании года вычисляют общую и по группам автотранспортных средств среднегодовую суточную интенсивность движения по каждому учетному пункту.

7.2.5. Учет движения автоматическими счетчиками

Учет автотранспортных средств автоматическими счетчиками осуществляется непрерывно в течение суток. Показания счетчика снимают один раз в сутки, в одно и то же время, и заносят в карточку автоматического учета интенсивности движения.

Среднегодовая суточная интенсивность движения по данным автоматических счетчиков определяется как средне-

арифметическое значение показателей среднесуточной интенсивности движения за 12 мес и заносится в форму.

Состав движения по группам автотранспортных средств на пунктах установки автоматических счетчиков определяется по данным контрольного визуального учета, проводимого круглосуточно, один раз, в мае.

На основании данных контрольного визуального учета движения суточная интенсивность движения за год на автоматических учетных пунктах пересчитывается на состав движения и составляется ведомость.

Пересчет данных автоматического учета на состав движения производится по формуле

$$I_{\text{сут } i} = I_{\text{сут общ}} \cdot K_i, \quad (7.12)$$

где $I_{\text{сут } i}$ — суточная за год интенсивность движения i -й группы (категории) автотранспортных средств или вида транспортных средств в группе; $I_{\text{сут общ}}$ — общая среднегодовая суточная интенсивность движения всех транспортных средств; K_i — коэффициент, учитывающий долю i -й группы (вида) транспортных средств в общем потоке по данным контрольного учета ($\sum_{i=1}^n K_i = 1$, где n — количество групп, категорий автотранспортных средств).

Контроль тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств

7.3. средств

На автомобильных дорогах отмечается значительное движение тяжеловесных и негабаритных транспортных средств как отечественных, так и зарубежных. Проблема сохранности дорожной сети и пропуска тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств (ТКТС), а также взимание платы за превышение допустимых параметров имеют госу-

дарственное значение. Поэтому при диагностировании состава транспортного потока большое значение имеет организация контроля проезда тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств.

Стационарный пост весогабаритного контроля оборудован офисно-технологическим помещением, весоизмерительным и программно-аппаратным комплексом (рис. 7.12).

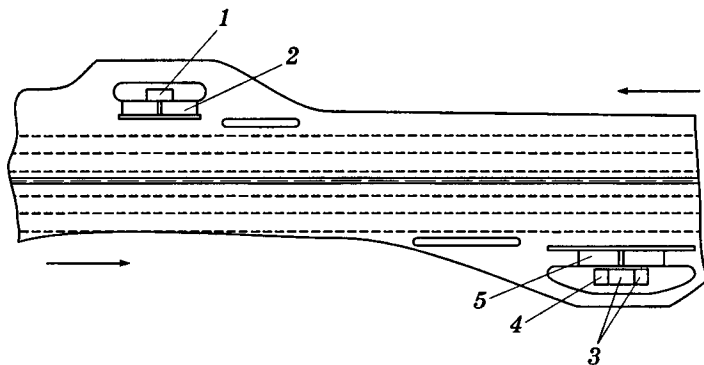


Рис. 7.12. Схема размещения весоизмерительного оборудования и пунктов управления на стационарном посту контроля:

1 — пункт управления весоизмерительным комплексом, рабочее место специалиста № 4; 2 — место работы сотрудника ГАИ (или) специалиста № 3 на площадке взвешивания; 3 — банк, пост ГАИ; 4 — пункт управления весоизмерительным комплексом, рабочее место специалиста № 2; 5 — место работы сотрудника ГАИ (или) специалиста № 1 на площадке взвешивания

При контроле ТКТС на стационарном посту выполняются следующие технологические операции:

- учет и сортировка транспортных средств (ТС);
- взвешивание ТС, измерение геометрических параметров;
- оформление протокола измерений и расчета платы;
- оформление документов на проезд ТКТС.

В состав передвижного поста входят водитель и два работника группы. В работе передвижного поста может участвовать инспектор ГАИ.

Передвижной пост оснащен мобильным весоизмерительным и программно-аппаратным комплексом.

При контроле ТКТС на мобильном посту выполняются следующие технологические операции:

- выезд на место дислокации поста, подготовка к контролю транспортных средств;
- учет и сортировка транспортных средств;
- взвешивание транспортного средства и оформление документов на проезд ТКТС;
- оформление платы за проезд ТКТС;
- постановка ТКТС на штрафную стоянку.

Главная цель контроля весогабаритных параметров транспортных средств — обеспечение сохранности автомобильных дорог, искусственных сооружений, повышение безопасности дорожного движения и поступления компенсационных платежей за проезд автотранспортных средств с превышающими параметрами по автомобильным дорогам.

Основные задачи, которые должны возлагаться на службу контроля:

- разработка нормативно-методических документов по вопросам контроля и взимания платы за проезд ТКТС по автомобильным дорогам общего пользования;
- накопление данных о состоянии автомобильных дорог и искусственных сооружений на них для целей пропуска ТКТС;
- оптимизация выбора маршрутов пропуска ТКТС исходя из несущей способности дорожных одежд и искусственных сооружений;
- определение весогабаритных параметров транспортных средств и выдача специальных разрешений на проезд ТКТС после получения соответствующей платы;
- организация стационарных (рис. 7.13) и передвижных (рис. 7.14) постов контроля ТКТС на пограничных переходах, вблизи них и на постах контроля внутри страны;
- внедрение современного весоизмерительного оборудования;
- организация специального обследования и расчета несущей способности дорог и мостов по маршруту следования транспортных средств со сверхнормативной нагрузкой;

□ информирование автоперевозчиков об условиях проезда по дорогам республики, о закрытии движения по дорогам в неблагоприятные периоды года;

□ взаимодействие с заинтересованными ведомствами и организациями с целью пропуска, контроля и взимания платы за проезд.



Рис. 7.13. Стационарный пост весогабаритного контроля



Рис. 7.14. Передвижной пост весогабаритного контроля

1a 38 т 1 4,7 3,2 6,35 1,35 2 6 10 7,33 7,33 7,33 3 0,80 0,75 0,85 0,85 0,85	4a 40 т 1 3,5 6,4 2,1 3,5 2 6 10 3x8 3 0,90 0,75 0,9 0,9 0,9
1б 38 т 1 4,7 3,2 6,35 1,35 2 6 10 7,33 7,33 7,33 3 0,80 0,75 0,85 0,65 0,65	4б 40 т 1 3,5 6,4 2,1 3,5 2 6 10 3x8 3 0,80 0,75 0,65 0,65 0,65
2a 40 т 1 6,7 1,35 3,2 5,0 2 6 10 6 9 9 3 0,80 0,75 0,80 0,90 0,90	5a 40 т 1 2,3 1,3 5,9 2,0 2 5,5 6,5 10 9 9 3 0,725 0,60 0,75 0,90 0,90
3a 38 т 1 6,5 1,35 3,2 5,0 2 6 10 6 8 8 3 0,80 0,575 0,575 0,90 0,90	5б 38 т 1 2,8 1,35 8,6 1,35 2 6 8 8 9 9 3 0,725 0,575 0,575 0,90 0,90

Рис. 7.15. Схема классификации ТКТС:

1 — межосевое расстояние, м; 2 — осевая масса, т; 3 — давление в шине, МПа; 1a — 5б — код автопоезда

Контроль проезда ТКТС по автомобильным дорогам должен осуществляться стационарными и передвижными постами весогабаритного контроля. Состав стационарного поста определяется исходя из условий сменного круглосуточного режима работы с использованием стационарного или портативного оборудования.

Большое значение при определении состава потока ТКТС имеет знание нагрузок на оси, а также межосевого расстояния и классифицирование по этим показателям транспортных средств. Основные виды тяжелых транспортных средств представлены на рис. 7.15.

8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ИНЖЕНЕРНОГО ОУСТРОЙСТВА ДОРОГИ

Свототехнические особенности

8.1. дорожных знаков

Одним из специфических направлений диагностики дорог является диагностика свототехнических свойств дорожных знаков, дорожной разметки и других элементов обустройства дорог.

В настоящее время имеет место достаточно сложная ситуация в области безопасности дорожного движения, что в немалой степени обусловлено увеличением количества транспортных средств, а также недостаточным финансированием дорожных работ. В этих условиях значительно возрастает роль технических средств организации дорожного движения, к которым относятся дорожные знаки, разметка, направляющие устройства. Их важнейшими характеристиками являются яркость, световозвращение, светимость, контрастность, видимость.

Для измерения световых величин применяют специальные приборы, называемые *фотометрами*. Фотометры делятся на два класса — субъективные, или визуальные, где приемником излучения является глаз человека, и объективные, где приемником излучения служит фотоэлемент, т.е. электрический прибор, чувствительный к свету. Наряду с фотоэлементами для целей объективной фотометрии могут с успехом применяться фотоумножители, термоэлементы и болометры. Различают также световые измерения в белом свете и световые измерения в монохроматическом свете. Приборы, применяемые для измерений в монохроматическом свете, называют *спектрофотометрами*.

8.1.1. Определение светотехнических характеристик дорожных знаков

Дорожные знаки в зависимости от материалов, из которых они изготовлены, места их установки по отношению к проезжей части и эксплуатационного состояния по-разному проявляют себя под влиянием света фар автомобиля и по-разному воспринимаются водителями. Для обеспечения видимости дорожных знаков в светлое и темное время суток необходимо соблюдать требования по их дислокации, своевременно расчищать дорожную полосу от кустарников и деревьев, устанавливать дорожные знаки с высокими световозвращающими характеристиками. Световозвращение дорожных знаков позволяет обеспечивать их видимость в течение светлого и темного времени суток.

Геометрия освещения дорожных знаков и определения расчетных характеристик представлена на рис. 8.1–8.3.

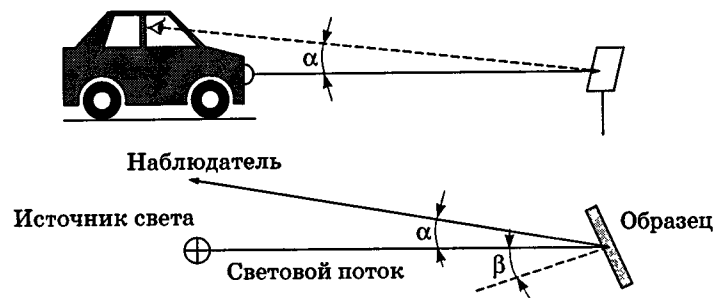


Рис. 8.1. Геометрия освещения образца дорожного знака:
 α — угол наблюдения; β — угол освещения

На рис. 8.1 обозначено относительное расположение источника света, наблюдателя и отражающей поверхности. Угол наблюдения α образуется между падающим лучом света и отражающим лучом, угол освещения β — между падающим лучом света и нормалью — линией, перпендикулярной к поверхности образца дорожного знака.

На рис. 8.2 представлена геометрия освещения дорожных знаков в вертикальной плоскости, на рис. 8.3 — в плане.

Для определения светотехнических характеристик необходимо принять обоснованные расчетные схемы (рис. 8.4).

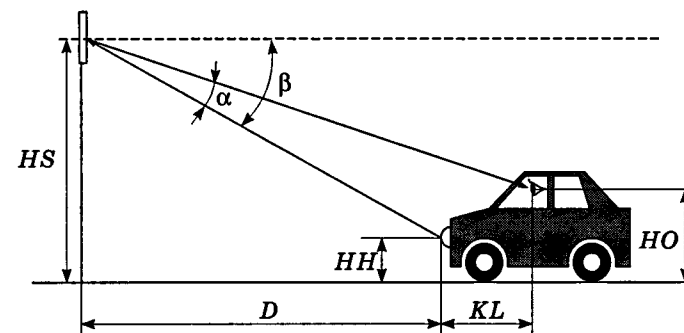


Рис. 8.2. Геометрия освещения образца дорожного знака, расположенного над проезжей частью дороги:

α — угол наблюдения; β — угол освещения; D — проекция расстояния от источника света до образца; HH — высота расположения фар автомобиля; HO — высота расположения глаз водителя; KL — расстояние от источника света до положения глаз водителя; HS — расстояние по вертикали до дорожного знака

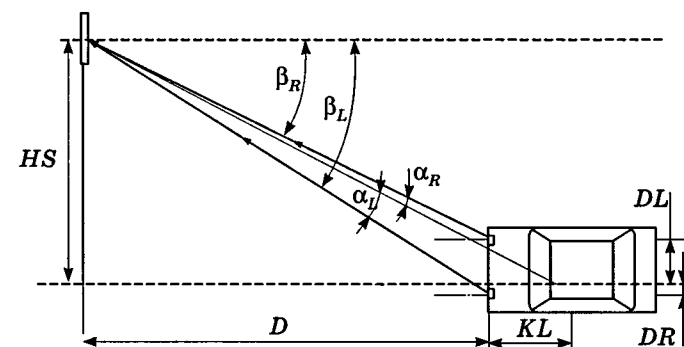


Рис. 8.3. Геометрия освещения образца дорожного знака, расположенного в стороне от проезжей части дороги:
обозначения те же, что на рис. 8.2; DL , DR — позиционные расстояния

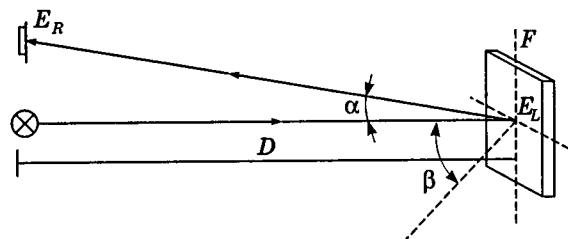


Рис. 8.4. Расчетная схема для определения освещенности и яркости дорожных знаков:

α — угол наблюдения; β — угол освещения; D — проекция расстояния от источника света до образца; E_R — освещенность приемника, лк; E_L — освещенность в точке поверхности, перпендикулярной падающему свету, лк; F — площадь образца, м²

Современная диагностика автомобильных дорог все в большей степени предъявляет требования к развитию системы контроля светотехнических качеств автомобильных дорог и в первую очередь тех элементов, которые непосредственно связаны с регулированием и безопасностью дорожного движения.

8.1.2. Светотехнические материалы для изготовления дорожных знаков

Для изготовления дорожных знаков необходимы материалы, которые бы обеспечивали необходимую их видимость как в дневное, так и в вечернее время. Вначале знаки изготавливались из древесины или металла и окрашивались в соответствующие цвета. Эти знаки выглядели примитивно и не были видны ночью.

Для повышения видимости дорожных знаков в краску для отражения света стали добавлять стеклянные шарики. Первое упоминание о таком их применении относится к 1893 г. (Чехословакия). Первый патент на использование стеклянных шариков в краске был выдан в штате Нью-Йорк (1929). Но и такие дорожные знаки были далеки от совершенства. В сентябре 1939 г. была получена первая световозвращающая пленка марки Scotchlite. Однако ее яркость была недостаточна.

Инженер Филипп Пальмгюст в результате многолетней работы улучшил качество световозвращающей пленки благодаря оставленному воздушному зазору между стеклянными шариками и отражающей основой. Яркость знаков повысилась в 5–30 раз. В 1940 г. в фирме 3M (Minnesota Mining Manufacture) слой стеклянных шариков стали покрывать жестким пластиком, что позволило защитить их от воды. Таким образом постепенно была преодолена проблема рассеивающего эффекта, дождя, пыли и грязи. Структура световозвращающего материала представлена на рис. 8.5–8.7.

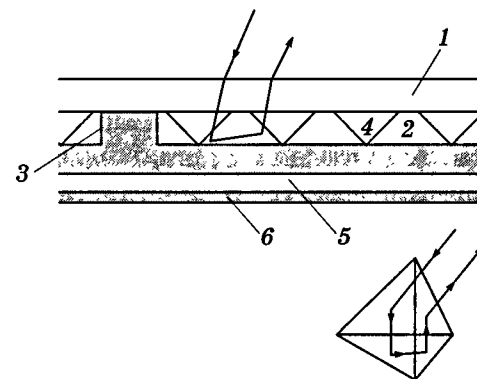


Рис. 8.5. Структура пленки марки Nikkalite, тип Crystal Grade:
1 — наружный слой; 2 — микропризмы; 3 — поддерживающая стенка;
4 — воздушное пространство; 5 — клей; 6 — подложка

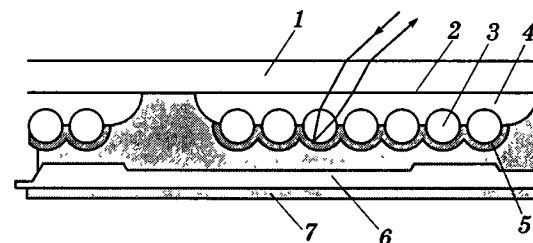


Рис. 8.6. Структура пленки марки Nikkalite, тип Ultralite Special Grade:
1 — наружный слой; 2 — пластиковый слой; 3 — стеклянные шарики;
4 — воздушное пространство; 5 — отражающий слой; 6 — клей;
7 — подложка

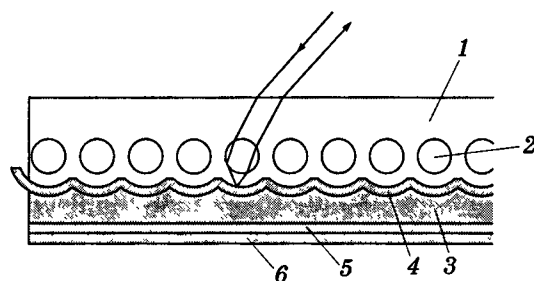


Рис. 8.7. Структура пленки марки Nikkalite, тип Engineering Grade: 1 — наружный слой; 2 — стеклянные шарики; 3 — разделяющий слой; 4 — отражающий слой; 5 — клей; 6 — подложка

В настоящее время основным световозвращающим материалом, применяемым при производстве дорожных знаков, являются световозвращающие пленки, производимые фирмами Signum, LG, Avery Dennison, 3M, Nippon Carbide Industries и др., которые по всем характеристикам соответствуют требованиям нормативных документов.

Цвет отражающих материалов при дневном свете состоит из смеси диффузно отраженного света и света от световозвращающей поверхности, зависящей от гониофотометрических характеристик материала.

Наиболее сравнимые результаты измерения цвета получены при использовании спектрофотометра или колориметра с геометрией освещения/наблюдения, равной $45^\circ/0^\circ$, вместо сферической геометрии. Источником света, наиболее подходящим для измерения цвета материала при дневном освещении, является стандартный источник света МКО (Международная осветительная комиссия) D65.

Проведенные в Беларуси (УП «Криница») испытания различных видов световозвращающих материалов подтверждают наличие существенных расхождений колориметрических (табл. 8.1) и фотометрических (табл. 8.2) характеристик. Такие испытания необходимо проводить при выборе поставщика материала и оценке состояния световозвращающих элементов дорожных инженерных устройств.

Таблица 8.1
Колориметрические характеристики (координаты цветности x , y и коэффициент яркости Y)

Цвет	Параметр	Требования	3M			Avery Dennison				Елгава
			710	3200	3800	F3100	F1500	F2500	Signum	
Белый	x	0,285...0,355	0,3038	0,3125	0,3054	0,3030	0,3029	0,3138	0,3346	
	y	0,30...0,37	0,3118	0,3228	0,3144	0,3115	0,3116	0,3363	0,3675	
	Y	≥ 27	47,75	45,37	29,85	47,79	45,71	49,15	25...30	
Красный	x	0,517...0,710	0,6546	0,6349	0,631	0,6514	0,6527	0,6809	0,507	
	y	0,290...0,346	0,3155	0,3395	0,3155	0,3239	0,3243	0,3087	0,328	
	Y	2,5...12	5,91	9,68	3,6	6,44	6,34	6,33	10...11	
Синий	x	0,452...0,540		0,5103	0,5236	0,4957	0,4947	0,5455	0,473	
	y	0,432...0,511		0,4724	0,4672	0,4821	0,4825	0,4457	0,447	
	Y	15...45		34,66	18,64	33,82	34,41	33,68	27...28	
Желтый	x	0,080...0,230	0,1445	0,1427	0,142	0,137	0,1379	0,1421	0,218	
	y	0,036...0,230	0,0854	0,1019	0,1212	0,1039	0,1042	0,1151	0,226	
	Y	1,0...10	1,76	2,67	3,49	3,92	3,86	4,52	7...8	
Зеленый	x	0,014...0,304	0,1577	0,1333				0,1541		
	y	0,37...0,69	0,4059	0,418				0,4044		
	Y	3,0...9,0	5,87	5,58				7,95		

Примечания: 1. Требования и показатели светлоты определены по стандарту ASTM 4956-90. 2. Требования к координатам цветности указаны по действующему в Республике Беларусь ГОСТ как крайние значения каждой из координат.

Таблица 8.2

Фотометрические характеристики (удельный коэффициент силы света, кд/лк·м²)

Цвет	ГОСТ	ЗМ			Avery Dennison			Елгава
		710	3200	3800	F3100	F1500	F2500	
Белый	≥ 20	57	66...75	228	69	76	700	22...25
Красный	≥ 5	10...11	18...22	48...49	24	15	158	19
Желтый	≥ 15		60...71	166...194	38	46	567	14
Синий	≥ 3	0...1	4...8	17	11	4	71	20
Зеленый	≥ 7	4...5	8	38			126	

8.1.3. Оборудование для измерения светотехнических характеристик дорожных знаков

Для измерения светотехнических характеристик световозвращающих пленок необходимо соответствующее оборудование. Для этих целей можно использовать спектрофотометры и ретрорефлектометры различных моделей.

Спектрофотометр — прибор, предназначенный для регистрации зависимости энергии прошедшего через объект, отраженного или рассеянного света от частоты или длины волны.

Спектрофотометры могут работать в различных диапазонах длин волн — от ультрафиолетового до инфракрасного. В зависимости от этого приборы имеют разное назначение.

Спектрофотометры, работающие в видимом диапазоне длин волн и ближнем ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, применяются для измерения цвета.

Спектрофотометры, измеряющие спектральный апертурный коэффициент отражения исследуемого объекта относительно рабочего стандарта с известной спектральной характеристикой, используют для освещения объекта белый или монохроматический свет. Принципиальные схемы приборов каждого вида приведены на рис. 8.8.

В промышленности для измерения цвета применяется два класса инструментов: с геометрией 45°/0° либо со сферической геометрией.

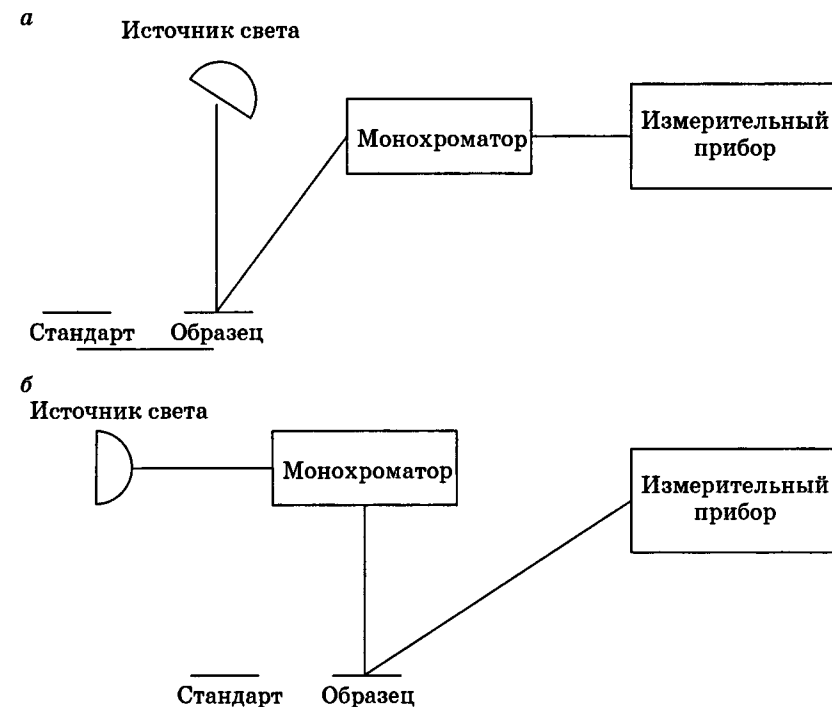


Рис. 8.8. Принципиальные схемы работы спектрофотометров: а — образец освещается белым светом; б — образец освещается монохроматическим светом

В приборах с геометрией 45°/0° используется круговое освещение, которое падает на исследуемый образец под углом 45°, с углом наблюдения 0° (детектор прибора расположен перпендикулярно поверхности образца). Круговое освещение необходимо, чтобы обеспечить повторяемость результатов измерений на текстурированных и структурированных поверхностях. Геометрия 45°/0° воспроизводит нормальное положение, используемое для определения цвета.

Если взять несколько образцов одинакового цвета, но с разной степенью блеска и разной структурой поверхности, более блестящая поверхность визуально воспринимается как более темная и насыщенная, чем менее блестящая или структурированная, т.е. приборы с геометрией 45°/0° определяют раз-

личия в блеске и текстуре образцов, из чего вытекают цветовые различия. Измерения необходимо согласовывать с визуальной оценкой, когда сравниваются разные партии изделий в процессе производства, а также при сборке многокомпонентных изделий, в которых использованы разные материалы.

Приборы со сферической геометрией освещают прибор диффузно, при помощи окрашенной в белый цвет интегрирующей сферы. Ее дефлекторы (щиты) не позволяют свету прямо падать на поверхность образца, измерение проводится с углом наблюдения 8° . Сферические измерители могут работать в двух режимах: включая либо исключая зеркальный эффект. При измерениях с учетом зеркального эффекта определяется весь отраженный свет: диффузное отражение (цвет) + прямое отражение (блеск). Цвет измеряется независимо от блеска и текстуры поверхности образца. Показаниями для измерений в таком режиме являются интенсивность цвета, зависящая от времени дисперсии, влияние на цвет эрозии и температуры, подбор цвета.

В режиме исключения зеркального эффекта используется уловитель блеска, который поглощает прямо отраженный свет (блеск). Такая конфигурация схожа с геометрией $45^\circ/0^\circ$. Однако при тестировании образцов со средней и низкой степенью блеска будут наблюдаться различия между измерениями, проведенными прибором с конфигурацией $45^\circ/0^\circ$ и сферическим прибором в режиме исключения зеркального эффекта, так как уловитель блеска не полностью исключает зеркальную составляющую.

Сравниваться могут только измерения, проведенные в одинаковых условиях, поэтому в отчете об оценке цвета необходимо наличие таких данных, как геометрия прибора-измерителя; характеристики светильника/светоприемника; цветовая система, в соответствии с которой проводилась оценка; сведения о подготовке образца перед тестированием.

Приборы-цветотестеры, или спектрофотометры, стационарные и портативные, производят многие фирмы, в том числе американская компания X-Rite, немецкие ElektroPhysik и BYK-Gardner, британская Sheen.

Спектрофотометры X-Rite (табл. 8.3). Портативные сферические спектрофотометры серии SP (модели 60, 62 и 64) компании X-Rite предназначены для работы в лабораторных, заводских и полевых условиях. Они полностью автономны, питаются от встроенного аккумулятора с зарядным устройством. Управление и обработка измерений производятся микропроцессором.

Таблица 8.3

Основные характеристики X-Rite

Характеристика	Значение
Геометрия измерения, град.	$45^\circ/0^\circ$
Геометрия наблюдения, град.	2; 10
Апертура, мм	4, 8, 14 (сменная)
Типы осветителей	C, D50, D65, D75, A, F2, F7, F11, F12
Белизна и желтизна	Согласно ASTM E313—98
Память	1024 эталона, 2000 образцов
Дисплей	Жидкокристаллический, 128×256 пикселей
Воспроизводимость (цветовое различие, получаемое на одном и том же приборе при повторном измерении образцов со стабильными характеристиками (например, эталонов BCRA) в контролируемых температурных условиях с короткими или длинными интервалами времени)	По белому эталону $\leq 0,05 \Delta E_{CIE\Delta AB}$
Спектральный интервал измерений, нм	400...700
Волновой интервал (расстояние между измеряемыми длинами волн)	Диоды в детекторе расположены через каждый 1 нм, при этом данные с каждого десяти диодов могут объединяться, давая полосу пропускания 10 нм с волновым интервалом 1...10 нм

Окончание табл. 8.3

Характеристика	Значение
Фотометрический интервал, %	0...200
Время измерения (необходимое для измерения образца, включая время на сопоставление сигналов в каналах измерения и сравнения, и послышки сигнала в компьютер), с	2
Выход на компьютер	RS-232
Тип батареи и ее ресурс	NiCd, 7,2 VDC, 1450 мА·ч
Адаптер	90...130 ВА, 50...60 Гц, 15 Вт. Полная зарядка батареи за 4 ч
Габариты, см	10,9 × 8,4 × 19,6
Масса, кг	1,1

Спектрофотометр представляет собой моноблок, на верхней стороне которого находятся большой графический жидкокристаллический дисплей и кнопки управления (рис. 8.9).

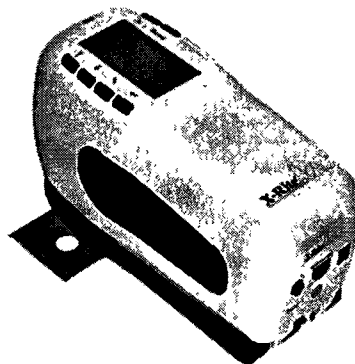


Рис. 8.9. Спектрофотометр X-Rite серии SP

Источником света служит газонаполненная вольфрамовая лампа, светоприемником — сине-увеличенные кремниевые фотодиоды. Чтобы прибор было легче держать, он снабжен ре-

мешком, который надевается на запястье, и удобными для захвата вставками по бокам корпуса, а специальная подставка помогает регулировать его положение. Прибор позволяет быстро измерить и сравнить два цвета без необходимости вводить допустимые отклонения цвета (цветовые допуски) и сохранять данные.

Спектрофотометр может работать в режиме простой оценки «годно/негодно» — о результате, кроме дисплея, сообщает красный или зеленый сигнал светодиодного индикатора, а также звуковой сигнал. Память спектрофотометра вмещает до 1024 цветовых эталонов в виде их спектральных характеристик, буквенно-цифровых названий и значений цветовых допусков, а также 2000 измерений, хронологически присоединенных к отдельным эталонам. Дополнительно прибор определяет степень белизны и желтизны покрытия (в соответствии со стандартом ASTM E313-98), укрывистость (прозрачность) и относительную интенсивность цвета. Чтобы определить влияние зеркальности, прибором SP можно одновременно производить измерения с включением и исключением зеркальной составляющей.

Измерения вводятся в компьютер через интерфейс RS-232 при помощи специального программного обеспечения. Модели SP60 поставляются с установленной апертурой 8 мм; модели SP62 — на выбор, с установленной апертурой 4, 8 или 14 мм; модели SP64 либо снабжены переключателем, позволяющим устанавливать апертуру 4 или 8 мм (прибор распознает заданную апертуру и автоматически подстраивает калибровку, что позволяет оператору быстро менять режим измерения в зависимости от размера тестируемого образца), либо поставляются с установленной апертурой 14 мм.

Кроме сферических, компания X-Rite выпускает и портативные спектрофотометры с геометрией 45°/0° — модели 962 и 964. По внешнему виду они не отличаются от сферических измерителей. Апертура в спектрофотометрах X-Rite моделей 962 и 964 переключается — можно устанавливать 4, 7 или 15 мм. Модель 964 дополнительно снабжена функцией

Job (как и сферический измеритель SP64). Job — это запрограммированная последовательность действий (шагов), которая «ведет» оператора по процессу измерения цвета. До шести строк инструкций загружается из программного обеспечения X-Rite и высвечивается на жидкокристаллическом дисплее прибора.

Светотехнические особенности дорожной разметки и оборудование для оценки ее световозвращающих качеств

8.2.

Разметка занимает особое место среди технических средств организации дорожного движения. Основным ее отличием от остальных технических средств организации дорожного движения является продолжительность нахождения в поле зрения водителей транспортных средств. Эта особенность позволяет с высокой эффективностью применять разметку не только для регулирования транспортных потоков, но и для организации движения пешеходов. Оценка эффективности дорожной разметки — задача достаточно непростая. Еще несколько лет назад качество горизонтальной дорожной разметки оценивалось исключительно визуально, что объяснялось прежде всего отсутствием необходимого приборного оснащения. В настоящее время ситуация в значительной мере изменилась. Для оценки световозвращающих качеств дорожной разметки активно используются приборы, называемые *ретрорефлектометрами*.

Ретрорефлектометр ZRM 1013+ представляет собой портативный прибор с питанием от аккумуляторов для определения видимости дорожной разметки в условиях светлого и темного времени суток (рис. 8.10).



Рис. 8.10. Общий вид ретрорефлектометра ZRM 1013+

Отражающая способность дорожной разметки (видимости в условиях темного времени суток) измеряется в реальном масштабе. Угол обзора $2,29^\circ$ соответствует расстоянию до элемента разметки, равному 30 м при нормальных условиях. При этом угол облучения составляет $1,24^\circ$ (рис. 8.11).

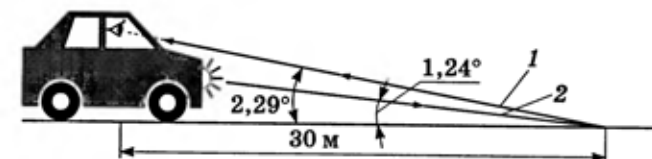


Рис. 8.11. Схема определения видимости разметки в темное время суток:

1 — водитель автомобиля (получатель); 2 — фары автомобиля (облучатели)

Яркость (видимость в условиях светлого времени суток) измеряется в реальном масштабе. Угол обзора $2,29^\circ$ соответствует расстоянию до элемента разметки, равному 30 м при нормальных условиях. Облучение происходит рассеянным светом (рис. 8.12).

Особенности прибора ZRM 1013+:

□ определение видимости в условиях светлого и темного времени суток возможно в любое время суток, т.е. даже днем можно определить видимость в условиях темного времени суток;

□ возможность компенсации паразитной засветки;

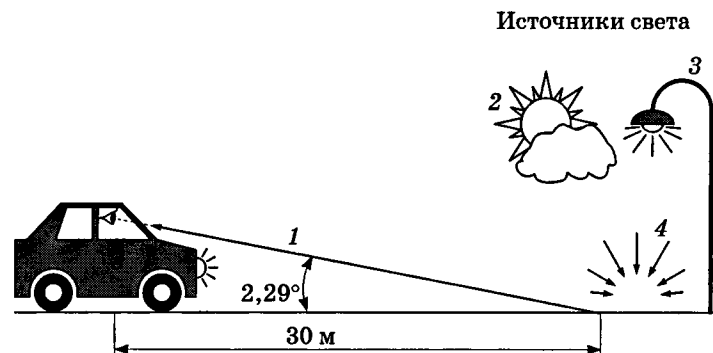


Рис. 8.12. Схема определения видимости разметки в светлое время суток:

1 — водитель автомобиля (получатель); 2 — солнечный свет; 3 — искусственное освещение; 4 — рассеянный свет

- простая и быстрая калибровка;
- использование с любым материалом разметки: дорожные краски, термопластики и пластики холодного нанесения, сигнальные ленты;
- возможность работы с разметкой как со световозвращателями, так и без таковых;
- возможность работы со стеклянными и керамическими световозвращателями;
- возможность работы как с плоской, так и с текстурированной разметкой;
- измерение видимости дорожной разметки в сухом, влажном и мокром состоянии.

Ретрорефлектометр для вертикальной дорожной разметки RetroSign, модель 4000. Это портативный и автономный прибор, разработанный для точного измерения коэффициента световозвращения вертикальной дорожной разметки и дорожных знаков с прямым считыванием показаний в $\text{кд}/(\text{м}^2 \cdot \text{лк})$, согласно нормам DIN 67520, EN 471 и ASTM E 1709 (табл. 8.4). Прибор оснащен встроенными фильтрами, которые позволяют измерять любой цвет покрытия, используя единый калибровочный эталон, без дополнительной корректировки.

Таблица 8.4

Основные характеристики ретрорефлектометра RetroSign, модель 4000

Характеристика	Значение
Норматив	DIN 67520
Площадь измерения, мм	Ø 30
Угол входа, град.	+ 5
Угол наблюдения, град.	0,33
Угловая апертура источника освещения, град.	0,16
Угловая апертура приемника, град.	0,16
Пределы измерения, $\text{кд}/(\text{м}^2 \cdot \text{лк})$	0...2000
Память, измерений	100
Передача данных на компьютер	RS232
Габаритные размеры, мм	295×83×324
Масса, кг	2,1

Имеется возможность встроить в прибор детектор GPS для точного определения места измерения. Прибор полностью автономен и работает от никель-кадмиевой быстро заряжаемой батареи. Полная зарядка происходит за 15 мин.

В комплект поставки прибора входит программное обеспечение для компьютера, соединительный шнур для компьютера, никель-кадмиевый аккумулятор, зарядное устройство для аккумулятора, редуктор для уменьшения площади измерения до 15 мм, чемодан для упаковки и переноски.

Измеритель «диффузного отражения» для горизонтальной дорожной разметки QD30. Портативный инструмент, предназначенный для измерения отражения горизонтальной дорожной разметки непосредственно на дороге, согласно UNE-EN 1436 (табл. 8.5). Прибор способен измерять свойства отражения как сухих поверхностей, так и мокрых, как ровных дорожных полос, так и структурированных и профилированных (максимум до 4 мм высоты). С помощью диффузного ос-

вещения и прямого считывания показаний в кд/(м²·лк) прибор воспроизводит дневные условия наблюдения.

Прибор имеет встроенный сенсор уровня непрямого освещения и способен компенсировать влияние внешнего солнечного освещения, гарантируя тем самым независимые и повторяемые результаты измерений в каждый момент времени.

Встроенные принтер и внутренняя память позволяют регистрировать и дополнительно документировать результаты и данные измерений.

Таблица 8.5

Основные характеристики ретрорефлектометра QD30

Характеристика	Значение
Источник освещения	Диффузный, согласно CEN
Угол наблюдения относительно дороги, град.	2,29
Угол освещения относительно дороги, град.	1,24
Угол апертуры, град.	0,33
Дистанция наблюдения, м	Эквивалентна 30
Область измерения, мм	45 × 175
Пределы измерения, кд/(м ² ·лк)	0...318
Питание	Внутренняя аккумуляторная батарея 12 В
Время зарядки аккумулятора, ч	≈ 8
Память, измерений	1000
Передача данных на компьютер	Интерфейс RS 232
Размеры, мм	630 × 540 × 470
Масса, кг	11,5

В комплект поставки входит калибровочный эталон с сертификатом производителя, зарядное устройство для батареи и транспортировочный чемодан.

Ретрорефлектометр для горизонтальной дорожной разметки LTL 2000SQ (рис. 8.13, табл. 8.6). Портативный прибор, который служит для точного измерения коэффициента световозвращения горизонтальной дорожной разметки. Он моделирует условия как дневной видимости, для этого встроен модуль Qd с точной фильтрацией, так и ночной (RL). Соответствует нормам EN 1436 и ASTM E1710. Определяет свойства отражения как сухих поверхностей, так и мокрых, как ровных дорожных полос, так и структурированных и профилированных (максимум до 4 мм высоты).

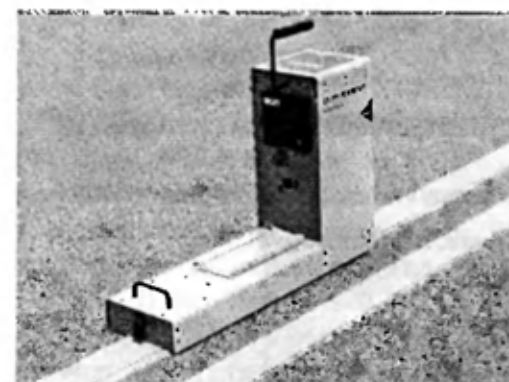


Рис. 8.13. Общий вид ретрорефлектометра LTL 2000SQ

Модель LTL 2000SQ — это улучшенная версия прибора LTL 2000, известного во всем мире благодаря точности и повторяемости результатов измерений непосредственно на дороге. Прибор имеет встроенный сенсор уровня непрямого освещения и способен компенсировать влияние дневного солнечного освещения, гарантируя тем самым независимые и повторяемые результаты измерений в каждый момент времени. Встроенные принтер и внутренняя память позволяют регистрировать и дополнительно документировать результаты и данные измерений, а аккумулятор обеспечивает автономность работы.

Таблица 8.6

Основные характеристики ретрорефлектометра LTL 2000SQ

Характеристика	Значение
Площадь измерения, мм	45 × 200
Угол освещения относительно дороги	1,24° (ночные условия), диффузное освещение (дневные условия)
Угол наблюдения относительно дороги, град.	2,29
Угловое рассеивание освещения, град.:	
горизонтальное	0,33
вертикальное (ночные условия)	0,17
Угловое рассеивание освещения, град.	0,33
Дистанция наблюдения, м	Эквивалентна 30
Пределы измерения, кд(м ² ·лк):	
ночью	0...2000
днем	0...318
Память, измерений	1000
Передача данных	RS232
Размеры, мм	570 × 200 × 465
Масса, кг	12

В комплект поставки входит измерительный прибор LTL 2000SQ без принтера, чемодан для упаковки и переноски, калибровочный эталон отражения с сертификатом производителя, зарядное устройство для аккумулятора, инструкция по эксплуатации.

Светотехнические характеристики 8.3. дорожного покрытия

Восприятие водителем дорожной ситуации, его психофизиологическое состояние во многом зависит от светотехнических характеристик дорожного покрытия и систем освещения дороги.

Освещение дороги предусматривается в местах повышенной опасности (на больших мостах, автобусных остановках, автозаправочных станциях, переездах, пересечениях дорог I и II категории, 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, 4 лк — на соединительных ответвлениях пересечений в разных уровнях. Яркость проезжей части дорог и мостов должна составлять: дороги I категории — 0,8 кд/м², II категории — 0,6 кд/м², соединительные ответвления пересечений в разных уровнях — 0,4 кд/м². 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 увеличивает эффект ослепления водителей встречного транспорта. Шероховатые покрытия способствуют рассеиванию света и световозвращению, что обеспечивает лучшее восприятие водителем особенностей проезжей части и других участников дорожного движения.

Еще большее значение светотехнические характеристики дорожного покрытия приобретают в темное время суток. На дорогах, имеющих стационарное освещение, от светотехнических характеристик дорожного покрытия в значительной степени зависит расход электроэнергии на освещение.

К основным светотехническим характеристикам дорожного покрытия относят количественную способность покрытия отражать падающий световой поток, характеризующую коэффициентом отражения, и способность распределять отраженный световой поток в пространстве, характеризующую индикатрисой рассеивания светового потока.

8.3.1. Определение коэффициента диффузного отражения элементов проезжей части

Для измерения коэффициента диффузного отражения различных поверхностей могут использоваться фотоэлектрические блескомеры ФБ-2 и БФО. Действие приборов основано на преобразовании светового потока в электрический сигнал.

Блескомер ФБ-2 (табл. 8.7) предназначен для измерения коэффициента зеркального отражения при геометрии освещения-наблюдения $45^\circ/45^\circ$ и коэффициента яркости при геометрии освещения-наблюдения $45^\circ/0^\circ$ направленного светового потока от поверхности лакокрасочных покрытий в видимой области спектра с целью количественной оценки зрительного восприятия человеческим глазом степени блеска и белизны указанных покрытий соответственно. Блескомер может использоваться во всех отраслях промышленности, где применяются или выпускаются изделия с лакокрасочными покрытиями. Прибор эксплуатируется в следующих условиях:

- температура окружающего воздуха — от 1 до 40 °С;
- атмосферное давление — 84...106,7 кПа (630...800 мм рт. ст.);
- относительная влажность окружающего воздуха — не более 80 % при температуре 25 °С;
- напряжение питания — 220 + 22 В;
- частота переменного тока питания — 50 + 1 Гц.

Таблица 8.7

Основные характеристики блескомера ФБ-2

Характеристика	Значение
Диапазон измерений коэффициента зеркального отражения при геометрии освещения-наблюдения $45^\circ/45^\circ$ направленного светового потока от поверхности лакокрасочных покрытий в видимой области спектра (служит показателем степени блеска), %	0...65
Диапазон измерений коэффициента яркости при геометрии освещения-наблюдения $45^\circ/0^\circ$ направленного светового потока от поверхности лакокрасочных покрытий в видимой области спектра (служит показателем степени белизны), %	0...100
Предел допустимого значения основной абсолютной погрешности блескомера, %, не более	+ 4
Коэффициент яркости рабочего стандартного образца белой поверхности при геометрии освещения-наблюдения $45^\circ/0^\circ$, %	93 + 7 (конкретное значение указывается в свидетельстве о поверке данного рабочего стандартного образца белой поверхности, входящего в комплект поставки блескомера)
Коэффициент зеркального отражения рабочего стандартного образца блестящей поверхности при геометрии освещения-наблюдения $45^\circ/45^\circ$, %	65 + 2 % (конкретное значение указывается в свидетельстве о поверке данного рабочего стандартного образца блестящей поверхности, входящего в комплект поставки блескомера)
Цена каждого деления шкалы, %	1
Пределы шкалы измерительного прибора, мкА	0,1
Питание	От сети переменного тока напряжением 220 В при частоте 50 Гц

Окончание табл. 8.7

Характеристика	Значение
Приемник света	Селеновый фотоэлемент типа Ф41-С
Угол, образованный направлением падающих на контролируемую поверхность лучей и нормалью к ней, град.	45 + 2 (при определении степени блеска) 0 + 2 (при определении степени белизны лакокрасочных покрытий)
Потребляемая мощность, Вт, не более	6
Масса блескомера, кг, не более	7
Габаритные размеры блескомера, мм, не более:	
измерительного прибора	290×252×190
датчика	92×47
рабочего стандартного образца блестящей поверхности	40×90
рабочего стандартного образца белой поверхности	40×90
Продолжительность однократного измерения, мм, не более	2

Блескомер фотоэлектрический БФО (табл. 8.8) предназначен для измерения блеска лакокрасочных покрытий, пластмасс и других неметаллических поверхностей при геометрии освещения/наблюдения 20°/20° и 60°/60°.

Блескомеры БФО эффективно используются во всех областях деятельности, где блеск определяет качество.

Измерения блеска могут производиться способом наложения измерительной головки на исследуемую поверхность, образец.

Питание прибора — от внутренних источников питания постоянного тока. При полностью заряженных аккумуляторах возможно непрерывное действие прибора в течение восьми часов. В случае необходимости можно зарядить внутренние источники питания с помощью зарядного устройства, входящего в комплект прибора.

Таблица 8.8

Основные характеристики блескомеров БФО-1М-20° и БФО-1М-60°

Характеристика	Значение	
	БФО-1М-20°	БФО-1М-60°
Диапазон измерения блеска, ед. блеска	2...100	
Одноугловые измерительные головки обеспечивают измерение блеска при углах освещения E1 и наблюдения E2	E1 = E2 = 20 ± 0,5°	E1 = E2 = 60 ± 0,2°
Время сохранения информации на цифровом табло после отжатия кнопочного выключателя, с, не менее	7	
Предел допустимого значения основной абсолютной погрешности измерения, ед. блеска, не более	±1	
Потребляемая мощность при работе от сети, Вт, не более	1	
Габаритные размеры, мм	180×40×120	180×40×90
Масса, кг	0,9	0,7

Блескомеры фотоэлектрические одноугловые БФО-1М-20°, БФО-1М-60° соответствуют требованиям международных стандартов ISO 2813, ASTM D523.

8.3.2. Определение светотехнических характеристик элементов проезжей части методом измерения индикатрис рассеивания светового потока

Для измерения индикатрисы рассеивания светового потока дорожным покрытием может быть использована установка, блок-схема которой приведена на рис. 8.14.

Установка состоит из собирающей линзы, снабженной диафрагмой; механического модулятора, установленного перед диафрагмой; фотоприемника; высоковольтного стабилизато-

ра выпрямителя для питания фотоумножителя; микровольтметра; регистрирующего устройства; осциллографа. Измерительная система в составе объектива и фотоумножителя конструктивно смонтирована в моноблоке и установлена на координатно-поворотном устройстве, что дает возможность наводить оптическую ось приемного устройства в заданную точку участка дороги.

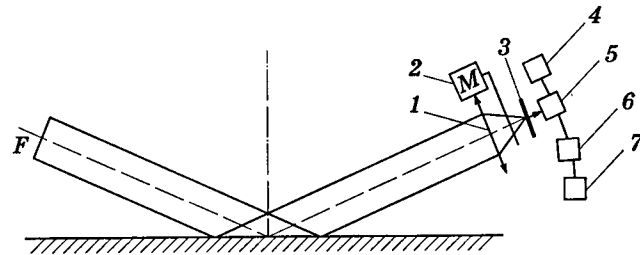


Рис. 8.14. Блок-схема установки для измерения индикатрис рассеивания светового потока:

1 — собирающая линза; 2 — механический модулятор; 3 — диафрагма; 4 — высоковольтный стабилизатор выпрямителя для питания фотоумножителя; 5 — фотоприемник; 6 — микровольтметр; 7 — регистрирующее устройство

Работает установка следующим образом. Отраженный дорожным покрытием в определенном направлении световой поток собирается в фокусе объектива и моделируется модулятором М. Модулированный световой поток с частотой 1 кГц подается на входное окно фотоприемника, в котором преобразовывается в электрический сигнал. Этот сигнал подается на узкополосный измерительный усилитель, настроенный на частоту модулятора, и записывается регистрирующим устройством. Осциллограф служит для визуального контроля сигналов с фотоприемника и микровольтметра.

Приборы установки питаются от двух аккумуляторов общим напряжением 24 В через преобразователь, который преобразует напряжение 24 В постоянного тока в 220 В переменного тока.

Измерение индикатрисы рассеивания светового потока дорожным покрытием осуществляется следующим образом (рис. 8.15). В темное время суток автомобиль с включенными фарами устанавливается так, чтобы оптическая ось фар пересекалась с дорожным покрытием в исследуемом участке. Правильность установки автомобиля контролируется по освещенности, создаваемой его фарами в исследуемом участке, которая может быть измерена люксметром. Затем на исследуемый участок устанавливают координатно-поворотное устройство с приемником, с помощью которого измеряют в условных единицах силу света, отраженного от покрытия. Измерения проводятся под углом $0...180^\circ$ через $5...10^\circ$ перпендикулярной плоскости дороги, проходящей по оси движения транспорта.

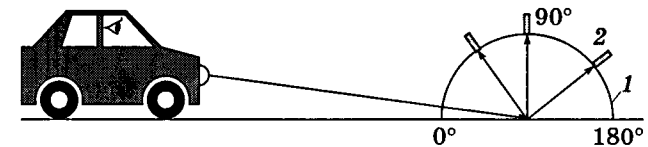


Рис. 8.15. Схема измерения индикатрисы рассеивания:
1 — координатно-поворотное устройство; 2 — приемник

По полученным данным строят индикатрисы рассеивания света и оценивают светотехнические характеристики исследуемого участка, измеряя площади индикатрисы S_n и S_b (рис. 8.16), характеризующие величину светового потока, отраженного назад, к источнику света (S_n), и вперед, в зеркальную зону (S_b).

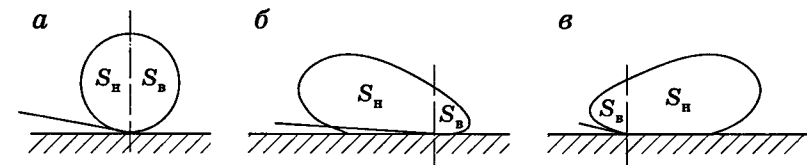


Рис. 8.16. Индикатрисы рассеивания светового потока:
а — диффузное отражение; б — световозвращающее отражение;
в — зеркальное отражение

Для участков дорог, ориентированных с востока на запад, покрытие должно иметь характер отражения светового потока, близкий к диффузному, форма индикатрисы — напоминать форму круга (рис. 8.16, а), такое покрытие не будет иметь бликов на поверхности даже в наиболее неблагоприятный момент, когда солнце находится низко над горизонтом, а автомобиль движется ему навстречу.

На дорогах с большой интенсивностью движения в темное время суток покрытие должно иметь световозвращающий характер, т.е. большая часть светового потока должна отражаться в сторону источника света (рис. 8.16, б).

После определения S_n и S_b рассчитывают коэффициент световозвращения покрытия (K_c) и коэффициент зеркальности (K_z):

$$K_c = \frac{S_n}{S_n + S_b}, \quad (8.1)$$

$$K_z = \frac{S_b}{S_n + S_b}. \quad (8.2)$$

Участки дорожного покрытия с зеркальным характером отражения световых лучей (рис. 8.16, в) неблагоприятны с точки зрения светотехнических характеристик. На таких участках необходимо устройство специальной шероховатости, которая будет перераспределять отраженный световой поток назад, к источнику света.

По результатам измерений строят индикатрисы рассеивания для различных типов дорожных покрытий и делают вывод о благоприятности данных типов покрытий с точки зрения светотехнических характеристик. При необходимости предусматривают мероприятия по их улучшению.

9

ДИАГНОСТИКА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ

Технические средства диагностики

9.1. условий эксплуатации

Кроме определения транспортно-эксплуатационного состояния дорог, важно знание погодных-климатических условий, в которых эксплуатируется дорога. Широкий диапазон температур, осадки, солнечная радиация негативно воздействуют на дорогу, в первую очередь на дорожное покрытие, способствуя его старению и разрушению. Особенно сложным является содержание покрытия зимой.

Для нормального функционирования эксплуатационных служб необходима оперативная информация о состоянии покрытия дорог в зимних условиях. Получение в нужный момент данных о возможности наступления гололеда позволит не допустить возникновения этого крайне опасного явления или уменьшить его последствия. В условиях быстрого развития автомобилизации, высокой интенсивности движения, незначительной протяженности дорог, имеющих разделительную полосу, крайне важна ранняя диагностика неблагоприятных условий работы покрытий. Развитие средств компьютерной техники, телекоммуникации и связи создает в настоящее время все предпосылки для успешного решения этой проблемы. Незаменимым оборудованием в работе дорожных служб становятся системы предупреждения о гололеде, с помощью которых можно повысить общий уровень безопасности движения на дорогах.

В состав системы предупреждения о гололеде входят дорожные измерительные станции (ДИС), центральные и рабочие станции, размещенные в определенных местах на дороге, а также компьютеры со специальным программным обеспе-

чением, принимающие и обрабатывающие информацию, находящиеся, как правило, в диспетчерской службе организации, эксплуатирующей дорогу.

Основным элементом систем предупреждения о гололеде являются ДИС, измеряющие параметры дорожного покрытия и атмосферные условия в определенных точках дороги. Станции предоставляют точные данные о местных атмосферных условиях, что позволяет заранее прогнозировать наступление гололеда. Это дает возможность значительно уменьшить количество применяемых химических противогололедных средств (а значит, снизить стоимость зимнего содержания и экологические потери), а также повысить безопасность дорожного движения.

Система содержит произвольное количество ДИС, их сеть может быть расширена по мере необходимости и при наличии возможности.

Основной задачей дорожной измерительной станции является измерение и регистрация метеорологических параметров, а также параметров поверхности дороги на участке, характеризующемся локальным микроклиматом, на участках дороги с повышенной опасностью возникновения гололеда, а также передача текущих данных в диспетчерскую службу. Станция должна быть размещена непосредственно у дороги на опасном участке.

Дорожные измерительные станции оснащены электронной измерительной техникой, поскольку только она позволяет осуществлять длительные автоматические измерения, регистрацию, передавать полученные данные на расстояние, а также анализировать и обрабатывать их.

ДИС оборудована набором измерительных датчиков, присоединенных к многофункциональному электронному блоку, назначением которого является измерение данных и регистрация их, автоматическая передача информации на компьютер диспетчерской службы с использованием различных средств связи (телефон, радио или сотовый телефон), а также анализ измеренных данных и прогноз гололеда (рис. 9.1).

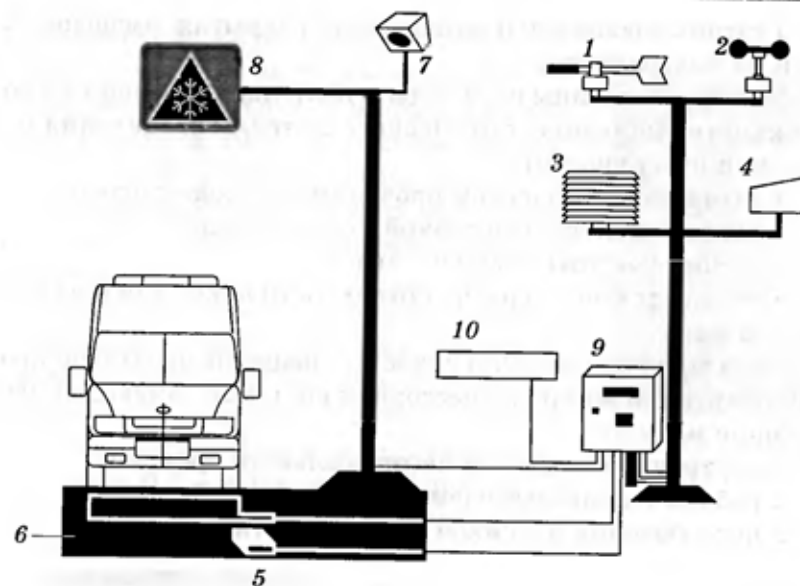


Рис. 9.1. Схема оборудования дорожной измерительной станции: 1 — датчик направления ветра; 2 — датчик скорости ветра; 3 — датчик температуры и влажности воздуха; 4 — датчик количества осадков; 5 — датчик состояния покрытия; 6 — индуктивные петли для учета интенсивности движения; 7 — видекамера; 8 — знак переменной информации; 9 — регистратор; 10 — модем

Дорожная измерительная станция обычно имеет следующее оборудование:

- электронный регистрирующий блок (регистратор);
- проводную телефонную линию и модем или модем для работы в сотовой сети;
- датчики скорости и направления ветра, размещенные на мачте на высоте около 9 м;
- датчик вида и интенсивности атмосферных осадков, размещенный на высоте около 3 м;
- датчики температуры и влажности воздуха, размещенные на высоте около 3 м;
- датчик фактического состояния погоды (ясно, пасмурно, туман, дымка);

- датчик влажности и засоленности покрытия, расположенный на поверхности;
- датчик толщины слоя воды и наличия льда/снега на поверхности (на основе оптического метода определения состояния поверхности);
- датчик электрической проводимости поверхности;
- датчик электрохимической поляризации;
- датчик частоты «черного льда»;
- датчик температуры на поверхности покрытия и на глубине 5 см.

Регистратор (рис. 9.2) является специализированной программируемой микропроцессорной системой, имеющей следующие модули:

- внутренней памяти и часов реального времени;
- работы с пользователем;
- подключения датчиков различных типов.



Рис. 9.2. Регистраторы системы предупреждения о гололеде

Регистратор подключается к сети 220 В и внутреннему аккумулятору 12 В. Потребляемая мощность 8 Вт. Система может работать до 30 ч без подачи энергии извне (потребление энергии зависит от количества подключенных датчиков). Регистратор способен поддерживать работу часов реального времени и длительное время хранить данные во внутренней памяти. При отсутствии подачи электроэнергии отсчет времени и хранение запрограммированных параметров работы регистратора продолжают в течение 30 сут. В момент подачи электроэнергии регистратор самостоятельно возобновляет процесс регистрации. Регистрация данных может выполняться с различной периодичностью, задаваемой программно, — от 2 до 60 мин.

Датчик скорости ветра (рис. 9.3). Измерение скорости ветра выполняется непрерывно. Получение данных осуществляется каждые 10 с. Из массива средних 10-секундных данных вычисляется средняя скорость ветра за период измерений, а также определяется максимальная его скорость.

Активным элементом датчика скорости ветра является ротор с чашами. Импульсы преобразуются в электрический сигнал с помощью оптоэлектронного датчика. Диапазон измерений — 0,4...50 м/с. Точность измерений — 0,2 м/с. Напряжение питания — 6,4...7,2 В, ток питания — 1,2 мА. Масса датчика — 500 г.

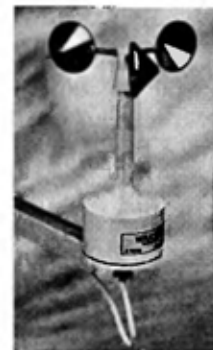


Рис. 9.3. Датчик скорости ветра

Датчик направления ветра (рис. 9.4). Измерение направления ветра выполняется каждые 10 с. Активный элемент датчика направления ветра — алюминиевый элерон. Диапазон измерений — 0...360°. Точность регистрации данных — 1°. Напряжение питания — 12 В, ток питания — 15...45 мА. Масса датчика — 600 г.

Датчики температуры воздуха и покрытия (рис. 9.5) основаны на использовании специального платинового резистора. Диапазон измерений — -50...+75 °С. Точность измерений — 0,1 °С. Ток питания — 1,0 мА. Масса — 50 г. Размеры (длина/диаметр) — 60/10 мм.



Рис. 9.4. Датчик направления ветра

Датчик влажности (рис. 9.6). Измерения влажности производятся ежеминутно и продолжаются около 15 с. Измерение выполняется два раза подряд. В случае схожести данных вычисляется среднее значение. При значительном расхождении данных выполняется третье измерение и за измеренную влажность принимается среднее значение из двух близких

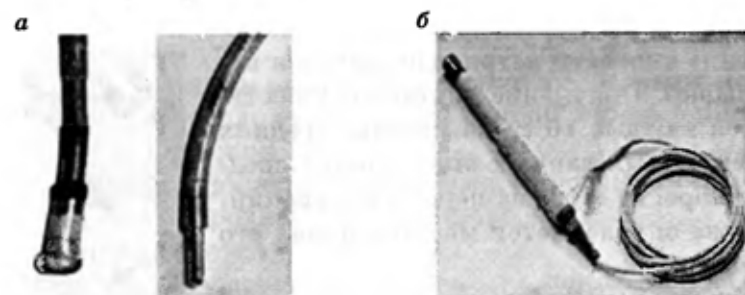


Рис. 9.5. Датчики температуры (а) и температуры-влажности (б)

показаний. Активным элементом датчика является пучок струн из гигроскопичного материала, длиной 12,5 см. Диапазон измерений — 10...100 %. Точность измерений — 2 % при влажности 0...90 % и температуре 20 °С и 3 % при влажности 90...100 %. Масса датчика — 350 г. Температура, при которой работает датчик, —50...+50 °С.

Для повышения точности работы и устранения влияния на результаты измерений солнечной радиации датчики влажности и температуры воздуха помещают в специальный противорадиационный контейнер.

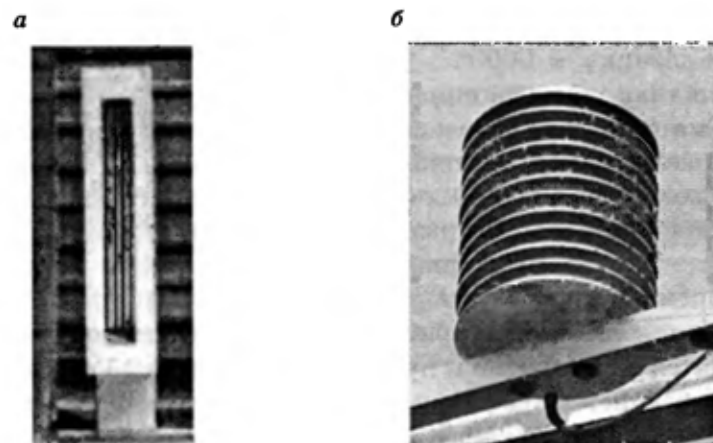


Рис. 9.6. Датчик влажности (а) и противорадиационный контейнер датчиков температуры и влажности (б)

Некоторые датчики могут быть конструктивно объединены в один модуль. Примером такого объединения является *датчик состояния дороги*, который устанавливается непосредственно в дорожное покрытие (рис. 9.7). Для обеспечения наиболее объективных измерений рекомендуется размещать по одному датчику на наиболее скоростной полосе и самой низкоскоростной.

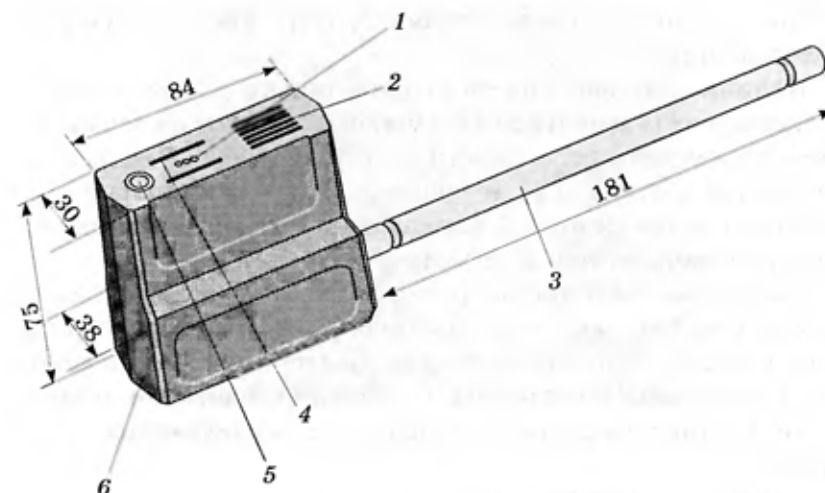


Рис. 9.7. Датчик состояния покрытия:

1 — оптический датчик; 2 — датчик обнаружения «черного льда»; 3 — защита для кабеля из нержавеющей стали; 4 — датчик проводимости поверхности; 5 — датчик температуры поверхности; 6 — датчик температуры грунта

Датчик позволяет измерять шесть параметров:

- толщину слоя воды и наличие льда/снега на поверхности (на основе оптического метода определения состояния поверхности);
- электрическую проводимость поверхности;
- электрохимическую поляризацию;
- частоту «черного льда»;
- температуру поверхности;
- температуру покрытия на глубине не менее 5 см.

Датчик производит оптические измерения состояния дорожного покрытия. Этот метод позволяет определить толщину слоя воды и наличие льда/снега на поверхности.

Проводимость и электрохимическая поляризация являются важными характеристиками водного раствора, присутствующего на поверхности, на основе которых определяется количество антиобледенителей.

Используя температурные данные и данные о состоянии покрытия, можно определить температуру замерзания и риск обледенения.

Наличие на поверхности непроводящего монокристаллического льда («черного льда») устанавливается на основе измерения емкости поверхности дороги, зависящей от диэлектрической проницаемости вещества, датчиком обнаружения «черного льда», который измеряет емкость поверхности дороги (соответствующую частоту «черного льда»).

Возможное наличие непроводящего льда на поверхности дороги устанавливается на основе определения диэлектрических свойств вещества, находящегося на поверхности сенсора, и измерений оптических свойств дорожного покрытия.

Состояние поверхности отображается в следующих градациях:

- сухо (поверхность сухая);
- влажно (поверхность влажная);
- мокро (поверхность мокрая);
- мокро + химикаты (поверхность мокрая и присутствует антиобледенительный реагент);
- иней (на поверхности присутствует иней);
- снег (снег идет или недавно выпал);
- лед (на поверхности лед);
- влажно + химикаты (поверхность влажная и присутствует антиобледенительный реагент).

Датчики осадков. Осадки могут регистрироваться датчиками различных типов. Наиболее простым является импульсный датчик (лоток), активным элементом которого служит опрокидывающийся лоток. Специального обслуживания не требует. Производится в версии необогреваемой и тогда рабо-

тает только при положительных температурах и в версии обогреваемой. Диапазон измерений — 0...6 мм/мин. Точность измерений — 0,1 мм.

Более совершенным является оптический датчик, регистрирующий вид осадков и их интенсивность. В некоторых моделях датчик осадков совмещен с *датчиком определения метеорологической видимости* (рис. 9.8).

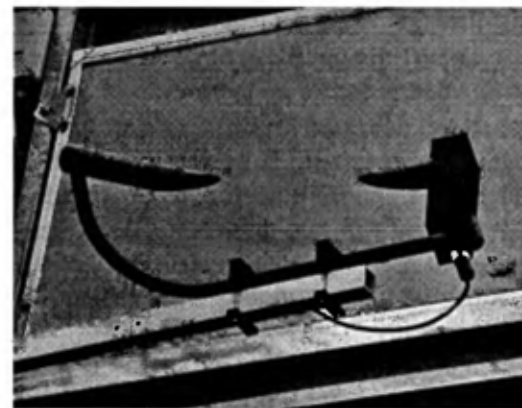


Рис. 9.8. Совмещенный датчик осадков и видимости

Центральная станция представляет собой персональный компьютер, оборудованный модемом и принтером, а также специальное программное обеспечение.

Основной задачей компьютера, входящего в состав ДИС, является организация процесса сбора данных от сети дорожных метеостанций и передача данных потребителям в необходимом объеме. Центральная система выполняет функции центра коммутации сообщений, обеспечивая своевременную доставку потребителям всей необходимой метеорологической информации.

Основные функции этой части оборудования:

- прием данных измерений от дорожных станций;
- обработка и архивация данных измерений;
- отображение состояния автодорог и метеоинформации в виде карт, таблиц и графиков;

□ выдача предупреждений об опасных явлениях (гололеде, инее, дожде);

□ обмен данными с рабочими станциями ДЭУ;

□ печать фактической и прогностической информации в виде таблиц, графиков, карт и бланков.

Дополнительно центральная станция может выполнять следующие функции:

□ прием, отображение и передачу на рабочие станции радиолокационной информации;

□ долгосрочный (6-часовой) прогноз гололеда.

Программное обеспечение включает, как правило, две основные программы. Первая программа предназначена для чтения и просмотра данных. В распоряжении оператора — данные за несколько последних часов (от 4 до 24), на основе которых формируется краткосрочный прогноз (от 2 до 4 ч). При работе программы в автоматическом режиме в случае опасности возникновения гололеда программа подает звуковые сигналы оператору.

Вторая программа предназначена для считывания данных за большой промежуток времени, представления их в виде графиков и отчетов для дальнейшего анализа. Наиболее распространенная сфера применения программы — контроль правильности использования противогололедных материалов, а также обоснование такого применения в случае претензий к службам эксплуатации.

Основной задачей **рабочей станции** является обеспечение руководящего состава дорожного эксплуатационного управления (ДЭУ) необходимой для производственной деятельности метеорологической информацией. Прогностическая информация поступает от центральной диспетчерской. Рабочая станция устанавливается в помещении ДЭУ.

Рабочая станция ДЭУ выполняет следующие основные функции:

□ прием данных измерений от центральной станции;

□ обработку и архивацию данных измерений;

□ отображение состояния автодорог и метеоинформации в виде карт, таблиц и графиков;

□ выдачу предупреждений об опасных явлениях (гололеде, инее, дожде);

□ обмен данными с центральной системой;

□ печать фактической и прогностической информации в виде таблиц, графиков, карт и бланков.

Эти функции обеспечивают возможность решения основных задач по содержанию автомобильных дорог.

В настоящее время признанным мировым лидером в производстве оборудования ДИС является фирма Vaisala Oj (Финляндия). Из других крупных производителей следует отметить Boschung Mecatronic (Швейцария), SCAN-MATIC (Норвегия).

Дорожная станция в автоматическом режиме осуществляет измерения всех параметров (влажность воздуха, температура воздуха и покрытия, скорость и направление ветра, состояние и влажность покрытия, состояние осадков, температура точки росы, температура замерзания). Результаты измерений фиксируются в электронном блоке с заданной частотой. Электронный блок оборудован часами реального времени и памятью, позволяющей обеспечить сохранение данных за 10 недель.

При работе с системой оператор запускает программное обеспечение центральной станции и имеет возможность просмотреть данные с любой из дорожных станций за последние 24 ч. Оператор на основе полученных данных анализирует ситуацию на дороге и в случае опасности возникновения гололеда принимает решение о действиях по предупреждению гололеда.

Одной из возможностей дорожной измерительной станции является совместная работа со знаком переменной информации (рис. 9.9). Знак информирует водителей о температуре покрытия и воздуха. В случае опасности возникновения гололеда появляется рисунок знака «Прочие опасности».

Независимо от своих основных задач, система может успешно использоваться также и летом, передавая информацию о температуре асфальта и воздуха. Это имеет значение для регулирования потока тяжеловесных транспортных средств, движение которых при слишком высоких температурах покрытия способствует ускоренному разрушению дорожной одежды.

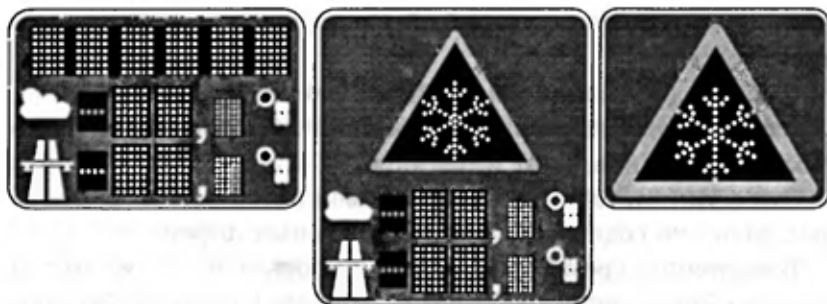


Рис. 9.9. Различные варианты знаков переменной информации

Еще одной возможностью является подключение к станции камер наблюдения. Это позволяет оператору станции получить цветное или черно-белое изображение отрезка дороги и визуально оценить состояние покрытия и загрузку дороги движением. Частота передачи изображения устанавливается произвольно и может составлять от 10 с до неопределенного времени, т.е. считывания изображения по команде оператора. Некоторые модификации камер оборудуются поворотным устройством, управляемым программно. Это позволяет получать изображение сразу двух направлений дороги. Видеоизображение принимается программным обеспечением рабочей станции или специализированными программами.

Выбор мест расположения дорожных

9.2. измерительных станций

Для того чтобы прогнозные данные, получаемые от ДИС, были максимально объективными, необходимо тщательно выбирать места расположения станций. При выборе их возможны два основных подхода: составление термокарты и расположение станций на основе учета данных микроклимата.

Термическую карту дороги следует составлять на стадии разработки проекта. Ее составление основано на том факте, что дорога имеет постоянные термические характеристики,

9.2. Выбор мест расположения дорожных измерительных станций

т.е. теплые и холодные отрезки. Расположение участков со временем не меняется и зависит от наличия застройки, растительности и некоторых других факторов. Изменение погоды также не меняет термических характеристик, а может воздействовать только на экстремальные значения. Таким образом, при изменении погоды различные участки покрытия изменяют свою температуру по-разному даже при одинаковой конструкции дорожной одежды. В связи с этим наиболее целесообразно размещать станции на наиболее холодных участках покрытия.

Термическая карта составляется при помощи специальной аппаратуры, основным элементом которой является размещенный на движущемся автомобиле термометр, работающий в инфракрасном диапазоне (рис. 9.10). Измерения выполняются точно, например каждые 10 м. Для проведения измерений существуют специальные методики и программное обеспечение (рис. 9.11).



Рис. 9.10. Лаборатория для термокартирования покрытия

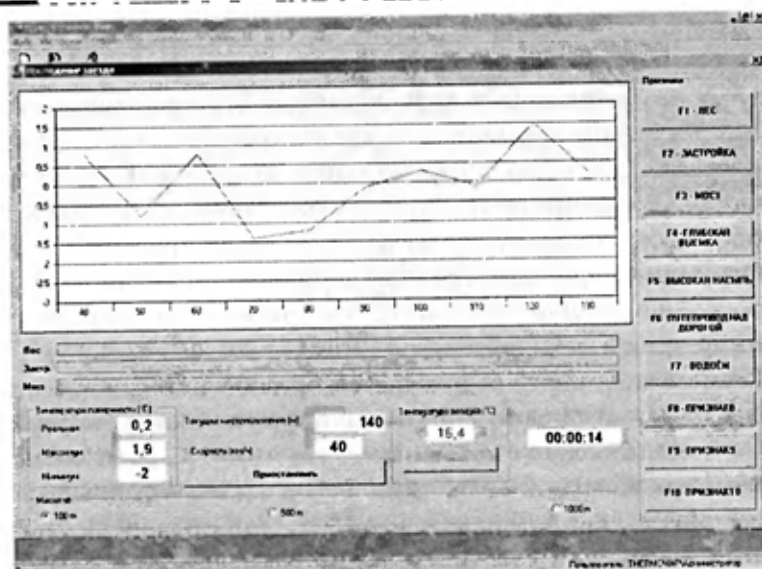


Рис. 9.11. Пример экрана программы по проведению измерений

Микроклимат местности учитывается в том случае, когда нет возможности составить термокарту, но имеются метеорологические данные об особенностях изменения микроклимата в отдельных районах прохождения дороги. Станции располагают в наиболее холодных местах.

В том случае, если места расположения станций определены без составления термической карты, ее все равно необходимо составить позднее, так как термические характеристики дороги, как правило, являются параметром программного обеспечения систем предупреждения о гололеде.

10

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

10.1. Общие сведения

Последние 40–50 лет отмечены стремительным прогрессом в области автомобилестроения. Основной тенденцией в этой области стал постоянный рост скоростей, осевых нагрузок и общей грузоподъемности. Непрерывно увеличивались объемы перевозок автомобильным транспортом. В то же время протяженность и состояние сети автомобильных дорог не соответствовали предъявляемым требованиям. По оценке ряда исследователей, в бывшем СССР прирост объемов автомобильных перевозок длительно время превышал прирост протяженности сети дорог в среднем в два раза. За рубежом эта цифра была еще больше. Возникший дисбаланс между требованиями автотранспорта и состоянием дорожной сети привел к переориентации дорожного хозяйства многих стран, когда приоритетным направлением деятельности стало строительство дорог. При этом не уделялось должного внимания текущему ремонту дорог и их содержанию. В результате дороги начали разрушаться, стоимость автоперевозок возрастать, а их объем был меньше возможного.

В то же время простым примером, который приводит Ц. Кейроз, можно показать, что при ограниченных ресурсах преимущество следует отдавать ремонту существующих дорог, а не новому строительству.

Автор предлагает рассмотреть гипотетическую дорожную организацию, осуществляющую эксплуатацию сети дорог протяженностью 1000 км. Эта сеть была создана ежегодной постройкой и введением в эксплуатацию 100 км дорог с твердым покрытием, имеющим межремонтный срок службы 10 лет.

В результате своевременного ремонта и содержания дороги находятся в хорошем состоянии. Пусть годовой бюджет организации равен 5 млн долларов США, а расценки на ремонт и новое строительство составляют 50 тыс. и 200 тыс. долларов США соответственно.

Если дорожная организация весь годовой бюджет будет использовать только на ремонт, т.е. ремонтировать 100 км в год, то вся сеть дорог будет удовлетворять требованиям движения. Если же продолжать новое строительство, выделяя на него ежегодно 40 % ассигнований, то отремонтировать удастся только 60 км в год, не проводя никакого ремонта на 40 км дорог. В результате к концу года в сети дорог, увеличивающейся на 10 км, протяжение участков, находящихся в нормальном эксплуатационном состоянии, уменьшится на 40 км.

США, в которых темпы автомобилизации в течение многих лет были выше, чем в других странах, первыми столкнулись с такой проблемой. Ответом стало создание и развитие специальных инструментов — систем управления состоянием покрытий (СУСП, или PMS от английского pavement management systems). Несколько позже системы управления покрытиями стали развиваться в Австралии и Западной Европе.

Сейчас невозможно со всей определенностью сказать, где и когда появилась первая СУСП. Принято считать, что основу разработкам систем управления положило дорожное испытание AASHO 1956–1960 гг., во время которого были заложены практические и методические основы выполнения оценки состояния покрытий и удобства движения.

В 1970 г. федеральная дорожная администрация (FHWA) и дорожный научно-исследовательский совет США (в настоящее время — Научно-исследовательский совет по транспорту) организовали семинар в Техасском университете, чтобы обсудить вопросы конструирования дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями. Участники семинара впервые в США обсуждали преимущества и недостатки системного управления состоянием дорожных покрытий.

Одно из первых описаний системы управления состоянием покрытий разработали американские специалисты в 1970 г.

для австралийской дорожной администрации. В 1974 г. Департамент транспорта штата Вашингтон впервые внедрил систему управления состоянием покрытий проектного уровня, которая включала модели прогнозирования, рекомендации и сроки проведения различных видов ремонтов дорожных одежд. В 1977 г. в США Ральф Хаас (Ralph Haas) и Рон Хадсон (W.R. Hudson) опубликовали первое учебное пособие по системам управления состоянием покрытий. В настоящее время различные СУСП используются во всех штатах. Кроме того, по данной тематике преобладают американские информационные источники. При поиске в интернете по фразе «pavement management systems» подавляющее большинство ссылок относится к американским сайтам.

За время, прошедшее с момента возникновения, системы управления состоянием покрытий прошли путь от простейших наборов инструкций до сложнейших компьютеризированных систем, а их разработка и развитие выделились в отдельную отрасль дорожной науки.

Однозначно принятого определения СУСП не существует.

Одни из родоначальников систем управления состоянием покрытий — Хаас и Хадсон определяют систему управления состоянием дорожных покрытий как координированную совокупность всех видов деятельности, связанных с планированием, проектированием, строительством, текущим содержанием и оценкой состояния дорог, а также научными исследованиями в области дорожных одежд. Это, пожалуй, наиболее полное и всеохватывающее определение, встречающееся в информационных источниках.

Можно найти также и другие определения.

Так, Американская ассоциация государственных дорог и должностных лиц на транспорте (AASHTO) определяет систему управления состоянием покрытий как набор инструментов или методов, помогающих лицу, принимающему решение в нахождении оптимальной стратегии для обеспечения оценки состояния и поддержания покрытий в приемлемом эксплуатационном состоянии в течение заданного периода времени.

Административный кодекс штата Вашингтон содержит такое определение СУСП: «Система управления покрытиями — систематический метод управления сохранением, восстановлением и содержанием существующей сети дорог на основе использования анализа жизненного цикла покрытия, оценки общей эффективности функционирования сети дорог и затрат и определения альтернативных стратегий и затрат, необходимых для предотвращения значительного ухудшения дорог. Ключевым элементом в PMS является его способность предлагать альтернативы сохранения дорожного покрытия на основе моделей прогнозирования ухудшения состояния покрытия».

Приведенное выше определение практически полностью повторяет одно из определений PMS, данное FHWA. Эта организация в разное время давала несколько разных определений СУСП. Так, на национальном семинаре по системам управления покрытиями в 1981 г. было отмечено, что система — это инструмент, который предусматривает определение оптимальной стратегии на различных уровнях управления и поддерживает покрытие на должном уровне работоспособности. Система включает (но не ограничивается ими) систематические процедуры планирования технического обслуживания и реабилитационной деятельности на основе оптимизации выгод и минимизации издержек.

Дорожная администрация штата Орегон отмечает, что система управления состоянием покрытий — набор инструментов или методов, которые позволяют дорожной администрации оценить состояние покрытия и выявить эффективные стратегии поддержания покрытий в пригодном к эксплуатации состоянии. Система обеспечивает информацию, необходимую для принятия этих решений. Системы управления состоят из двух основных компонентов. Первый — всесторонняя база данных, которая содержит текущую и историческую информацию по состоянию покрытия, конструкции дорожной одежды и составу движения. Второй — набор инструментов, который позволяет определять существующее и будущее состояние покрытия, прогнозировать финансовые потребности и располагать по приоритетам проекты ремонта покрытия.

В докладе Управления подотчетности правительства (GAO) конгрессу США приводится следующее определение СУСП: «Система управления покрытиями — систематический процесс, который обеспечивает сбор, анализ и накопление информации о покрытии для использования ее при разработке рентабельных программ строительства, восстановления и профилактического ремонта дорожных покрытий».

Федеральная администрация по авиации американского департамента транспорта в своем информационном сообщении от 28.09.1988 №150/5380–7 отмечает, что система управления состоянием покрытий предусматривает последовательные объективные и систематические процедуры для разработки приоритетов и списков размещения ресурсов и разработки бюджета для содержания и ремонта дорожных покрытий. Система также определяет количество необходимой информации и обеспечивает определенные рекомендации для действий, которые необходимы для поддержания сети дорог на приемлемом эксплуатационном уровне при минимизации стоимости обслуживания и восстановления. PMS не является «черным ящиком», а представляет собой инструмент помощи инженеру, распорядителю бюджета и менеджеру в работе по выработке рентабельных решений по обслуживанию и восстановлению покрытия.

Еще в одной трактовке система управления дорожными покрытиями представляет собой совокупность методов, процедур, данных, программного обеспечения, политики, решений и т.д., обеспечивающих действия по управлению дорожным покрытием. Отмечается, что иногда понятие PMS трактуется как пакет программ, необходимый для управления покрытиями, однако в действительности это намного более широкий процесс, чем использование программного обеспечения. Фактически управление покрытиями — процесс, который начинается от его проекта и длится весь цикл жизни.

Хотя многие авторы и подчеркивают, что СУСП не сводится к программному обеспечению, в инженерном обиходе именно программное обеспечение очень часто понимается под системой управления. Это можно объяснить тем, что программное

обеспечение на самом деле является важной частью системы, поскольку ввиду сложности расчетов без компьютера реализовать алгоритмы системы практически невозможно.

Традиционно системы управления состоянием покрытий делят на две категории: системы сетевого уровня и системы объектного (или проектного) уровня.

Решения *сетевого уровня* направлены на проведение политики сохранения дорожного покрытия в рамках сети, определение приоритетов в проведении ремонтных мероприятий, оценку требуемого уровня финансирования.

Подход сетевого уровня использует методы, процедуры, данные, программное обеспечение, а также решения, которые оптимизированы для покрытия всей сети. По сути сетевой подход оперирует укрупненными данными, такими как интенсивность движения, состав транспортного потока, уровень безопасности движения, инвентаризационные данные, состояние дорожного покрытия для предварительного определения оптимальной стратегии ремонта сети дорог.

Сетевой уровень во многих случаях может дать оптимальные решения для управления всей сетью дорог. Для работы сетевого уровня в первую очередь важно:

- правильно определить сеть. Если система неправильно определена, решения будут неоптимальными. Например, часто считается, что сетевой уровень лучше работает для крупной транспортной инфраструктуры, а не для более ограниченных сетей дорожных покрытий;

- построить сетевую модель. Решения сетевого уровня основываются на результатах комплексной модели. Таким образом, качество этих решений зависит от того, насколько тщательно построены и проработаны модели.

Решения *объектного уровня* направлены на инженерно-технические аспекты, т.е. подбор конкретных действий по реконструкции, капитальному и текущему ремонтам.

Многие компоненты сетевого уровня применяются и для объектного уровня. Различия проявляются на уровне подготовки итоговой программы работ, когда необходимо обеспечить достижение целей всей системы. Отдельным этапом

работ здесь является составление рейтинга участков, ремонт которых максимально способствует достижению основной цели системы.

Считается, что исчерпывающая СУСП включает в себя компоненты, используемые как в сетевом, так и в объектном уровне. В то же время наиболее простыми, разработанными и развитыми являются процедуры сетевого уровня.

В последнее время в некоторых американских источниках выделяют еще одну категорию PMS: системы *исследовательского уровня*. Следует отметить, что в европейских странах при рассмотрении различных аспектов систем управления об исследовательском уровне не говорят.

Обычно проектировщики, разработчики новых материалов и технологий для строительства и ремонта автомобильных дорог накапливают значительное количество экспериментальных данных, касающихся всех сторон применения этих материалов и технологий. Это особенности конструкций и строительного процесса, результаты наблюдений за участком после ремонта, ряд других данных. В большинстве случаев результаты оседают в архивах проектных и исследовательских фирм и не находят дальнейшего применения. Задача СУСП исследовательского уровня состоит во включении в работу всех упомянутых данных. Решения исследовательского уровня направлены на выявление причин разрушений участков дорог, определение оптимальных областей применения материалов и технологий. Существенной особенностью компонентов исследовательского уровня, препятствующей их широкому распространению, является высокая стоимость работ, значительно превышающая стоимость работ сетевого и объектного уровней.

Системы управления состоянием покрытий в настоящее время продолжают развиваться. Основными направлениями их совершенствования являются:

- 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 данных литературы 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 системами управления зимним содержанием, управления безопасностью движения, реагирования на стихийные бедствия, оценки качества построенных дорог. Итальянские специалисты называют конечный продукт такой интеграции глобальной системой управления дорогами. Можно ожидать скорого расширения функций СУСП за счет включения в них возможности управления работами по содержанию покрытий. Кроме того, уже сейчас имеет место включение СУСП в состав систем более высокого уровня — систем управления инфраструктурой, в которые входят также управление мостами, аэродромами, стоянками и другими объектами. В будущем следует ожидать «бесшовную» интеграцию этих отдельных компонентов.

Совершенствование сбора исходных данных для систем управления состоянием покрытий будет развиваться в направлении расширения использования приборной базы, повышения точности и достоверности результатов. Этому будет способствовать снижение цены на высокотехнологичные лазерные установки по измерению ровности, колеиности и несущей способности. Важным шагом в повышении достоверности оценки состояния покрытий является развитие технологии сканирования поверхности и автоматического распознавания дефектов.

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 возникновения 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.

Цели и состав систем управления

10.2. состоянием покрытий

Цели управления состоянием покрытий. Первое, что необходимо определить при рассмотрении системы управления состоянием покрытий, — это цель ее использования. Для чего нужна система и в конечном счете для чего нужен ремонт дорожного покрытия? Некоторые авторы рекомендуют ориентироваться на «образцовые» цели, пригодные якобы в большинстве случаев. Таковыми целями являются:

□ увеличить протяженность дорог в хорошем состоянии. Для работы необходимо определить, какое состояние будет хорошим;

□ повысить остающийся срок эксплуатации. Эта цель показывает, какой срок эксплуатации имеется в запасе у дорожной сети, и прогнозирует состояние дорог в будущем;

□ увеличить экономию в рамках затрат на эксплуатацию транспорта. Здесь необходимо рассчитать затраты. Обычно их определяют на основе данных по ровности. Экономия на затратах рассчитывается путем анализа разницы в ровности при отсутствии ремонта и после ремонта. Данная цель часто дополняется требованием повышения безопасности движения;

□ снизить чистую текущую стоимость совокупных транспортных затрат. Необходимо рассчитать затраты на эксплуатацию транспорта и собственные издержки дорожной организации. Совокупные транспортные затраты (СТЗ) — сумма затрат на эксплуатацию транспорта и собственных издержек. Чистая текущая стоимость — это разница между СТЗ при отсутствии ремонта дороги и СТЗ после осуществления ремонтных работ;

□ увеличить номинальную стоимость активов дорожной сети. Необходимо измерить номинальную стоимость активов. Их рассчитывают по методу восстановительной стоимости. Этот метод показывает разницу между стоимостью перестройки дорог и ремонта при доведении ее до нового состояния.

В руководстве по проектированию и управлению дорожными покрытиями, разработанном транспортной ассоциацией Канады, отмечается, что основная цель системы управления покрытиями состоит в достижении при имеющихся средствах наилучшего состояния покрытия с учетом обеспечения безопасного, удобного и экономичного движения транспорта. Это достигается путем сравнения инвестиционных альтернатив, координирования процессов проектирования, строительства, содержания и оценки состояния с использованием существующих методов и знаний.

По мнению специалистов университета штата Техас, первичными целями системы управления дорожными покрытиями являются улучшение состояния дорожного покрытия в масштабах сети и максимизация эксплуатационных качеств сети при минимальных затратах.

Р. Робинсон и др. (2003) отмечают, что целью управления дорогами является развитие и совершенствование существующей сети дорог с тем, чтобы она давала возможность эффективно и безопасно использовать автомобильный транспорт. Кроме того, соответствующие методы управления должны учитывать проблемы повышения эффективности вложения средств и решать проблемы охраны окружающей среды. Управление дорогами можно рассматривать как процесс, который позволяет оптимизировать работу всей сети дорог во времени.

Приведем еще несколько примеров целей системы управления.

Основная цель систем управления покрытиями заключается в обеспечении разработки оптимальной стратегии распределения ресурсов на всех уровнях управления. Это требует оценки альтернатив за период анализа на основе прогнозируемых значений показателей состояния покрытий и надежных моделей прогнозирования. Для достижения этой цели применяются различные методы моделирования: регрессионного анализа, нейронных сетей и экспертных оценок. Некоторые сложности возникают при этом из-за неопределенности поведения покрытия под воздействием движения транспорта, окружающей среды, субъективного характера обследования, трудностей количественной оценки многих факторов, влияющих на покрытие, и ошибок, связанных с этим.

В Великобритании общая цель системы управления покрытиями UKPMS, использующейся на национальном уровне, состоит в сохранении и улучшении усовершенствованных покрытий автомобильных дорог, чтобы обеспечить нынешним и будущим пользователям эффективные и безопасные условия движения путем систематической оценки состояния, определения и установления приоритетности выполнения ремонтов.

Выбор цели СУСП, а следовательно, и проведения ремонтов является важнейшей стратегической задачей, поскольку определяет направления работы отрасли как минимум на несколько лет.

Состав систем управления состоянием покрытий. В наше время многие западные фирмы свой бизнес в той или иной

степени основывают на разработке и внедрении PMS и на консультациях в этой области. На сегодняшний день в мире существует большое количество систем. Практически каждая развитая страна имеет собственную СУСП, некоторые — по несколько систем. В США одна или несколько PMS есть в каждом штате. Если учесть еще и коммерческие разработки, то количество систем управления измеряется сотнями.

В то же время широко известных систем сравнительно немного. Их можно классифицировать по виду исходных данных, являющихся основными для работы системы, следующим образом:

- системы, ориентированные на показатель прочности (датские PMS Dynatest и RoSy);

- системы, ориентированные на дефектность покрытия (датская система Vejops, разработанная для использования на местных дорогах);

- системы, ориентированные на ровность (датская система Belman);

- универсальные системы, использующие в равной мере данные по ровности, прочности, дефектности, а в некоторых случаях ориентированные на сцепные качества. Такие системы преобладают над остальными. К ним относятся финская PMS-91, норвежская PMS-98, новозеландская RAMM, английская WDM, разработки канадской фирмы Deighton, система Micro PAVER, производимая инженерным корпусом армии США, американская система AgileAssets Pavement Analyst. К этой же группе следует отнести HDM — разработку Мирового банка, а также многочисленные системы, в которых идеология HDM взята за основу, — продукты датской фирмы Kamprax, литовскую систему Davasema и др.

Используя информацию доступных источников, рассмотрим состав некоторых известных систем управления покрытиями.

BELMAN — система управления состоянием покрытий сети главных дорог Дании. Созданная датским дорожным директором система сегодня широко известна и используется в других странах. При этом модели инженерного анализа данной

СУСП закрыты от пользователя, а информация о ней минимальна даже в рекламных материалах. Для работы системы используется три типа исходных данных: информация о состоянии сети дорог, включая ровность, несущую способность, сопротивление заносу; данные о текущей и прогнозируемой интенсивности движения и осевых нагрузках; данные о применяемых ремонтах и их стоимости.

Система выполняет три вида вычислений:

- определяются приоритеты ремонтов каждого участка дороги в соответствии с имеющимися средствами и принятыми видами ремонтов;

- вычисляется будущее состояние сети при реализации ремонтов в соответствии с имеющимися средствами;

- рассчитывается оптимальная программа ремонтов на несколько лет, дающая наибольший эффект. В качестве критерия оптимизации принимается минимум общетранспортных затрат.

RoSy. В настоящее время систему развивает и распространяет как коммерческий продукт датская фирма CarlBro.

Система включает ряд программных инструментов для выполнения планирования в масштабах дорожной сети. Она построена таким образом, что пользователь воспринимает ее как единый программный продукт. В состав системы входят:

RoSy Base — база дорожных данных, позволяющая хранить как числовые, так и текстовые данные, а также изображения.

RoSy Plan — модуль, являющийся ядром системы. На основе информации, содержащейся в RoSy Base или в любой другой базе данных, с использованием динамических моделей разрушения покрытия модуль определяет оптимальные ремонтные мероприятия для всей дорожной сети или для отдельного участка. Кроме этого, модуль позволяет определить последствия неадекватных ремонтов, например в результате недостаточного финансирования. Пользователь имеет возможность настраивать формы отчетов и задавать собственные. Еще одной особенностью является то, что пользователь может выбрать тип модели оптимизации. В качестве оптимизи-

руемой переменной могут использоваться внутренняя норма рентабельности, чистая текущая стоимость, отношение выгод и затрат. Транспортные расходы включены в систему в соответствии со стандартами, установленными Мировым банком в его моделях HDM-III и HDM-IV. Все алгоритмы и модели системы являются закрытыми и не документируются.

RoSy Dig — модуль, служащий для управления земляными работами в масштабах сети, включая административные процедуры и последующий контроль производства работ.

RoSy Design — на основе измерений дефлектометра падающего груза модуль вычисляет модули упругости каждого слоя дорожной одежды. Модуль позволяет с использованием информации об интенсивности движения определить, какой слой дорожной одежды является самым слабым, обладает минимальным остаточным сроком службы и нуждается в усилении. Следует отметить, что данная часть системы непригодна для применения в тех странах постсоветского пространства, где расчет дорожной одежды базируется на ВСН 46–83, поскольку в программе используется другая теоретическая база.

RoSy Map — модуль, который интегрирует все другие. При этом пользователь может выполнять действия в *RoSy Base*, в интерактивном режиме работать с ГИС. Данные, рассчитанные в *RoSy Plan*, можно представить графически на карте. Открытая структура базы данных позволяет использовать широкий спектр продуктов ГИС.

В настоящее время в Дании применяется три PMS: для государственных дорог, в 14 графствах и 60 муниципалитетах — системы *BELMAN* и *Vejmap*, в трех муниципалитетах — система *Dynatest*, в трех графствах и 110 муниципалитетах — *RoSy*.

PMS91 — система управления состоянием дорожных покрытий проектного уровня, используемая финской дорожной администрацией. Включает в себя банк дорожных данных (RDB), систему сетевого уровня (HIPS), а также банк данных о состоянии покрытия и исторические данные о каждом 100-метровом участке каждой дороги (KURRE). Названные компоненты работают только совместно. Схема системы управления приведена на рис. 10.1.



Рис. 10.1. Схема использования системы PMS91

Система использует модели прогнозирования для определения будущего состояния покрытий. Имеются модели для колееобразования, дефектности и ровности, разработанные на основе экспериментальных наблюдений за состоянием участков дорог.

Виды ремонтов дорожных покрытий, используемые в системе, их стоимость, а также правила применения определяются и вводятся в систему пользователем самостоятельно.

Кроме Финляндии, система PMS91 внедрена в некоторых африканских странах.

PMS98 — система управления норвежскими национальными и районными дорогами, которую по заказу Норвежской дорожной администрации разработала и развивает фирма Sintef. Система была внедрена в 1998 г. и с тех пор постоянно развивается. С ее использованием планируются ремонтные мероприятия более чем для 54 000 км дорог.

Дорожная администрация использует систему на проектном уровне для планирования на шесть лет: рабочий план на следующий год и ориентировочные программы на пять лет за ним.

Структура системы представлена на рис. 10.2. Исходными данными для ее работы являются данные о состоянии покрытия, установленные требования к состоянию, технические данные (тип покрытия, его возраст), данные о выполненных ремонтах, геометрические параметры. Используются данные из других источников. Перед расчетом программы работ следующего года вводится информация о планируемом бюджете дорожных работ. Система использует эмпирические прогнозные модели для оценки того, как тот или иной уровень финансирования повлияет на общее состояние сети.

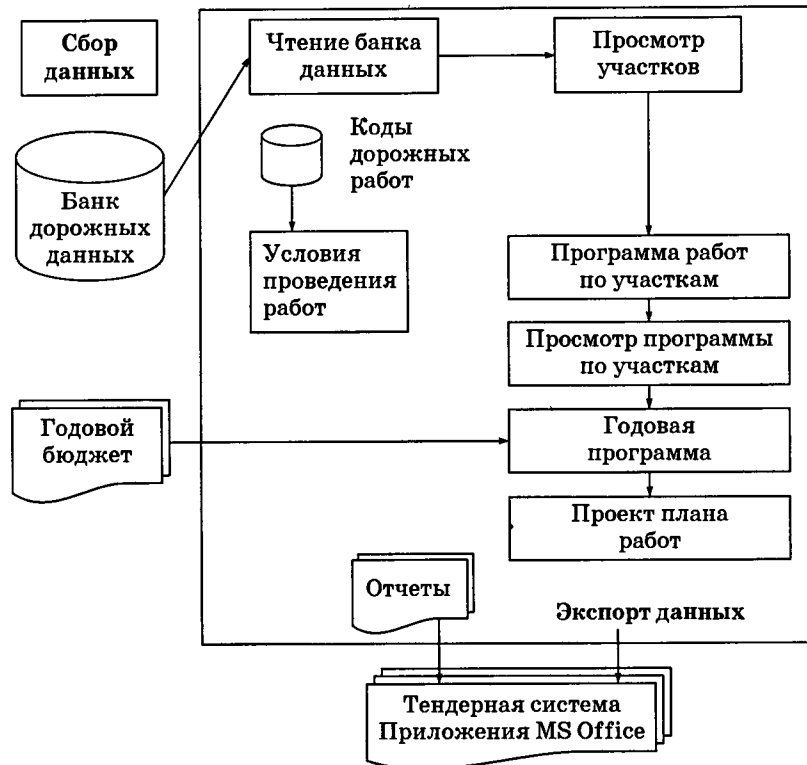


Рис. 10.2. Структура системы PMS98

Основными показателями, учитываемыми в системе при назначении ремонтных работ, являются kolejность, ровность и сетка трещин на покрытии. Длина минимального участка, на котором может быть назначен ремонт, составляет 20 м.

После формирования проекта программы ремонтных дорог данные из СУСП могут быть экспортированы в приложения MS Office и систему тендерных торгов.

dTIMS — система управления линейными объектами инфраструктуры, разрабатываемая канадской фирмой Deighton Associates Limited. Фирма создала систему таким образом, что с ее помощью можно работать не только с автомобильными дорогами, но и с железными дорогами, трубопроводными сетями, любыми другими объектами, имеющими линейную структуру. Схема элементов системы представлена на рис. 10.3.



Рис. 10.3. Схема элементов системы dTIMS

При использовании системы для управления состоянием дорожных покрытий необходимо четыре типа исходных данных: паспортные данные, данные по интенсивности и составу движения, данные по состоянию покрытия, данные параметров модели. Данные первых трех типов необходимы для генерирования и формирования данных четвертого типа. Для создания данных параметров модели система должна располагать хронологией данных по состоянию. В случае их отсутствия следует опираться на мнение экспертов. Другие источники, используемые системой, — экономические исследования, необходимые для определения размеров транспортных и эксплуатационных затрат.

В качестве реляционной базы данных может использоваться, например, Access, Oracle или SQL-Server. Ранее фирма разрабатывала собственную базу данных dROAD, однако в настоящее время от нее отказалась.

Пользователь системы имеет определенную свободу действий при определении параметров моделей прогнозирования, видов ремонтов и области их применения. В то же время основные алгоритмы и аналитические процедуры от пользователя закрыты и не описываются. В качестве критерия оптимизации чаще всего используется минимум общетранспортных затрат. Система широко применяется в США, Канаде, Новой Зеландии, в развивающихся странах по всему миру.

AgileAssets Pavement Analyst — система управления состоянием покрытий, которая разрабатывается и продвигается американской фирмой AgileAssets Inc. В настоящее время разработана пятая версия системы, программное обеспечение которой построено на основе веб-интерфейса. Отличительные особенности системы:

- определяемые пользователем типы данных;
- определяемые пользователем параметры установки;
- определяемые пользователем правила применения ремонтных мероприятий и их виды, а также стоимость ремонтных работ;
- модели прогнозирования, основанные на данных пользователя;

- наличие возможности анализа типа «что, если...»;
- использование объединенной базы данных по инфраструктуре.

Системой предусмотрено восемь основных направлений применения:

- оптимизация в масштабах сети;
- анализ сценариев работ в масштабах сети;
- управление программой работ;
- анализ работы покрытия;
- база данных по управлению покрытиями;
- построение графиков, формирование отчетов и подготовка карт;
- проектный анализ стоимости жизненного цикла;
- калибровка системы и установка.

Предусматривается ежегодное обновление и калибровка моделей прогнозирования на основе данных ежегодных наблюдений и измерений. Схема исходных данных в системе представлена на рис. 10.4.

О применяемых методах анализа и оптимизации ничего не сообщается, кроме того, что используется анализ стоимости жизненного цикла.

Система применяется в ряде городов и штатов США, в некоторых штатах Бразилии, Саудовской Аравии, ОАЭ.

HDM-4. Проект HDM (Highway Development and Management tools — развитие автомобильных дорог и инструменты управления ими) разрабатывался при финансовой поддержке ряда национальных и международных организаций, в числе которых Администрация по развитию заморских территорий Великобритании (ODA), Банк развития Азии (ADB), Шведская национальная дорожная администрация (SNRA), Финская дорожная администрация (FinnRA), Межамериканская федерация производителей цемента (FICEM) и Всемирный банк. В разработку и продвижение проекта были вложены огромные средства, и сегодня эта система широко известна во всем мире.

Первый шаг в направлении разработки системы был сделан в 1968 г. Всемирным банком, когда им были определены

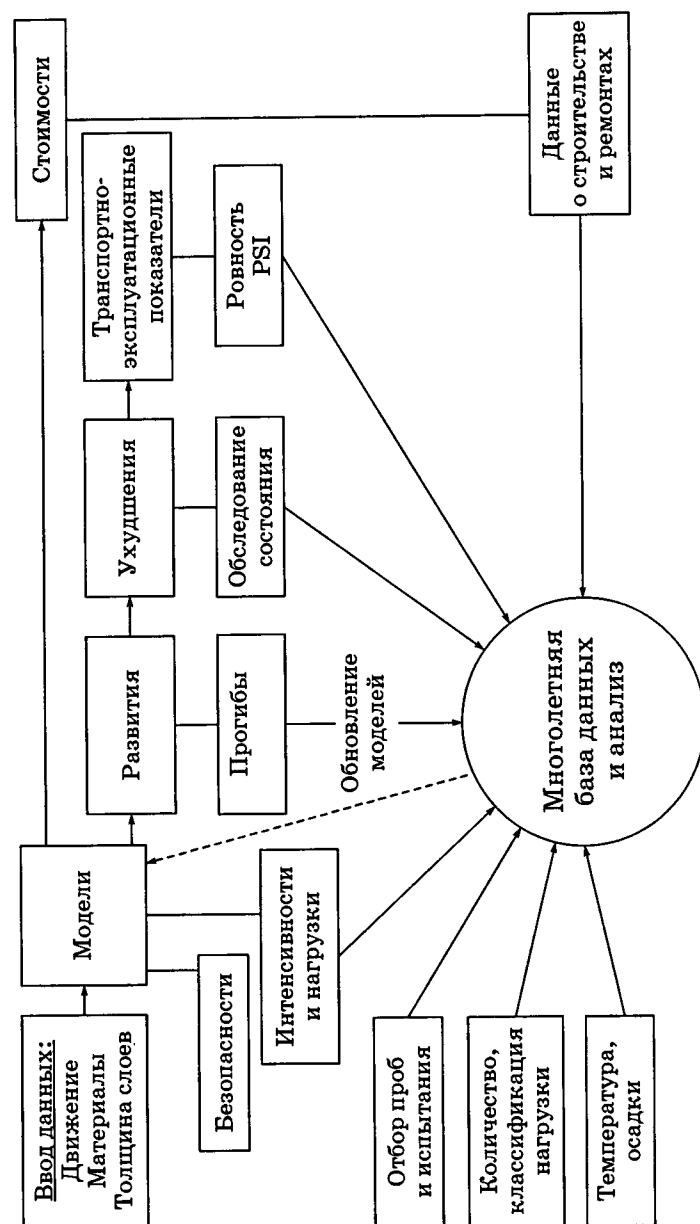


Рис. 10.4. Исходные данные, необходимые для работы с системой AgileAssets Pavement Analyst

новые термины, касающиеся «исследования по проектированию автострад» и рассматривавшиеся им совместно с Британской научно-исследовательской лабораторией транспорта и дорог (TRRL) и Центральной французской лабораторией дорог и мостов (LCPC). После этого Всемирный банк создал при Массачусеттском технологическом институте (MIT) группу для проведения обзора литературы и создания модели, основанной на уже имевшейся информации. «Модель стоимости автостреды», созданная MIT (Moavenzadeh, 1971, 1972), явилась значительным шагом вперед по сравнению с существовавшими на то время методами исследования взаимосвязей между стоимостью дорог, управленческими затратами и эксплуатационными расходами на транспортные средства. Однако данная модель высветила области, которые требовали более обширных исследований для замены зависимостей, непригодных в условиях развивающихся стран, вследствие чего нужно было выработать дополнительные зависимости.

Вслед за этим TRRL совместно с Всемирным банком провели в Кении основные полевые работы по исследованию износа дорог с покрытием и без него, а также факторов, влияющих на эксплуатационные расходы на транспортные средства в развивающихся странах. Результаты исследования были использованы для калибровки прототипа компьютерной модели (RTIM) с целью оценки затрат на строительство, эксплуатацию дорог и транспортных средств для проекта финансирования дорог в развивающихся странах. В 1976 г. Всемирный банк ускорил дальнейшую разработку компьютерной модели, выделив средства и подписав с MIT контракт на разработку расширенной версии модели, которая смогла бы выполнять прямой экономический анализ, разделяя покрытие дороги на однородные участки и автоматически проводя анализ чувствительности ключевых переменных, таких как ставка дисконтирования и интенсивность движения. В результате проведенных работ была разработана «Модель стандартов по проектированию и управлению дорогами (HDM)».

Обе модели, RTIM и HDM, протестированы и широко использовались в полевых условиях, и по результатам прове-

денных работ было предпринято дальнейшее исследование. Были выполнены следующие полевые работы, каждая из которых имела своей целью получить как можно больше результатов для различных географических регионов:

□ в Карибском районе — TRRL с целью исследования влияния геометрии дороги на эксплуатационные расходы на транспортное средство;

□ в Индии — Центральным научно-исследовательским институтом дорог с целью изучения специфических эксплуатационных проблем индийских дорог (узкая проезжая часть и большая доля гужевого транспорта);

□ в Бразилии — обширное исследование с целью расширения пригодности всех зависимостей модели.

После этого были продолжены параллельные разработки моделей. Опыт TRRL в использовании модели свидетельствовал об отсутствии необходимости в более простой модели. Это привело к разработке RTIM2. Со своей стороны, Всемирный банк увидел необходимость создания более всеобъемлющей модели, и это привело к разработке HDM-III.

Обе эти модели первоначально были спроектированы для работы на больших ЭВМ, а поскольку компьютерные технологии продолжали развиваться, то в Бирмингемском университете была разработана для TRRL микрокомпьютерная версия RTIM2. Дальнейшие разработки обеих моделей продолжались. В 1993 г. вышла RTIM3, которая являлась очень удобной для пользователя версией программного обеспечения, работавшего как интерактивная система обработки данных. В 1994 г. Всемирный банк представил еще две разработки: HDM-Q — для учета влияния интенсивности дорожного движения в программе HDM и «менеджер HDM» — версия HDM-III, в которой имелось меню.

Генеральным разработчиком четвертой версии была Научно-исследовательская группа по управлению автострадами (HMRG) при Бирмингемском университете Великобритании. Кроме того, в разработке принимали участие другие национальные и международные организации.

Предыдущая версия HDM-III, разработанная Всемирным банком, использовалась в течение более двух десятилетий для решения технических и экономических задач по обоснованию проектов финансирования дорог и анализа стратегий и стандартов. Для расширения сферы действия HDM-III были проведены международные исследования. Их основной задачей стало создание новой стандартной модели с целью ее использования для оценки технических, экономических, социальных и связанных с окружающими средой вложений в дороги.

Общая структура HDM-4 приведена на рис. 10.5.

Технический анализ в системе проводится с применением четырех моделей: RDWE — модель развития транспортно-эксплуатационных характеристик, RUC — затраты пользователя дорог, которые по своему охвату эквивалентны моделям, используемым в настоящее время в HDM-III, SEC — социально-экономические расходы, которые позволяют прогнозировать аварийность на дорогах и влияние на окружающую среду; MIE — влияние ремонтных мероприятий на изменение транспортно-эксплуатационных показателей дорог, а также затраты дорожной организации в течение каждого года.

Модели развития транспортно-эксплуатационных характеристик, разработанные в HDM-4, являются на сегодняшний день самыми обширными и фундаментальными и претендуют на универсальность. Однако их универсальность обернулась таким серьезным недостатком, как громоздкость и чрезвычайная сложность использования. Система перегружена разного рода калибровочными коэффициентами, для получения большинства из которых необходимо проводить обширные дополнительные исследования. При этом нет никаких гарантий, что результаты, полученные с использованием откалиброванных моделей, будут соответствовать действительности. Не случайно А.П. Васильев отмечает, что без существенной доработки использование моделей HDM-4 для технико-экономических расчетов в условиях России не представляется целесообразным.

Специалисты в области разработок систем управления считают, что коммерческие СУСП подходят только для тех стран, которые не имеют собственных подготовленных кадров для

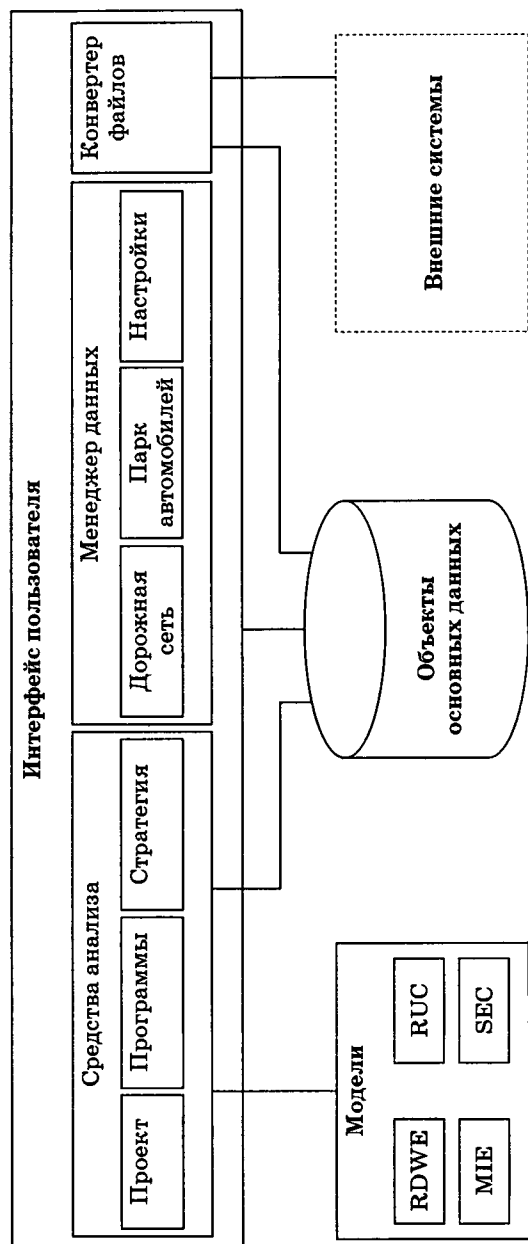


Рис. 10.5. Общая структура HDM-4

самостоятельной разработки. Развитые же страны должны разрабатывать систему самостоятельно, что позволит учесть все местные особенности.

Исходные данные для работы системы управления состоянием покрытий

Сбор исходных данных — процесс достаточно сложный, отличающийся большими затратами трудовых и материальных ресурсов. По этой причине важно, чтобы исходные данные не собирались ради сбора, а способствовали достижению целей, стоящих перед системой управления. В свое время Паттерсон и Скаллион по этому поводу отмечали: «Естественный энтузиазм, направленный на то, чтобы собрать и сохранить каждую информацию, должен быть прагматически уравновешен рассуждениями о том, что увеличение объема собираемых данных увеличивает стоимость сбора, время и стоимость обработки данных, стоимость хранения и время, а потому и стоимость поиска информации и анализа. Многие схемы оказались неприменимыми или же были отрезаны от бюджетного финансирования по той причине, что средства, требуемые для сбора и обработки данных, были слишком обременительными».

С учетом сказанного при определении требуемых исходных данных необходимо принимать во внимание следующие критерии:

- данные должны иметь отношение к решениям, которые принимаются на их основе, т.е. они должны способствовать достижению целей системы управления;
- данные должны быть надежными, поскольку их надежность данных определяет надежность принимаемых решений;
- данные должны соответствовать имеющимся средствам. Не следует собирать данные, сбор которых невозможно оплатить. Кроме того, необходимо соотносить стоимость данных со стоимостью тех решений, которые принимаются на их основе;

□ данные должны соответствовать существующим и прогнозируемым потребностям и имеющимся ресурсам.

Американский стандарт ASTM E 1166 «Руководство для сетевого уровня управления дорожными покрытиями» для сетевого уровня систем управления рекомендует следующие группы исходных данных:

- по инвентаризации покрытий;
- по состоянию покрытия;
- об интенсивности движения и составе транспортного потока;
- об окружающей среде;
- о стоимости ремонтных и строительных работ.

Каждая из групп, в свою очередь, содержит в себе перечень данных, в наиболее общем виде представленный на рис. 10.6.

Не все данные равнозначны для системы управления. Американское общество по испытаниям и материалам (ASTM) рекомендует определенную приоритетность использования данных при разработке PMS (см. рис. 10.6). На рисунке приведены пять видов данных, имеющих приоритет номер один, т.е. это те виды данных, которые необходимы даже для наиболее элементарных систем управления покрытиями.

На первый взгляд может показаться необоснованным то, что коэффициент сцепления имеет такой низкий приоритет использования. Этот факт, однако, можно объяснить, если учесть, что данный показатель имеет очень небольшую скорость изменения с течением времени. Кроме того, участки с необеспеченным коэффициентом сцепления в подавляющем большинстве случаев перекрываются ремонтами, назначенными по более значимым показателям, например по ровности или дефектности покрытия.

При всем многообразии имеющихся систем, все они объединены общими принципами построения и функционирования. На рис. 10.7 представлена схема построения любой системы управления покрытиями, а на рис. 10.8 (с. 319) — структурная схема эксплуатируемой в Республике Беларусь системы управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог «Ремонт».

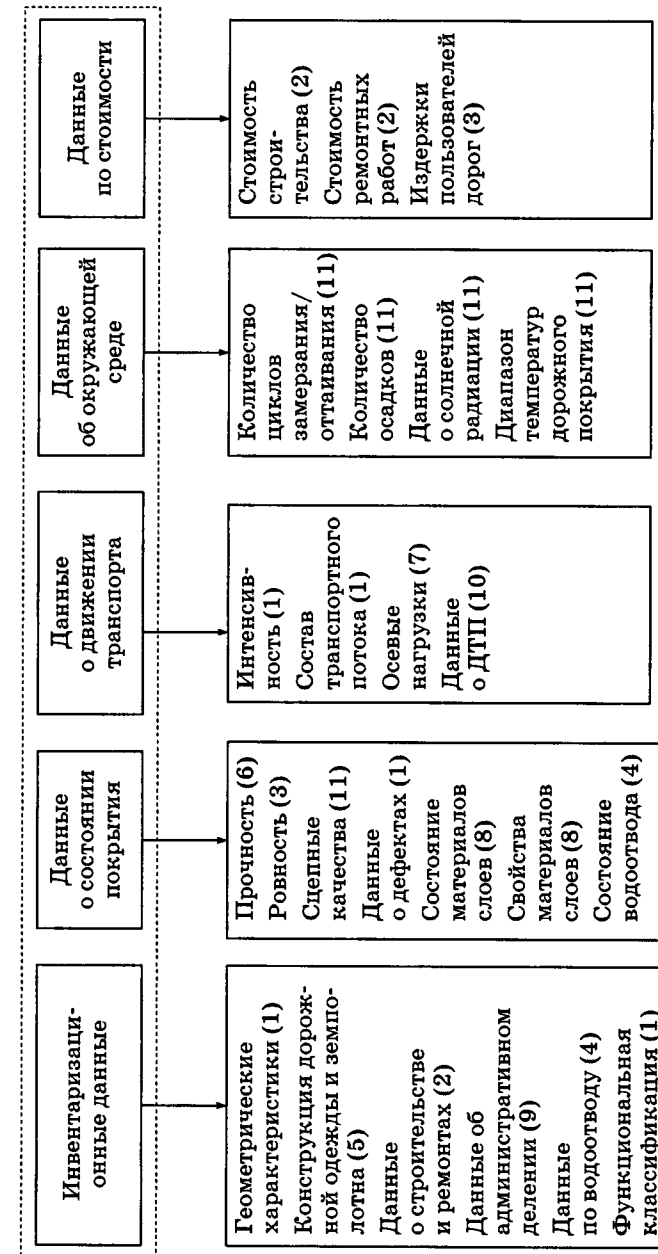


Рис. 10.6. Исходные данные системы управления покрытиями (в скобках указан приоритет данных)

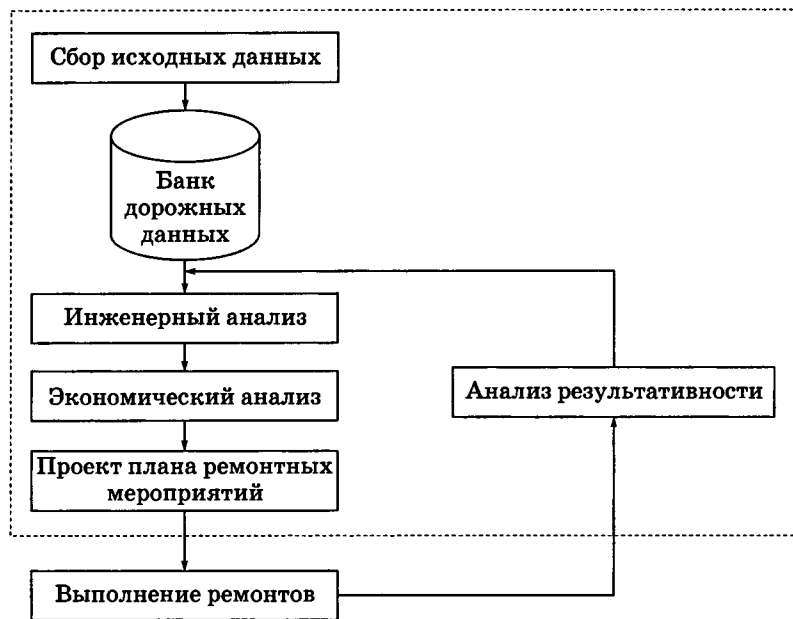


Рис. 10.7. Схема системы управления

10.4. Инженерный анализ в системе управления

Основными задачами инженерного анализа являются: оценка состояния покрытия, назначение ремонтных мероприятий, прогнозирование транспортно-эксплуатационного состояния, определение влияния выполненных ремонтов на состояние покрытия.

Оценка состояния покрытия осуществляется несколькими способами: сравнением каждого показателя с нормативными значениями; качественной оценкой состояния покрытия по каждому параметру; оценкой покрытия по обобщенному показателю.

Требования к состоянию покрытия, находящегося в эксплуатации и вновь построенного или отремонтированного, раз-

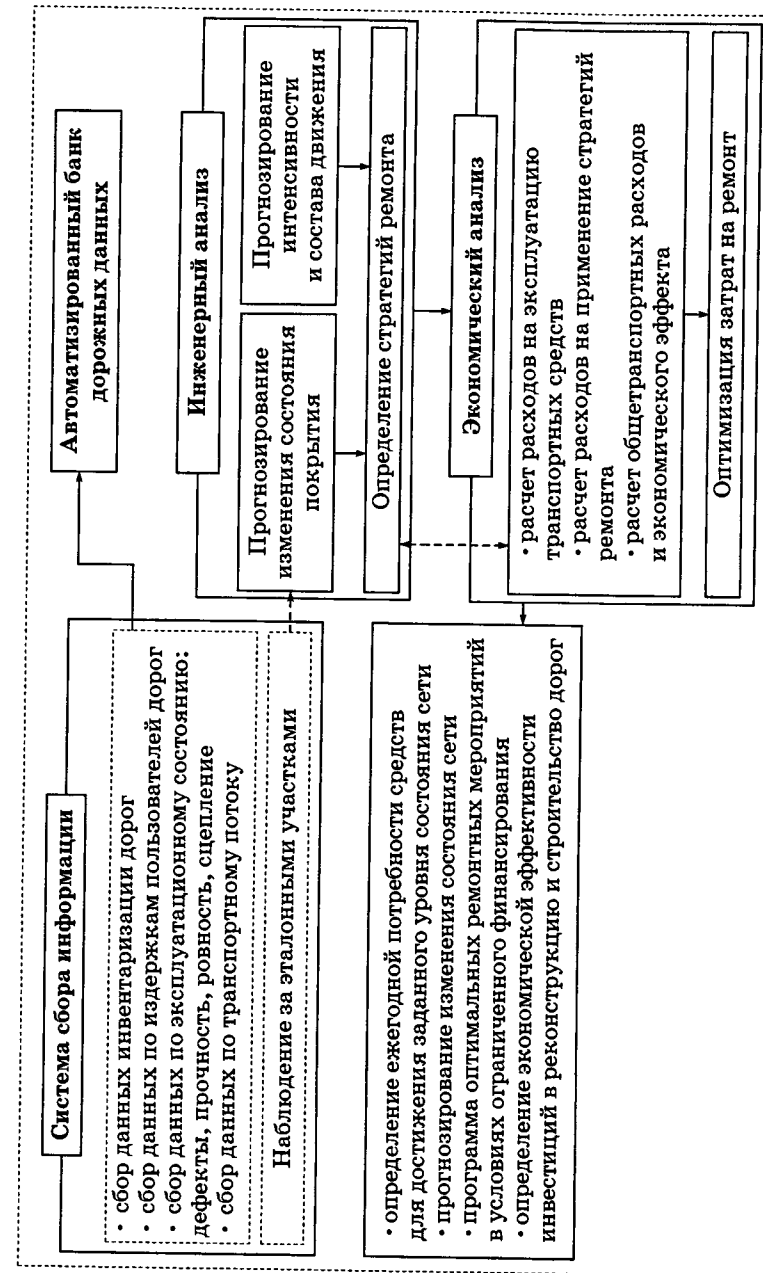


Рис. 10.8. Структурная схема системы управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог «Ремонт»

личаются. Это естественно, так как дороги строятся с некоторым запасом надежности в расчете на длительную эксплуатацию. Системы управления используют при оценке состояния требования к покрытиям, находящимся в эксплуатации. В зависимости от вида показателя состояния требования могут различаться для различных категорий дорог. Действующие требования для Республики Беларусь представлены в табл. 10.1–10.3.

Таблица 10.1

Максимальные значения продольной ровности дорог IRI с усовершенствованным покрытием, находящихся в эксплуатации, мм

Категория	Показатель
I	4,50
II	5,50
III	6,20
IV	6,70
V–VI	7,90

Таблица 10.2

Минимально допустимые значения коэффициента сцепления при $v = 60$ км/ч

Категория дороги	Показатель
I–III	0,42
IV	0,40
V–VI	0,38

Таблица 10.3

Предельно допустимые значения средней глубины впадин эксплуатируемых покрытий $h_{\text{ср}}$, мм

Категория дороги	Показатель
I–III	0,45
IV	0,40
V–VI	0,35

В ряде стран установлены также предельно допустимые требования и по отдельным дефектам. Так, для такого дефекта, как колея, в Польше критической считается глубина более 31 мм, в Словакии — более 20 мм, в Финляндии — более 25 мм, в Великобритании — более 15 мм.

Профессор А.П. Васильев для условий России предлагает следующие предельно допустимые значения колеи (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Предельно допустимая глубина колеи, мм

Степень опасности колеи	Категория дорог	
	I–III	IV
Неопасные	До 10	До 20
Малоопасные	11...20	21...30
Опасные	31...35	31...45
Очень опасные	Более 35	Более 45

Качественная оценка состояния покрытия состоит в том, что в зависимости от значения конкретного показателя с ним соотносится та или иная оценка: «отлично», «хорошо» и т.д. — или присваивается классификационный уровень: 1, 2, 3 и т.д. Качественная оценка применяется тогда, когда необходимо описать состояние дорог широкому кругу неспециалистов, например, в средствах массовой информации. В Республике Беларусь такая оценка не получила широкого развития, но за рубежом активно используется. В некоторых системах управления покрытиями ряд выходных результатов дается с использованием качественных оценок. В табл. 10.5 приведены примеры качественной оценки покрытия по критерию ровности, применяемой в различных странах и СУСП.

Аналогичные оценки существуют и по другим показателям состояния.

Во многих системах управления при оценке состояния покрытия используются *обобщенные показатели состояния*.

Таблица 10.5

Классификация покрытий по их ровности, мм/м

Страна или СУСП	Классификационный уровень				
	1	2	3	4	5
Польша	До 3,3	3,4...5,0	5,1...6,6	Более 6,7	—
Словакия	До 1,9	1,91...3,30	3,31...5,0	5,01...8,0	Более 8,0
СУСП dTIMS	До 2,2	2,2...4,2	4,2...5,1	5,1...6,0	Более 6,0
PMS-91, Финляндия	До 1,3	1,4...2,6	2,7...4,1	4,2...5,5	Более 5,6

Так, в канадской системе управления покрытиями dTIMS обобщенный показатель состояния рассчитывается как среднее частных показателей. Частные показатели определяются по формуле

$$P = 100 - [(DVL + DVM + DVH) \cdot CF], \quad (10.1)$$

где DVL , DVM , DVH — так называемые показатели вычитания из 100, получаемые по специальным графикам в зависимости от плотности отдельного дефекта (графики разработаны ASTM для дорог и стоянок США. Пример одного из графиков приведен на рис. 10.9); CF — коэффициент поправки.

В Словакии используется индекс разрушения поверхности ISD:

$$ISD = 5,03 - 0,07P - 1,53Z^2, \quad (10.2)$$

где P — площадь поверхностных дефектов на 100 м, м²; Z — максимальная глубина колеи на участке 100 м, см.

Для оценки состояния покрытий часто используют приближенные методы на основе пятибалльной шкалы. Достаточно известным является разработанный AASHO индекс текущей эксплуатационной пригодности PSI:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \lg(1 + SV) - 0,002R^2 - 0,01(C + P)^{\frac{1}{2}}, \quad (10.3)$$

где SV — изменение продольной ровности, измеренной профилографом CHLOE $\times 1000$; R — глубина колеи, мм; $C + P$ — суммарная площадь выбоин и участков с трещинами, м².

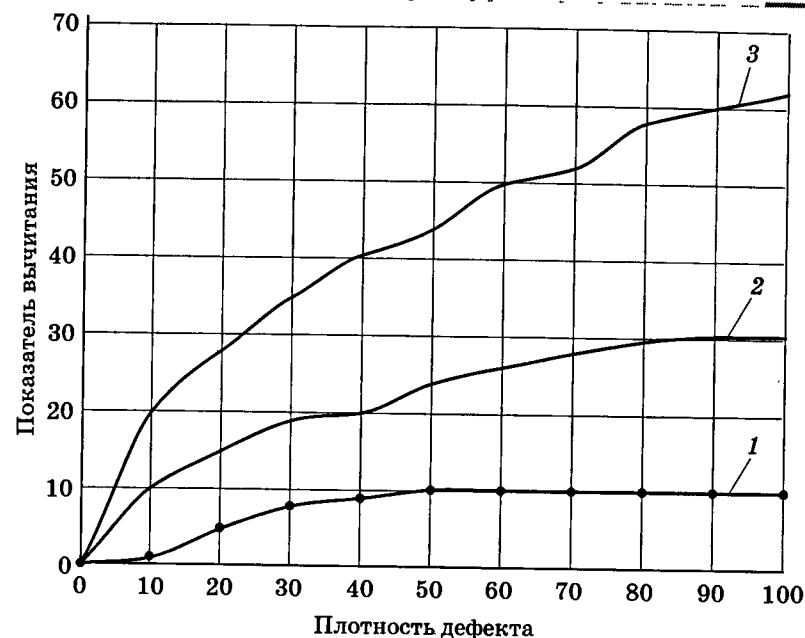


Рис. 10.9. Кривые значений показателя вычитания из 100 для шелушения на цементобетонном покрытии:
1 — низкая степень; 2 — умеренная степень; 3 — высокая

Анализ формулы показывает, что основной вклад в величину PSI вносит ровность покрытия, а колея и трещины влияют незначительно.

В датской системе BELMAN для определения PSI применяют показатель ровности IRI:

$$PSI = 12,5 - 4,25 \lg(13,5 IRI - 53,9). \quad (10.4)$$

Стремление использовать обобщенный показатель объяснимо, так как это значительно упрощает алгоритм расчетов в системе управления. Во всех случаях суть сводится к тому, что на основе значений некоторого жестко заданного количества параметров покрытия (например, ровности, значения отдельных дефектов) по специальным правилам вычисляется обобщенный показатель.

Назначение ремонтных мероприятий — следующий этап инженерного анализа.

В настоящее время в мире сложились следующие основные подходы к назначению ремонтов: использование матрицы стратегий, назначение ремонтов по эмпирическим правилам, использование уровней зон.

Использование матрицы стратегий заключается в последовательном переборе различных ремонтных мероприятий применительно к одному и тому же участку. В табл. 10.6 приведен образец матрицы стратегий для одного участка на пять лет. Знаком «+» обозначен ремонт, проводимый в данный год, знаком «–» — отсутствие ремонта.

Таблица 10.6

Пример матрицы стратегий

№ ремонта	Вид ремонта	Год				
		2010	2011	2012	2013	2014
1	Поверхностная обработка	+	–	–	–	–
2	Поверхностная обработка	–	+	–	–	–
3	Поверхностная обработка	–	–	+	–	–
4	Поверхностная обработка	–	–	–	+	–
5	Поверхностная обработка	–	–	–	–	+
6	Поверхностная обработка с выравнивающим слоем	+	–	–	–	–
...	...					
<i>m</i>	Устройство слоя асфальтобетона 5 см	+	–	–	–	–
...	...					
<i>N</i>	...					
<i>N+1</i>	«Ничего неделание» (текущий ремонт и содержание)	+	+	+	+	+

Таким образом, рассматривается $5(N + 1)$ вариантов выполнения ремонтов. По каждому из вариантов определяется экономический эффект для дальнейшего выбора наиболее эффективного варианта.

Преимущество использования матрицы стратегий заключается в том, что путем перебора обязательно будет найден наиболее эффективный вариант ремонта. Недостатком является некоторая избыточность при рассмотрении вариантов ремонта. Так, если покрытие очень неровное, выполнять поверхностную обработку скорее всего не эффективно, и наоборот, на покрытии с хорошей ровностью экономически невыгодно осуществлять устройство слоя. Тем не менее рассматриваются все варианты. Недостаток такой избыточности вычислений несколько сглаживается тем, что выполняются они в автоматическом режиме.

При назначении ремонтов по эмпирическим правилам объем вычислений значительно сокращается. При этом разрабатывается конечное число правил на основе опыта ремонта и содержания, которыми руководствуются в дальнейшем. Например: если дефектность превысит 5 %, выполняется поверхностная обработка, затем, когда ровность превысит 6 м/км, выполняется устройство выравнивающего слоя с поверхностной обработкой; когда ровность превысит 7 м/км, выполняется капитальный ремонт с устройством слоя. Подобных сценариев ремонта может быть любое количество. Недостатком метода является то, что среди назначаемых вариантов ремонта может и не встретиться наиболее эффективный, который может быть найден по матрице стратегий. Уменьшает этот недостаток назначение ремонтов с использованием уровней зон.

Суть *подхода уровней зон* состоит в том, что при одном состоянии покрытия на него можно воздействовать различными ремонтами, а при других — только одним определенным (рис. 10.10). Так, при незначительной дефектности можно выполнить поверхностную обработку или устроить тонкий слой асфальтобетона, а при значительной колейности поверхностная обработка уже не даст нужного эффекта и требуется более серьезный ремонт.



Рис. 10.10. Пример изображения уровней зон для асфальтобетонного покрытия

При использовании уровней зон в качестве показателя состояния наиболее часто применяется обобщенный показатель. Программное обеспечение системы управления при расчетах определяет состояние покрытия и назначает каждый ремонт, подходящий по уровневой зоне, с дальнейшим определением его эффективности.

Важным этапом инженерного анализа и ключевой возможностью системы управления является **прогнозирование транспортно-эксплуатационного состояния покрытия**.

В настоящее время в мире сложилось множество прогнозных моделей для различных показателей состояния дорог. Практически в каждой системе управления состоянием покрытий используются свои модели прогноза. Большое разнообразие моделей объясняется тем, что изменение состояния покрытий зависит от многих случайных факторов, значимо различающихся даже для одной дороги.

Существует два основных подхода к прогнозированию состояния покрытия. В первом случае оно прогнозируется как функция многих переменных, во втором — как функция одной переменной — срока службы.

Прогнозные системы первой группы претендуют на универсальность. Наиболее известными являются модели HDM. Многие из систем управления используют их в качестве основы для разработки собственных моделей. В качестве примера можно привести формулу регрессии ровности в системе управления покрытиями Davasema (Литва):

$$IRI_t = 134e^{m(t-t_0)}(SNC_{t_0} + 1)^{-5}ESAM + mIRI_{t_0} + k_1\Delta RDS + k_2\Delta POT + k_3\Delta ACX, \quad (10.5)$$

где IRI_t — ровность в год t ; m — климатический коэффициент; SNC_{t_0} — структурное число в год t ; $ESAM$ — число эквивалентных осей 8,2 т в год; ΔRDS — прирост стандартного отклонения глубины колеи; ΔPOT — прирост выбоин; ΔACX — прирост трещин; k_1, k_2, k_3 — калибровочные коэффициенты; t — год прогноза; t_0 — год измерения параметров.

Для каждого из показателей, входящих в формулу, также существует своя модель регрессии. В итоге получаем систему формул с множеством калибровочных коэффициентов и показателей, требующих точного измерения, что оборачивается чрезмерной громоздкостью. В то же время излишняя сложность инженерных расчетов не всегда оправдана, так как связана с дополнительными затратами времени и средств.

Модели второй группы более просты, однако они хорошо работают только на ограниченной территории, для которой были созданы. Примером может служить формула прогноза ровности из датской системы управления BELMAN, где учитывается только число лет t эксплуатации покрытия:

$$IRI = IRI_0 + 0,0077t^2 - 0,00399t + 1,12. \quad (10.6)$$

Модели этой группы предпочтительнее ввиду их простоты, что в конечном итоге оборачивается снижением стоимости сбора и анализа данных. Разрабатываются они или путем экспертных оценок, или на основе анализа данных наблюдений. Как правило, для этих целей выполняются системные наблюдения на специально отобранных опытных участках дорог.

Определение влияния выполненных ремонтных мероприятий на изменение состояния покрытия. Рассмотрим рис. 10.11. Кривая 1–2 отражает изменение состояния покрытия до момента времени T_1 . Если в этот момент выполнить ремонт, например поверхностную обработку, состояние покрытия улучшится, что отражает отрезок 2–3. Если не выполнять ремонт, состояние будет продолжать изменяться по кривой 2–4. После выполнения ремонта до момента времени T_2 состояние изменяется по кривой 3–5. В момент времени T_2 также возможны два варианта: ремонт, например укладка слоя асфальтобетона (отрезок 5–6), или отсутствие ремонта (кривая 5–7). После ремонта состояние покрытия изменяется по кривой 6–8.

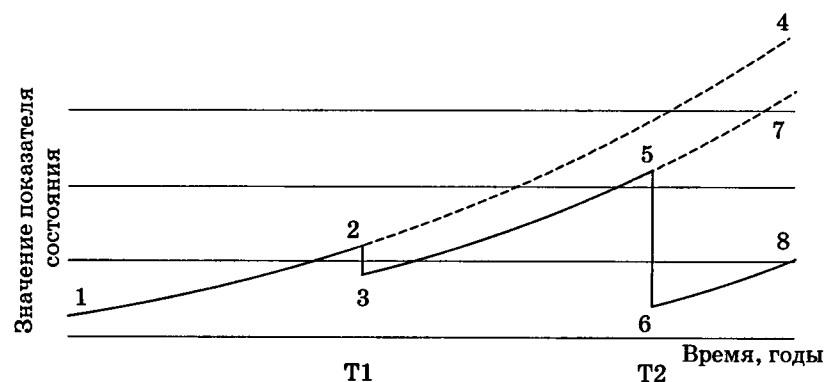


Рис. 10.11. Влияние ремонтных мероприятий на состояние покрытий

Отрезки 2–3 и 5–6 отражают влияние выполненных ремонтных мероприятий на состояние покрытия. Очевидно, что различные ремонты влияют на состояние по-разному. В зарубежных странах, и прежде всего в США, накоплен обширный статистический материал по оценке такого влияния. В Республике Беларусь объем подобных исследований пока незначителен и затрагивает в основном влияние ремонтов на ровность. Так, при устройстве поверхностной обработки на асфальтобетонном и цементобетонном покрытии:

$$IRI = IRI_0 - 0,1IRI_0. \quad (10.7)$$

При устройстве слоя асфальтобетона на цементобетонном покрытии:

$$IRI = IRI_0 - 2. \quad (10.8)$$

Влияние слоя асфальтобетона толщиной от 4 до 10 см с выравнивающим слоем на состояние асфальтобетонного покрытия можно ориентировочно выразить следующим образом:

$$IRI = (-0,05h + 0,5)IRI_0 + (0,09h + 0,9), \quad (10.9)$$

где IRI_0 — ровность до ремонта; h — толщина слоя асфальтобетона (4...10 см).

Развитие новых технологий ремонта покрытий создает дополнительную проблему по оценке их влияния на состояние дорог.

Экономический анализ в системе

10.5. управления

Проведение экономического анализа позволяет решить следующие основные задачи: рассчитать расходы на проведение стратегий ремонта, определить показатели эффективности по каждой стратегии; из ряда альтернативных выбрать для каждого участка дороги наилучшую стратегию по показателю экономического эффекта; установить для годовой программы ремонтных мероприятий те участки дорог, ремонт которых даст наибольший экономический эффект в масштабе сети дорог.

Сравнение альтернативных стратегий ремонтов в системе управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог производится за несколько лет, называемых периодом анализа. Это вызвано тем, что дорожные работы отличаются высокими капитальными затратами в год проведения работ, а основные выгоды и прибыли извлекаются в последующий период.

Основная сложность сравнения заключается в том, что простое суммирование затрат и доходов с последующим сравнением двух сумм между собой не принимает во внимание фактор времени.

Чтобы осуществить правильное сравнение с учетом временного фактора, необходимо привести все будущие затраты на ремонтные работы, а также доходы к общим ценам. Это достигается путем умножения обоих показателей на коэффициент дисконтирования, отражающий возможный экономический эффект, который могли бы принести те же ресурсы, вложенные в другие дорожные проекты. Рассмотрим подробнее его смысл.

Основной вопрос, который при этом необходимо уяснить, сколько сегодня стоит 1 рубль, выплаченный в будущем. Ответ зависит от ставки процента — нормы, по которой можно получить кредит. Предположим, что ставка процента равна R . Тогда нынешний 1 рубль может быть инвестирован, чтобы принести $1 + R$ рублей ровно через год. Следовательно, $1 + R$ рублей является стоимостью сегодняшнего 1 рубля. Какова же нынешняя стоимость, т.е. текущая дисконтированная стоимость, 1 рубля, выплачиваемого через год? Ответ прост, раз мы видим, что $1 + R$ рублей через год стоят $(1 + R)/(1 + R) = 1$ рубль сегодня. Таким образом, 1 рубль через год стоит 1 рубль / $(1 + R)$ сегодня. Это то количество денег, которое даст 1 рубль через год, если он приносит прибыль по учетной ставке R .

Какова стоимость 1 рубля, выплачиваемого через два года? Если бы 1 рубль был вложен сегодня по ставке процента R , он стоил бы $1 + R$ рублей через год и $(1 + R)(1 + R) = (1 + R)^2$ рублей через два года. Так как $(1 + R)^2$ рублей через два года — это стоимость сегодняшнего 1 рубля, 1 рубль через два года стоит 1 рубль / $(1 + R)^2$ сегодня. Обобщая, можно сказать, что текущая дисконтированная стоимость 1 рубля, выплачиваемого через n лет, равна 1 рубль / $(1 + R)^n$.

В табл. 10.7 приведена текущая дисконтированная стоимость 1 рубля, выплачиваемого через 1, 2, 5, 10, 20 и 30 лет, для различных ставок процента. Видно, что если ставка процента выше 0,06 или 0,07, то 1 рубль, выплачиваемый через

20 или 30 лет, стоит сегодня очень мало. Но это не так при низких ставках процента. Например, если R составляет 3 %, текущая дисконтированная стоимость 1 рубля через 20 лет приблизится к 55 копейкам. Иными словами: если 55 копеек были бы инвестированы сейчас при ставке 3 %, они принесли бы около 1 рубля через 20 лет.

Таблица 10.7

Дисконтированная стоимость 1 рубля

Ставка процента	Год					
	1-й	2-й	5-й	10-й	20-й	30-й
0,01	0,990	0,980	0,951	0,905	0,820	0,742
0,02	0,980	0,961	0,906	0,820	0,673	0,552
0,03	0,971	0,943	0,863	0,744	0,554	0,412
0,04	0,962	0,925	0,822	0,676	0,456	0,308
0,05	0,952	0,907	0,784	0,614	0,377	0,231
0,06	0,943	0,890	0,747	0,558	0,312	0,174
0,07	0,935	0,873	0,713	0,508	0,258	0,131
0,08	0,926	0,857	0,681	0,463	0,215	0,099
0,09	0,917	0,842	0,650	0,422	0,178	0,075
0,10	0,909	0,826	0,621	0,386	0,149	0,057
0,15	0,870	0,756	0,497	0,247	0,061	0,015
0,20	0,833	0,694	0,402	0,162	0,026	0,004

Важный вопрос представляет собой также и то, как учитывать ставку процента R ? Из курса экономики известно, что различаются реальные (действительные) и номинальные цены. Действительная цена есть цена за вычетом величины инфляции, тогда как номинальная цена включает величину инфляции. Если доход определен в реальном исчислении, то и норматив приведения должен быть выражен точно так же. Дело в том, что норматив приведения представляет собой вмененные издержки инвестирования.

Если уровень инфляции учитывается при вычислении дохода от инвестиций, его не следует включать во вмененные издержки. Действительная ставка процента представляет собой номинальную ставку за вычетом ожидаемых темпов инфляции. При проведении экономического анализа цифры в расчетах могут быть как действительными, так и номинальными, однако они должны быть согласованы. Если доход выражен в реальных условиях, то и коэффициент приведения также должен быть в реальном исчислении.

В том случае, когда учетная ставка часто меняется, а темпы инфляции труднопрогнозируемы, осуществлять расчеты в действительных ценах крайне неудобно. Для сглаживания этого недостатка в Республике Беларусь в течение длительного времени использовались расчеты в базовых ценах 1991 г. с последующим переходом к действующим ценам через систему индексов. Ставка дисконтирования при этом принимается в размере 0,12.

Как было показано выше, система управления может иметь различные конечные цели. В зависимости от этого различаются и методы экономического анализа. Если целью является снижение совокупных транспортных затрат, то исходными данными для экономического анализа будут издержки пользователей дорог. Расходы на эксплуатацию транспортного средства рассчитываются по характерным типам автомобилей. В системе управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог «Ремонт», применяемой в Беларуси, расчеты осуществляются по методике HDM-VOC, изложенной в техническом документе Мирового банка № 234, с использованием специального программного обеспечения. Для работы с ним необходимо собрать в автотранспортных предприятиях значительное количество исходных данных по характерным автомобилям: стоимость нового автомобиля, стоимость 1 л топлива, стоимость 1 л смазочных материалов, стоимость одной шины, средняя зарплата водителей, средняя стоимость работ по обслуживанию, полные накладные расходы на автомобилекилометр, средний ежегодный пробег, среднее отработанное время в год, часовой коэффициент использова-

ния, средний срок службы, доля стоимости восстановления покрышки от общей стоимости новой шины, количество восстановлений покрышки.

Для получения реальной картины транспортных расходов количество автотранспортных предприятий, охваченных опросом, должно быть по возможности максимальным. Собранные данные усредняются по группам автомобилей и вводятся в программу HDM-VOC. Результатом ее работы являются уравнения, отражающие затраты одного автомобиля при проезде по участку дороги, имеющему ту или иную ровность.

С использованием уравнений затраты на эксплуатацию одного транспортного средства группы i при проезде по участку длиной l_j определяются следующим образом:

$$VOC_{ij} = (a_i + b_i IRI_j + c_i IRI_j^2) \cdot l_j, \quad (10.10)$$

где VOC_{ij} — затраты на эксплуатацию одного транспортного средства i -й группы при проезде по участку длиной l_j км, руб.; a_i, b_i, c_i — коэффициенты для транспортного средства группы i ; IRI_j — ровность участка по шкале Международного индекса ровности, м/км.

Поскольку исходные данные для определения транспортных затрат регулярно меняются, собирать данные и рассчитывать коэффициенты следует ежегодно.

Суммарные транспортные затраты потока автомобилей группы i при проезде по этому участку определяются по формуле

$$VOC_j = \sum_{i=1}^n VOC_{ij}, \quad (10.11)$$

где VOC_j — суммарные транспортные затраты потока автомобилей, руб.; VOC_{ij} — затраты на эксплуатацию одного транспортного средства i -й группы при проезде по участку длиной l_j км, руб.; n — число групп автомобилей.

Затраты на эксплуатацию транспорта потока всех автомобилей при проезде по всей дороге длиной S определяются следующим образом:

$$VOC = \sum_{j=1}^S VOC_j, \quad (10.12)$$

где VOC — транспортные затраты потока автомобилей при проезде по всей дороге длиной S км, руб.; VOC_j — суммарные транспортные затраты потока автомобилей, руб.; S — длина дороги, км.

Затраты на применение стратегий ремонта рассчитываются с использованием укрупненных расценок на проведение ремонтных работ:

$$C = S_i L, \quad (10.13)$$

где C — расходы на применение стратегии ремонта, руб.; S_i — стоимость выполнения 1 км ремонтных работ по выбранной стратегии, руб./км; L — длина участка, км.

Важнейшим понятием в системе управления является понятие экономического эффекта от проведения ремонтных мероприятий. При поверхностном рассмотрении может сложиться впечатление, что ремонт дорог исключительно убыточен, так как не приносит ощутимой прибыли. Это может быть только при рассмотрении проблемы в рамках дорожной отрасли. Между тем в масштабе государства ремонт дорог дает ощутимые положительные результаты. Известно, что эксплуатация транспорта требует немалых средств. Причем при движении автомобилей по дорогам низкого качества эти средства больше, чем в случае покрытий с высокими транспортно-эксплуатационными показателями. Сокращение транспортных расходов — пример достижения экономического эффекта от ремонта дорог. Для количественной оценки эффекта вводится понятие совокупных транспортных затрат.

Совокупные транспортные затраты представляют собой сумму затрат на эксплуатацию транспорта и затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ дорожной сети:

$$СТЗ = VOC + C, \quad (10.14)$$

где VOC — затраты на эксплуатацию транспорта, руб.; C — затраты на осуществление ремонтно-восстановительных работ дорожной сети, руб.

Экономический эффект в системе рассматривается как снижение совокупных транспортных затрат после проведения ремонтных мероприятий по сравнению с вариантом, когда ремонт не производился.

Для сравнения эффективности различных вариантов ремонтных работ рассчитывают четыре следующих показателя, выражающих экономический эффект:

- чистая текущая стоимость;
- внутренняя норма рентабельности;
- соотношение выгод и затрат;
- норма прибыли первого года.

Чистая текущая стоимость (ЧТС) представляет собой дисконтированный экономический эффект, рассчитанный за период анализа. Математически ЧТС выражается как разница между дисконтированными доходами и затратами в течение периода анализа стратегии:

$$R_n = \sum_{t=0}^{T-1} \frac{b_t - C_t}{(1 + E)^t}, \quad (10.15)$$

где R_n — значение чистой текущей стоимости, руб.; T — анализируемый период, лет; t — текущий по порядку год, при $t = 0$ для базового года; b_t — снижение транспортных расходов в год t , руб.; C_t — сумма всех затрат на ремонтные мероприятия в год t , руб.; E — коэффициент дисконтирования.

Положительная величина чистой текущей стоимости свидетельствует, что применение данного вида ремонта экономически обосновано при действующей ставке дисконтирования. Чем большей будет чистая текущая стоимость, тем более выгодно проведение ремонта. В условиях бюджетных ограничений выбор варианта ремонта может основываться на величине полученной чистой текущей стоимости.

Внутренняя норма рентабельности соответствует равенству дисконтированных затрат и экономического эффекта, когда чистая текущая стоимость R_n равна нулю.

Величину внутренней нормы прибыли определяют решением относительно E уравнения:

$$\sum_{t=0}^{T-1} \frac{b_t - C_t}{(1+E)^t} = 0. \quad (10.16)$$

Уравнение решается методом последовательных приближений. Внутренняя норма рентабельности является показателем рентабельности инвестиций. Чем она выше, тем выгоднее ремонт. Если она превышает норму дисконтирования, для которой осуществляется расчет, то проведение ремонта экономически обосновано.

Соотношение выгод и затрат представляет собой отношение дисконтированного экономического эффекта (B) к дисконтированным затратам:

$$B = \sum_{t=0}^{T-1} \frac{b_t}{(1+E)^t}, \quad (10.17)$$

$$C = \sum_{t=0}^{T-1} \frac{C_t}{(1+E)^t}. \quad (10.18)$$

Отношение B/C больше единицы свидетельствует о том, что при проведении ремонта экономический эффект превышает затраты. Если оно равно единице, эффект и затраты уравниваются. Отношение меньше единицы указывает, что не все затраты окупятся и осуществлять такой ремонт экономически невыгодно. Из нескольких различных альтернативных стратегий выбирается та, где соотношение между доходами и расходами больше.

Показатель нормы прибыли первого года используется для определения наилучшего срока начала выполнения работ. В ряде случаев необходимо отложить выполнение ремонта на более поздний срок, даже если ремонт экономически выгоден. Это происходит, когда интенсивность движения на дороге ежегодно значительно увеличивается и норма прибыли возрастает до более высокого уровня. Для оценки своевременности выполнения ремонта используется показатель нормы прибыли первого года.

Норма прибыли первого года представляет собой отношение экономического эффекта за первый год после выполнения ремонта к текущей стоимости капитальных затрат, выраженное в процентах:

$$K = 100 \cdot \sum_{j=0}^{j-1} \frac{B_j}{C_j(1+E)^{T-1}}, \quad (10.19)$$

где j — первый год получения экономического эффекта при $j = 0$ для базового года; B_j — экономический эффект в год j , руб.; C_j — затраты в год j , руб.; E — коэффициент дисконтирования; T — анализируемый период.

Если норма прибыли первого года больше, чем запланированная учетная ставка, то ремонт своевременен и его осуществление можно начинать.

Если отношение B/C ниже запланированной учетной ставки, но чистая текущая стоимость имеет положительное значение, то начало работ следует отложить и для определения начальной даты работ рассчитать последующие нормы прибыли.

В процессе работы системы, в соответствии с матрицей стратегий, для каждого участка дороги назначается несколько стратегий ремонта. В результате экономического анализа выбирается только одна стратегия, применение которой на участке дает наибольший эффект. Для выбора оптимальной стратегии ремонта используется показатель соотношения выгод и затрат. Расчет производится в такой последовательности:

1. По каждой стратегии определяется соотношение дисконтированных выгод и затрат.

2. Полученные значения сортируются в порядке убывания соотношения выгод и затрат.

3. Первая стратегия в списке выбирается в качестве оптимальной для участка в том случае, если соотношение выгод и затрат больше единицы. Если соотношение меньше единицы, то ни капитальный, ни средний ремонт выполнять неэффективно и для участка выбирается стратегия содержания.

При значительном протяжении дорожной сети и в условиях ограниченного количества денежных средств встает вопрос о том, как наилучшим образом их использовать. Для этих це-

лей применяются методы оптимизации. Критерием оптимальности является минимум совокупных транспортных затрат. На рис. 10.12 представлен график, поясняющий примененный подход. При минимальных затратах на ремонтно-восстановительные работы состояние дороги плохое и затраты пользователей дорог велики. Для улучшения состояния дороги требуется больше средств на проведение ремонтно-восстановительных работ и затраты на эксплуатацию транспорта при этом снижаются. На кривой СТЗ видно, что суммарные затраты снижаются только до некоторого предела, а далее начинают возрастать. Это значит, что средства, вложенные в ремонт, уже не окупаются за счет снижения затрат на эксплуатацию транспорта и вложение средств невыгодно. Точка минимума на кривой СТЗ соответствует оптимальному уровню вложения средств при заданном уровне финансирования.

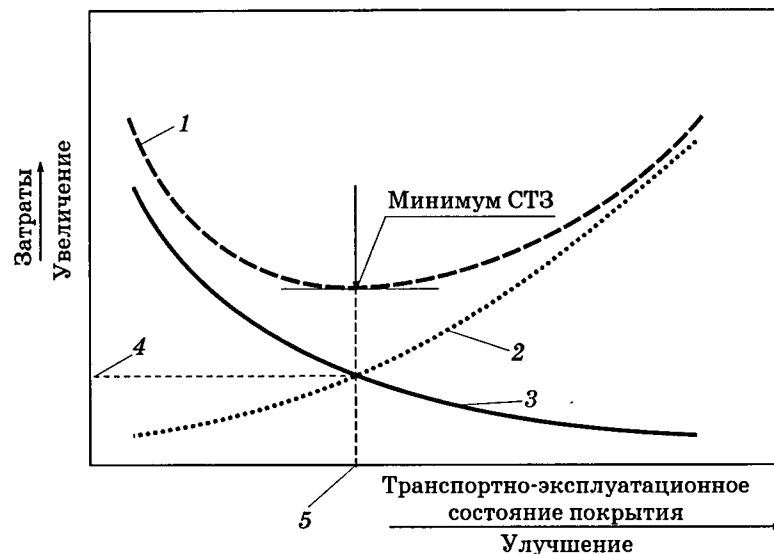


Рис. 10.12. Оптимальный уровень вложения средств в ремонтные мероприятия:

1 — общетранспортные затраты; 2 — затраты на ремонтно-восстановительные работы; 3 — затраты пользователей дорог; 4 — уровень финансирования; 5 — состояние при заданном финансировании

Существует два подхода к оптимизации: подлинная оптимизация и эвристическая оптимизация. Подлинная оптимизация основана на использовании достаточно сложного вычислительного аппарата, относящегося к специальному разделу математики «методы оптимизации». Ввиду значительного количества и трудоемкости вычислений подлинная оптимизация используется в системах управления сравнительно редко.

Наибольшее распространение получила эвристическая оптимизация. Метод достаточно прост в применении, однако является только приближением к реальности.

Наиболее популярным во всем мире способом эвристической оптимизации, который применяется и в Беларуси, является метод, основанный на определении стоимости дополнительной прибыли или создании фронта эффективности.

Для пояснения метода рассмотрим график, вертикальная ось которого показывает экономический эффект (это, как правило, чистая текущая стоимость), а горизонтальная ось — расходы на проведение ремонтов. Точками на графике обозначены различные стратегии (рис. 10.13). Верхние точки графика объединены линией. При этом никакие точки стратегий не располагаются над линией и никакой сегмент не имеет большего наклона, чем предыдущий. Наклон каждого последующего сегмента называется стоимостью дополнительной прибыли перехода от одной стратегии к следующей. Суть такого анализа состоит в том, что производится отбор только таких стратегий, которые находятся на границе эффективности. Эти стратегии дают наибольший эффект на вложенные средства.

Целью оптимизации является выбор для годовой программы ремонтных мероприятий тех участков дорог, ремонт которых даст наибольший экономический эффект в масштабе сети таким образом, чтобы их суммарная стоимость не выходила за рамки выделенных денежных средств. Выбранные таким образом стратегии составляют программу работ. Исходными данными для расчетов служат выбранные стратегии ремонтов для каждого участка дороги. Для каждой из стратегий вычисляется величина чистой текущей стоимости.

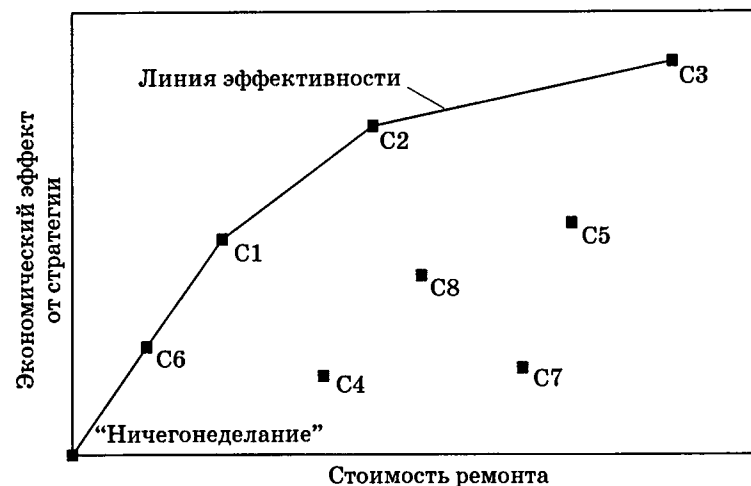


Рис. 10.13. Эффективность стратегии ремонтов

Оптимизационный анализ выполняется после того, как система выберет оптимальную стратегию ремонта для каждого участка. Процесс состоит из следующих этапов:

1. Все стратегии сортируются в порядке убывания значения экономического эффекта (чистой текущей стоимости), достигаемого в результате их применения.

2. Все стратегии, начиная с начала списка, сравниваются с суммой выделенных денежных средств. Если стоимость стратегии меньше суммы выделенных средств, то данная стратегия выбирается для участка.

3. Выделенные средства сокращаются на соответствующую стоимость выбранной стратегии.

4. Процесс продолжается для каждой стратегии в отсортированном списке.

5. Процесс заканчивается, когда в списке больше нет стратегий либо исчерпаны выделенные средства.

В том случае, когда система управления содержанием покрытий ориентирована на достижение иных целей, методика экономического анализа может быть иной.

Рассмотрим в общих чертах последовательность действий, когда целью является увеличение эффективности ремонта

дорог. Как правило, эффективность измеряется путем анализа различия в состоянии дороги при отсутствии ремонта и в результате проведения программы ремонтов. Основным показателем для такого анализа является значение «площади под кривой». Рассмотрим график, горизонтальная ось которого обозначает время, а вертикальная — состояние покрытия (рис. 10.14). С течением времени состояние покрытия изменяется некоторым образом (кривая 1). Если в момент времени T выполнить ремонт, то состояние улучшится и будет изменяться по другому закону (кривая 2). Площадь, ограниченная кривыми, носит название «площадь под кривой». Чем лучше состояние, которого можно достичь, вкладывая средства в ремонт покрытия, т.е. чем больше площадь под кривой, тем эффективнее проведение работ. В качестве показателя состояния в данном случае чаще всего выбирается обобщенный показатель, охватывающий по возможности большее количество частных показателей.

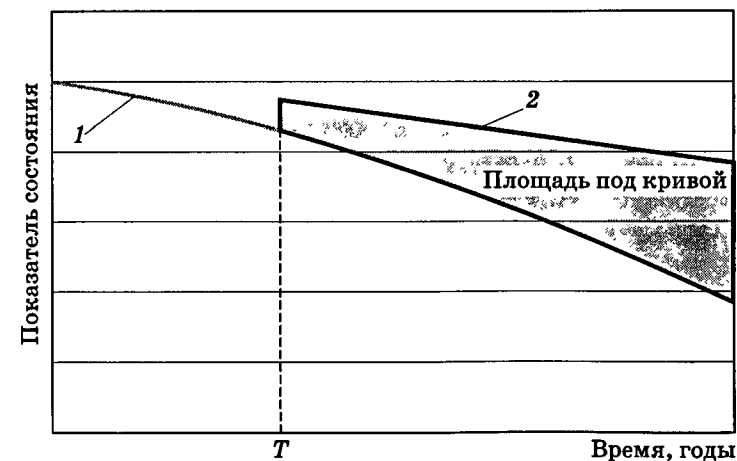


Рис. 10.14. «Площадь под кривой»

В некоторых системах управления площадь под кривой умножается на интенсивность дорожного движения. Тем самым определяется «прибыль» от движения транспорта в значительной мере так же, как это делается с помощью метода расчета совокупных транспортных затрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диагностика автомобильных дорог стала системно 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 являются общепризнанными паспортизация дорог, систематически организуемые осмотры их состояния, измерения ровности, прочности и шероховатости дорожных асфальто- 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 должна 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.

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. Дальнейшее развитие систем управления состоянием покрытий в сторону разработки интегрированных систем, охватывающих не только ремонт, но также содержание и новое строительство дорог.

5. Широкое внедрение в практику диагностики автоматизированных систем измерений параметров транспортного потока и условий эксплуатации дорог. Создание на их основе автоматизированных систем управления движением.

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.

Список рекомендуемой литературы

Автомобильные дороги Беларуси: энциклопедия / под общ. ред. А.В. Минина. Минск : БелЭн, 2002. 672 с.

Бируля А.К. Работоспособность дорожных одежд / А.К. Бируля, С.И. Михович. М. : Транспорт, 1968. 172 с.

Васильев А.П. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения : учеб. для вузов / А.П. Васильев, В.М. Сиденко; под. ред. А.П. Васильева. М. : Транспорт, 1990. 304 с.

Золотарь И.А. Экономико-математические методы в дорожном строительстве / И.А. Золотарь. М. : Транспорт, 1974. 248 с.

Кейроз Ц. Техничко-экономические проблемы ремонта и содержания автомобильных дорог / Ц. Кейроз; пер. и ред. В.Ф. Бабкова. М. : Институт экономического развития Всемирного банка, МАДИ (ТУ), 1995. 57 с.

Коганзон М.С. Качество и надежность дорожного строительства / М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев. М. : МАДИ, 1981. 89 с.

Корсунский М.Б. Оценка прочности дорог с нежесткими одеждами / М.Б. Корсунский. М. : Транспорт, 1966. 153 с.

Леонович И.И. Дорожная климатология: учеб. / И.И. Леонович. Минск : БНТУ, 2005. 485 с.

Немчинов М.В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей / М.В. Немчинов. М. : Транспорт, 1985. 231 с.

Повышение надежности автомобильных дорог / под ред. И.А. Золотаря. М. : Транспорт, 1977. 183 с.

Ремонт и содержание автомобильных дорог: справочник инженера-дорожника / А.П. Васильев [и др.]; под ред. А.П. Васильева. М. : Транспорт, 1989. 287 с.

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.

Семенов В.А. Качество и однородность автомобильных дорог / В.А. Семенов. М. : Транспорт, 1989. 125 с.

Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог / В.М. Сиденко, С.И. Михович. М. : Транспорт, 1976. 288 с.

Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог / В.В. Сильянов. М. : Транспорт, 1984. 287 с.

Ситников Ю.М. Стадийное улучшение транспортно-эксплуатационных качеств дорог / Ю.М. Ситников, О.А. Дивочкин. М. : Транспорт, 1973. 128 с.

Слободчиков Ю.М. Условия эксплуатации и надежность работы автомобильных дорог / Ю.М. Слободчиков. М. : Транспорт, 1987. 128 с.

Смирнов А.В. Динамика дорожных одежд автомобильных дорог / А.В. Смирнов. Омск: Зап-сибирск. книжн. изд-во, 1975. 183 с.

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.

Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / И.И. Леонович [и др.]. Минск: Вышэйшая школа, 1988. 348 с.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	6
1. Основы дорожной диагностики	10
2. Ровность дорожных покрытий	16
2.1. Общая характеристика	16
2.2. Система измерения ровности дорожного покрытия	24
2.2.1. Определение ровности покрытий по воздействию неровностей на измерительное устройство	24
2.2.2. Определение ровности покрытий при непосредственном измерении неровностей поверхности покрытия	36
2.3. Расчетные показатели ровности	62
2.4. Практические аспекты применения показателя ровности ...	73
2.4.1. Анализ профилометрических систем	73
2.4.2. Анализ проектных решений	75
2.4.3. Пути улучшения ровности дорожных покрытий на стадии укладки асфальтобетонных смесей	80
3. Прочность дорожных одежд	83
3.1. Общие положения	83
3.1.1. Расчет прочности дорожной одежды	83
3.1.2. Определение допустимой нагрузки дорожных одежд	87
3.1.3. Особенности проведения работ по определению прочности дорожной одежды	89
3.2. Измерение упругого прогиба нежестких дорожных одежд	91
3.2.1. Статический метод измерения упругого прогиба	91
3.2.2. Динамический метод измерения упругого прогиба ...	95
3.3. Установки для оценки прочности дорожных одежд	97
3.4. Износ дорожного покрытия	115
4. Шероховатость и сцепные качества дорожных покрытий	119
4.1. Физическая сущность шероховатости дорожных покрытий	119

4.2. Методы измерения шероховатости дорожных покрытий ...	126
4.2.1. Метод песчаного пятна	126
4.2.2. Метод объемного пятна	129
4.2.3. Метод вытекания	130
4.2.4. Профилометрические методы	130
4.3. Методы измерения сцепных качеств покрытия	132
4.3.1. Факторы, влияющие на сцепные качества покрытий	133
4.3.2. Метод полностью заблокированного колеса	136
4.3.3. Метод частично заблокированного колеса с проскальзыванием	137
4.3.4. Метод измерения условной величины перемещения движения имитатора колеса	140
4.3.5. Метод торможения автомобиля	142
4.3.6. Расчетные показатели шероховатости и сцепных качеств дорожных покрытий	143
5. Измерение геометрических параметров автомобильных дорог	148
5.1. Общие сведения	148
5.2. Установки для определения геометрических параметров автомобильных дорог	149
5.3. Определение геометрических параметров дорог с помощью геодезических приборов и инструментов	154
6. Дефектность автомобильных дорог	157
6.1. Общее понятие дефекта, его виды и характеристики	157
6.2. Дефекты асфальтобетонных дорожных покрытий	159
6.2.1. Трещины	160
6.2.2. Выбоины	164
6.2.3. Заплаты	165
6.2.4. Колейность	165
6.2.5. Выкрашивание и шелушение	167
6.2.6. Разрушение кромок	167
6.3. Дефекты цементобетонного покрытия	168
6.3.1. Трещины	168
6.3.2. Незаполненные швы	169
6.3.3. Повреждение кромок швов	169
6.3.4. Заплаты	170

6.3.5. Смещение по высоте смежных элементов	170
6.3.6. Разрушение плит	171
6.3.7. Выкрашивание поверхностной обработки	171
6.3.8. Шелушение	172
6.4. Дефекты земляного полотна	176
6.5. Дефекты водопропускных труб	177
6.6. Отказы	178
6.7. Оценка дефектности покрытий при диагностике дорог ...	180
6.7.1. Методы оценки дефектности покрытий	180
6.7.2. Установки для определения дефектности покрытий	181
7. Диагностика транспортного потока	208
7.1. Основные характеристики движения потока автомобилей	208
7.1.1. Пропускная способность	208
7.1.2. Интенсивность движения	212
7.1.3. Состав движения	214
7.1.4. Характеристика уровней удобства движения	214
7.2. Методы определения параметров транспортного потока ...	217
7.2.1. Контактно-механические методы	217
7.2.2. Магнитно-индуктивные методы	230
7.2.3. Методы с применением зондирующих импульсов ...	235
7.2.4. Учет интенсивности транспортных средств визуальным методом	238
7.2.5. Учет движения автоматическими счетчиками	242
7.3. Контроль тяжеловесных и крупногабаритных транспортных средств	243
8. Определение светотехнических характеристик элементов инженерного обустройства дороги	249
8.1. Светотехнические особенности дорожных знаков	249
8.1.1. Определение светотехнических характеристик дорожных знаков	250
8.1.2. Светотехнические материалы для изготовления дорожных знаков	252
8.1.3. Оборудование для измерения светотехнических характеристик дорожных знаков	256

8.2. Светотехнические особенности дорожной разметки и оборудование для оценки ее световозвращающих качеств	262
8.3. Светотехнические характеристики дорожного покрытия ...	269
8.3.1. Определение коэффициента диффузного отражения элементов проезжей части	270
8.3.2. Определение светотехнических характеристик элементов проезжей части методом измерения индикатрис рассеивания светового потока	273
9. Диагностика условий эксплуатации дорог	277
9.1. Технические средства диагностики условий эксплуатации	277
9.2. Выбор мест расположения дорожных измерительных станций	288
10. Системы управления состоянием дорожных покрытий	291
10.1. Общие сведения	291
10.2. Цели и состав систем управления состоянием покрытий	299
10.3. Исходные данные для работы системы управления состоянием покрытий	315
10.4. Инженерный анализ в системе управления	318
10.5. Экономический анализ в системе управления	329
Заключение	342
Список рекомендуемой литературы	344

По вопросам приобретения книг обращайтесь:

Республика Беларусь

ООО «Новое знание»
220050, а/я 79, Минск,
пр. Пушкина, д. 15а
Тел./факс: (10-375-17) 211-50-38
E-mail: nk@wnk.biz
<http://wnk.biz>

Российская Федерация

Отдел оптовых продаж «ИНФРА-М»:
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в, стр. 1
Тел. (495) 380-4260; факс (495) 363-9212
E-mail: books@infra-m.ru

Отдел «Книга—почтой»:
Тел. (495) 363-4260 (доб. 232, 246)

Учебное издание

Высшее образование

**Леонович Иван Иосифович
Богданович Сергей Валерьевич
Нестерович Игорь Васильевич**

ДИАГНОСТИКА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Учебное пособие

Ведущий редактор	С.В. Исаенко
Редактор	В.А. Скоробогатая
Художник обложки	С.В. Ковалевский
Компьютерная верстка	Е.Н. Миночкина
Корректор	К.А. Степанова

Оригинал-макет подготовлен ООО «Новое знание»

Подписано в печать 25.09.2010.

Формат 60 × 90^{1/16}. Бумага офсетная. Гарнитура Школьная.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 22,0. Уч.-изд. л. 18,39.

Тираж 800 экз. Заказ № 3897.

Общество с ограниченной ответственностью «Новое знание»

ЛИ № 02330/0133439 от 30.04.2004.

Ул. Шаранговича, 7-2136, 220015, Минск, Республика Беларусь

Почтовый адрес: а/я 79, 220050, Минск, Республика Беларусь

Телефон/факс: (10-375-17) 211-50-38

E-mail: nk@wnk.biz <http://wnk.biz>

Издательский Дом «ИНФРА-М»

127282, Москва, ул. Полярная, д. 31в

Тел.: (495) 380-05-40, 380-05-43. Факс: (495) 363-92-12

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»

«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова».

214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2.