

Государственная служба дорожного хозяйства
Министерства транспорта Российской Федерации

Информационный центр
по автомобильным дорогам

ИНФОРМАВТОДОР

С.Н. Жилин
В.И. Ермолаев

**СОВРЕМЕННЫЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ
ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Обзорная
информация

Автомобильные дороги

5-2002

В данном выпуске информационного сборника освещены вопросы, связанные с современными автоматизированными техническими средствами диагностики автомобильных дорог как отечественных, так и зарубежных производителей.

В первой главе рассматриваются цели и задачи диагностики автомобильных дорог, формулируются основные требования по системе диагностики автомобильных дорог.

Во второй главе рассматривается автоматизированная измерительная техника российского производства для определения транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог.

В третьей главе речь идет о зарубежном опыте применения комплексных дорожных диагностических лабораторий и измерительного оборудования, даны характеристики современных технических средств диагностики дорог,

В четвёртой главе рассматривается применение нового, еще не нашедшего широкого применения георадарного метода при обследовании автомобильных дорог.

В пятой главе рассматриваются перспективные направления исследований в области дорожной диагностической техники.

*Обзор подготовили
канд. техн. наук Н.С.Жилин,
инж. В.И.Ермолаев
(ФГУП СНИЦ «РОСДОРТЕХ»)*

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика автомобильных дорог является основой системы управления состоянием автомобильных дорог, в том числе планирования, распределения и использования средств, направляемых на содержание, ремонт и реконструкцию дорог, оптимизацию программ дорожных работ. Цель диагностики и оценки состояния автомобильных дорог состоит в получении полной, объективной и достоверной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог, условиях их работы, а также степени соответствия фактических потребительских свойств дороги, их параметров и характеристик требованиям безопасности движения. Результаты диагностики и оценки состояния дорог должны служить надежной информационной базой для решения управленческих задач двух уровней:

- определение и оценка технического уровня, транспортно-эксплуатационного состояния, потребительских свойств автомобильных дорог;
- управление состоянием дорожной сети на основании рационального использования финансовых средств и материально-технических ресурсов.

Исходя из установленных целей и задач формулируются основные требования к системе диагностики дорог, включающие единую нормативно-методическую базу по обследованию дорог, единую систему транспортно-эксплуатационных показателей дорог, использование метрологически аттестованных технических средств диагностики, обеспечение нормативно-методической базы и технических средств диагностики, не уступающих международным стандартам.

Необходимым инструментом для достижения обозначенной цели являются автоматизированные технические средства диагностики и оценки транспортно-эксплуатационного состояния дорог. Учитывая наличие существенных ограничений по финансовым и материально-техническим ресурсам отечественной дорожной отрасли, вопрос обеспечения отрасли новейшими техническими достижениями в области диагностики вряд ли будет решен в полной мере в ближайшее время. Несмотря на указанные трудности, ряд отечественных производителей ведет разработки новой дорожной измерительной техники, совершенствуют методы и технологии диагностики дорог. В настоящее время ФГУП СНПЦ «РОСДОРТЕХ» создает модернизированную дорожную лабораторию диагностики нового поколения на базе передвижной лаборатории КП-514 МП. Измерительный комплекс-лаборатория «РосдорНИИ», контрольно-измерительное оборудование лабораторно-исследовательского центра Управления «Мосавтодор», лаборатория «Магистраль-1», разработанная и оборудованная Томским политехническим университетом и по отдельным характеристикам соответствуют современному уровню диагностики автомобильных дорог. Однако эффективность измерения многих параметров дорог все еще остается невысокой, отсутствует возможность одновременного измерения нескольких параметров, процесс измерения производится на малой скорости, что снижает производи-

тельность диагностических работ. Номенклатура измерений требует расширения, необходима также унификация измерительной аппаратуры и программного обеспечения. Для российских предприятий-изготовителей открыто широкое поле деятельности по исследованию и ведению разработок диагностического оборудования. Опыт показывает, что разработка с нулевого цикла новой измерительной техники весьма проблематична, и одним из вариантов успешного выполнения данной задачи является изучение отечественного и зарубежного опыта. Зачастую как разработчикам, так и управленческим и коммерческим службам предприятий трудно ориентироваться в потоке информации и найти необходимые им данные о технических средствах диагностика автомобильных дорог, включая их технические и функциональные характеристики. В связи с этим необходимо детальное рассмотрение современного развития методов и технологий диагностики автомобильных дорог, нашедших применение в существующих дорожных измерительных системах как в России, так и за рубежом.

Данная работа представляет собой обзор по автоматизированным измерительным средствам диагностики автомобильных дорог, освещающий современный уровень развития методов и технологий оценки состояния дорог. В обзоре представлена дорожная измерительная техника отечественного и зарубежного производства, обеспечивающая определение технических параметров и транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог.

1. Система диагностики автомобильных дорог

Диагностика федеральных автомобильных дорог как система сложилась в России в 1992 году.

Целью диагностики и оценки состояния является получение полной и объективной информации о транспортно-эксплуатационном состоянии дорог, условиях их работы и степени соответствия фактических потребительских качеств требованиям автомобильного движения. Результаты диагностики являются основой управления состоянием автомобильных дорог и исходной базой для эффективного использования средств, направляемых на совершенствование и развитие дорожной сети.

Заказчиком работ по диагностике федеральных автомобильных дорог является Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта РФ.

Работы по диагностике дорог должны выполнять специализированные организации, имеющие необходимый опыт, специалистов и оборудование, включая передвижные лаборатории.

Контракты на выполнение работ по диагностике дорог заключаются по результатам конкурсных торгов. В зависимости от опыта работы организации контракты с Минтрансом РФ на диагностику федеральных дорог заключаются на срок от 1 до 5 лет.

По объему выполнения работ различают диагностику первичную и повторную. При первичной диагностике измеряют и оценивают весь комплекс, установленный Правилами диагностики [2] параметров и характеристик состояния дороги, а также транспортного потока. При повторной – только переменные, к которым относятся прочность дорожной одежды, продольная и поперечная ровность (глубина колеи), шероховатость и сцепные качества покрытия, интенсивность и состав движения. Кроме того, при повторной диагностике измеряют и оценивают те постоянные параметры и характеристики, которые были изменены в процессе ремонта или реконструкции дороги.

Диагностика и оценка состояния мостовых сооружений осуществляется в соответствии с «Техническими правилами ремонта и содержания дорог» [3], «Инструкцией по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах» ВСН 4-81 [4] и СНиП 3.06.07-86 «Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний» [5].

Нормативы объемов и периодичность диагностики и обследования автомобильных дорог установлены дополнениями к [2] и принимаются согласно таблицы 1.

Табл. 1

№	Параметры и элементы	Федеральные дороги		Местные дороги (территориальные)
		Магистральные	Прочие	
1	2	3	4	5
1	Геометрические параметры плана и профиля (ширина проезжей части и обочин, продольные и поперечные уклоны, радиусы горизонтальных кривых, ширина разделительной полосы и др.)	При первичной диагностике эксплуатируемых дорог. При повторной диагностике только на участках изменения геометрических параметров после проведения соответствующих ремонтных мероприятий или реконструкции		
2	Ровность покрытия проезжей части: на участках с неудовлетворительной ровностью на остальных участках	Ежегодно	Раз в 2 года	Раз в 3 года
		Раз в 2 года	Раз в 3 года	Раз в 3 года
3	Сцепные свойства дорожных покрытий	Ежегодно	Раз в 2 года	Раз в 3 года
4	Визуальная регистрация дефектов дорожных одежд и покрытий с целью определения их состояния	Ежегодно	Ежегодно	Ежегодно
5	Прочность одежды, оценка состояния и системы водоотвода: • на участках с $K_{пп} < 0,80$ • на остальных участках а также после проведения работ по ремонту и реконструкции	Ежегодно	Ежегодно	Раз в 3 года
		Раз в 3 года	Раз в 4 года	Раз в 5 лет
6	Состояние дорожных устройств и обстановки дороги (площадки отдыха, площадки для стоянки автомобилей, автобусные остановки и автопавильоны, дорожные знаки и указатели, ограждения и др.)	Раз в 3 года	Раз в 4 года	Раз в 5 лет
7	Состояние водопропускных труб	Раз в 3 года	Раз в 4 года	Раз в 5 лет
8	Учёт интенсивности движения и состава транспорта потока	Ежегодно	Раз в 3 года	Раз в 5 лет
9	Сбор информации об аварийности с выявлением участков концентрации ДТП и их детальным обследованием	Ежегодно	Ежегодно	Ежегодно
10	Формирование и обновление банка данных о состоянии дорог	Ежегодно	Ежегодно	Ежегодно

В целях определения или уточнения фактической протяженности автомобильных дорог, а также адресов начала и конца дорог назначаются ответственные представители от органов управления дорожным хозяйством, которые должны работать совместно с организациями, проводящими диагностику. Они также совместно должны проводить осмотры участков дорог, в том числе состояния покрытия, после эксплуатации в зимний период. На основе совместного осмотра составляется Акт с предложениями о внесении изменений в про-

грамму ремонта на текущий год с выбором приоритетных (после выхода из зимы) адресов и видов работ.

При диагностике, также как инвентаризации и паспортизации дорог, особое внимание уделяется выявлению и закреплению точек начала и конца дорог. Они закрепляются реперами. Составляются ведомость и паспорта на реперы. Их вид и место расположения должны быть сфотографированы. На лицевой стороне красным фломастером указывается элемент, принятый за репер. На обратной стороне дается название автомобильной дороги и описание элемента, принятого за репер. К реперу привязывается ближайший километровый знак, то есть указывается расстояние до него. На отдельном листе формата А-4 вычерчивается схема привязки, на которой дается взаимное расположение репера, дороги и ближайшего километрового знака.

Диагностика дорог начинается с предварительного разбивания их на участки с разной шириной проезжей части и числом полос движения, конструкциями дорожной одежды и земляного полотна, интенсивностью и составом движения автомобилей. Фиксируют местоположение границ соответствующих участков дорог. На основе анализа исполнительной документации устанавливают адреса и протяженность отремонтированных и реконструированных участков. Границы для проведения полевых обследований принимают с перекрытием и совмещают с постоянными и легко опознаваемыми точками на дороге.

Фактическая категория существующей дороги на момент обследования и оценки состояния определяется путем сопоставления основных геометрических параметров с нормативными по СНиП. К таким параметрам относятся ширина проезжей части (основной укрепленной поверхности), продольные уклоны и радиусы кривых в плане.

Требуемая категория дороги на момент обследования определяется по фактической годовой среднесуточной интенсивности движения, полученной в год обследования. Решение о переводе дороги в более высокую категорию принимается на основании сопоставления фактической категории с требуемой.

Завершающим этапом диагностики автомобильных дорог является формирование автоматизированного банка дорожных данных (АБДД). Результаты полевых обследований заносятся в формуляры программного модуля ввода данных (одного из составляющих АБДД) в ПЭВМ (персональный компьютер).

В системе диагностики федеральных дорог принят автоматизированный банк АБДД «Дорога» (Windows версия), разработанный РОСДОРНИИ.

В возможности АБДД «ДОРОГА» входят ввод, корректировка, просмотр и дальнейший вывод на печать (как в локальном, так и в сетевом режиме) всех обследуемых параметров автодороги. Обеспечивается определение транспортно-эксплуатационного состояния дороги путем расчета комплексного показателя качества и степени соответствия эксплуатационным нормам, расчет коэффициентов обеспеченности расчетной скорости по участкам обслуживания эксплуатирующих организаций и в целом по дороге.

Одной из функций банка данных является суммирующий анализ показателей, не удовлетворяющих нормативным требованиям. Также предусмотрена

возможность поиска объектов инженерного оборудования и обустройства с интересующим пользователя параметрами и характеристиками. Обеспечена возможность учета почасовой интенсивности движения на характерных участках (створах) автодороги с дальнейшим пересчетом в среднесуточную среднегодовую интенсивность.

Одной из важнейших функций АБДД «ДОРОГА» является расчет и вывод на печать видов ремонтных работ или требований по реконструкции дороги, подсчет необходимых денежных средств с учетом коэффициента удорожания. При этом указывается точная привязка адресов ремонта или реконструкции с указанием очередности проводимых работ.

В целом система диагностики федеральных дорог функционирует следующим образом:

После проведения конкурсных торгов и заключения контрактов организации, выполняющие диагностику, осуществляют подготовительные работы, связанные с изучением документации, подготовкой техники и оборудования, составлением заданий, проведением согласований, формированием групп, бригад.

Затем выполняются полевые обследования и предварительная обработка материалов для обеспечения ввода данных в ПЭВМ (АБДД). Производится ввод данных и компьютерная обработка с использованием программного комплекса АБДД «Дорога». Рассчитываются показатели транспортно-эксплуатационного состояния дороги, выявляются участки, не отвечающие эксплуатационным требованиям, определяются (предварительно) мероприятия, направленные на улучшение показателей эксплуатационного состояния.

Результаты диагностики в виде отчета, а также в электронной форме передаются в РОСДОРНИИ, как головную (ведущую) организацию по диагностике дорог. РОСДОРНИИ осуществляет контроль, проверку представляемых материалов и формирует информационные массивы данных по техническим параметрам и состоянию всех федеральных дорог России. Вся собранная в результате диагностики федеральных дорог информация в дальнейшем используется Государственной службой дорожного хозяйства (РОСАВТОДОР) для управления состоянием федеральных дорог. Основным пользователем данных диагностики является Департамент содержания и сохранности дорог РОСАВТОДОРА. Данные диагностики используются, с одной стороны, для контроля состояния федеральных дорог, с другой – для определения финансовых средств, необходимых для текущего содержания и улучшения транспортно-эксплуатационных показателей федеральных дорог.

Территориальными органами управления автомобильными дорогами в субъектах федерации используются не только АБДД «Дорога» но и другие программные комплексы, выполняющие функции АБДД. Наиболее распространен Саратовский автоматизированный банк дорожных данных ТИТУЛ 2000 (версия VS SQL 7.0). Он представляет собой многофункциональную систему, в состав которой входят следующие программы:

- АБДД «ТИТУЛ 2000»,
- Учет ДТП,

- Линейный график ТЭС АД (рис.1),
- Программа «Учет и паспортизация а/д»,
- Videобанк а/д,
- Программа «Проектирование схем дислокации дорожных знаков и разметки» (рис.2),
- Программа определения объемов ремонтных дорог.

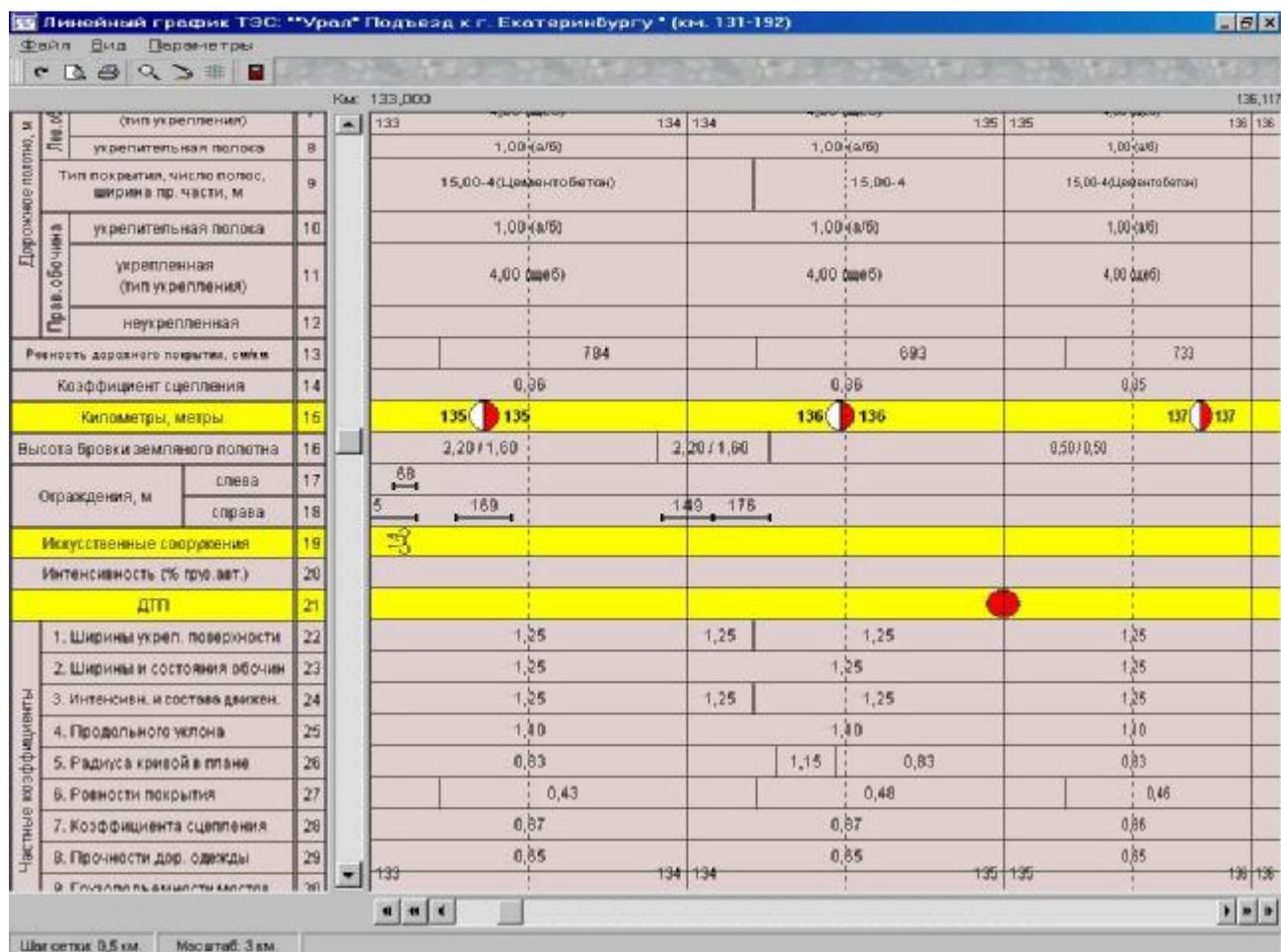


Рис.1. Линейный график ТЭС АД

Банк «Титул» составляет основу для всех остальных программных продуктов, реализующих инженерные задачи. Программа предназначена для накопления и хранения объективной информации о состоянии автомобильных дорог и искусственных сооружений на них. Ввод производится как вручную, так и автоматизировано. Автоматизированный ввод осуществляется по данным, собранным техническими средствами передвижных дорожных диагностических лабораторий.

Программа «Учет ДТП» обеспечивает хранение, корректировку, анализ данных о дорожно-транспортных происшествиях. Указываются виды ДТП, принятые меры профилактики, обзорные данные об аварийности, таблицы состояния аварийности, линейный график ДТП.

Для анализа транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги на основе «Правил диагностики и оценки состояния автомобильных до-

рог ВСН 6-90» разработана программа «Линейный график ТЭС АД». Программа обеспечивает построение линейного графика транспортно-эксплуатационного состояния дорог на основе расчетов коэффициентов обеспеченности расчетной скорости движения, показателя инженерного оборудования, коэффициента эксплуатационного содержания автодороги, определяется итоговый показатель качества, оценивается степень соответствия фактически обеспеченных потребительских свойств нормативным требованиям.

Схема расположения технических средств организации дорожного движения
 Код дороги 0000003, титул "Ачит-Мясоедово" (0,000 км-85,645 км)
 Дата: 17.05.02; 11:07:47
 Продольный масштаб: 1:50000 (1 км на листе)

Разметка на участке:
 1.1 : 215 м
 1.2.2 : 1891 м
 1.5 : 645 м
 1.6 : 120 м
 1.11 : 35 м

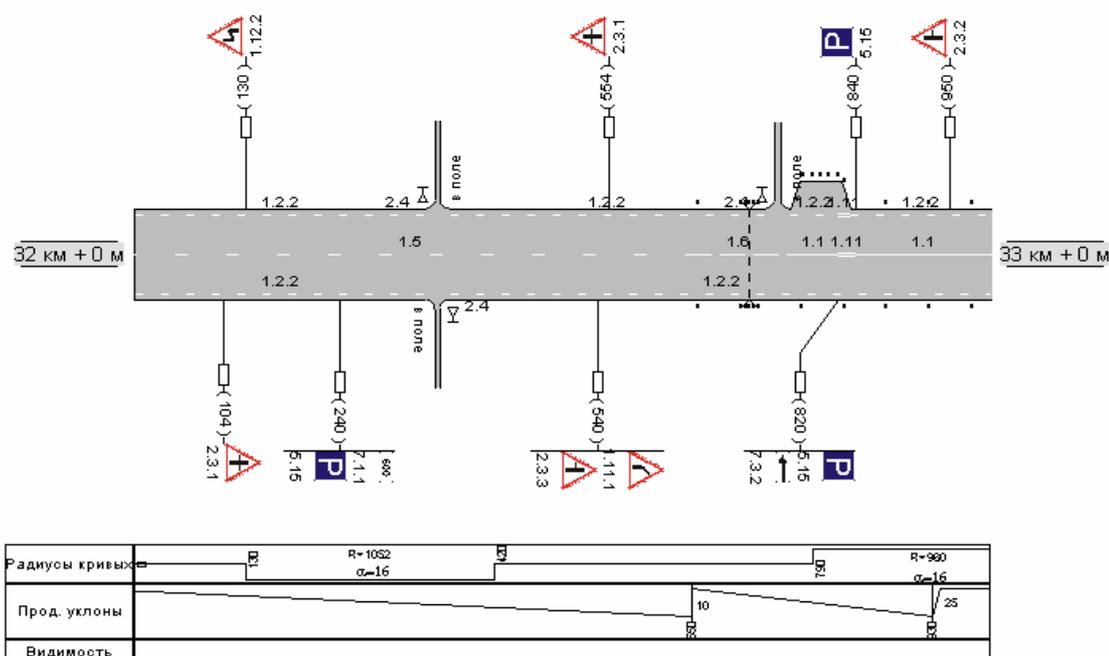


Рис.2. Проектирование схем дислокации дорожных знаков и разметки

Для паспортизации автодорог согласно ВСН 1-83 разработана программа «Учет и паспортизация автодорог». Она позволяет коренным образом сократить время и объемы работ при создании паспорта автомобильной дороги. Программа формирует титульный лист автодороги, карточки на искусственные сооружения, ведомости наличия и состояния инженерного оборудования и искусственных сооружений, сводные ведомости. Кроме того, программа осуществляет в формате MS Word построение линейного графика паспорта дороги, создание паспортов на мосты.

Банк видеоданных осуществляет хранение, обработку и поиск собранной видеoinформации. Программа обеспечивает быстрый и удобный доступ к требуемым данным. Допускается как последовательный просмотр данных, так и произвольный переход на любой участок дороги. Программа позволяет производить поиск кадров с дефектами проезжей части, инженерным оборудованием и обустройством автомобильных дорог. Имеется возможность замера линейных (вертикальных и горизонтальных) размеров элементов дороги, а также пери-

метра и площади участков проезжей части, содержащих дефекты. Программа обеспечивает печать видеоинформации и получение иллюстративного материала для последующего использования в отчетных документах, пояснительных записках и т.д.

В целом работы по техническому учету, паспортизации, инвентаризации и диагностике дорог безусловно схожи и во многом дублируют друг друга. Это связано также и с тем, что диагностика дорог как система сложилась значительно позже чем технический учет, а 90-е годы были периодом реформ в отрасли. В настоящее время разработана программа пересмотра, переработки отраслевых нормативных документов, в рамках которой будут осуществлены работы по взаимоувязке нормативов и приведение их к требованиям современного уровня. Безусловно определяющим в этом должно быть обеспечение единой информационной базы по техническим характеристикам и эксплуатационному состоянию дорог и сооружений.

2. Технические средства измерения параметров и оценки состояния дорог

В настоящее время большое значение приобретает развитие механизированных и автоматизированных методов обследования и оценки состояния автомобильных дорог, к которым предъявляются прежде всего такие требования, как:

- оперативность получения информации;
- объективность информации, скорость и простота её обработки;
- применение высокопроизводительных приборов и оборудования;
- возможность обработки полученной информации с применением ЭВМ.

Для диагностики транспортно-эксплуатационного состояния дорог, паспортизации, оперативного контроля качества дорожных работ в России, в основном, используют передвижные лаборатории типа КП-514МП [14], выпускаемые Саратовским научно-производственным центром РОСДОРТЕХ (рис.3). Выпускаются различные модификации лабораторий, в том числе и на различных шасси (автобусов, микроавтобусов, легковых автомобилей). Управление измерениями, обработка данных, запись результатов измерений на магнитный носитель производится с помощью бортового вычислительного комплекса.



Рис.3. Передвижная лаборатория КП-514МП на базе ГАЗ-3221 "ГАЗЕЛЬ"

Измерение основных геометрических параметров дорог в лабораториях осуществляется с использованием гироскопических датчиков. В процессе движения по обследуемой дороге измеряются продольный, поперечный уклоны проезжей части, изменение курсового угла. Измерения производятся в привязке к пройденному пути. В качестве датчика пути применяется специальное мерное колесо. Обработка показаний гироскопов позволяет определить радиусы кривых в плане трассы дороги, радиусы вертикальных выпуклых и вогнутых кривых, расстояние видимости проезжей части дороги, наличие виражей, переходных кривых, имеющих переменный радиус [12, 13].

Одним из важнейших параметров, определяющих транспортно-эксплуатационное состояние проезжей части дорог, является показатель ровности. В передвижной лаборатории для оценки ровности используют толчкомер или прицепную установку типа ПКРС-2У (рис.4) [14]. С помощью толчкомера

измеряют суммарное перемещение в вертикальной плоскости задней оси автомобиля-лаборатории относительно ее кузова. Эти перемещения суммируются на протяжении пройденного пути. Показатель ровности измеряется в единицах см/км. Чем больше величина показателя, тем хуже ровность покрытия дороги. Безусловно, величина показателя зависит от скорости движения автомобиля-лаборатории при измерениях. Поэтому в качестве базисной принята скорость движения 50 км/час.



Рис.4. Динамометрический прицеп ПКРС-2У

На показания толчкомера влияют также состояние рессор и загрузка автомобиля-лаборатории. С тем, чтобы исключить это влияние, для измерений показателя ровности применяют прицепную установку ПКРС-2У. Установка моделирует (имитирует) работу подвески легкового автомобиля. Строго фиксирована нагрузка на колесо, составляющая 300 кг. Состояние подвески колеса прицепа (амортизатор, пружина) периодически контролируется. Перемещения колеса относительно рамы установки ПКРС-2У регистрируются цифровым датчиком, передаются на бортовой компьютер лаборатории, суммируются и записываются в привязке к местоположению на дороге.

Коэффициент сцепления шины автомобиля с покрытием дороги также измеряется установкой ПКРС-2У. Для этого на скорости 60 км/час открывается заслонка и из баков, которыми снабжена передвижная лаборатория, на покрытие дороги перед колесом установки ПКРС-2У выливается вода. Расход воды должен быть такой, чтобы смочить пыль и создать водную пленку толщиной не менее 1 мм. Колесо затормаживается до полной блокировки. Коэффициент сцепления определяется по величине усилия, необходимого для перемещения установки ПКРС-2У с заблокированным колесом на скорости 60 км/час. Затем колесо разблокируется и измерение производится в следующей точке дороги.

Прочность или несущая способность дорожной одежды измеряется прицепной установкой динамического нагружения ДИНА-3М (рис.5) [14]. Измерения производятся точно, с остановками. В точке измерения опускается на покрытие дороги жесткий штамп (металлический плоский круг). Поднимается на расчетную высоту груз весом 100 кг с пружиной, играющей роль демпфера, и сбрасывается. В момент удара через пружину груза о металлический штамп измеряется упругий прогиб дорожной одежды.

Вся система моделирует динамическое воздействие заднего колеса движущегося грузового автомобиля с нагрузкой 5 т на покрытие дороги. После измерений поднимаются груз, штамп и передвижная лаборатория с установкой динамического нагружения переезжает на новую точку.



Рис.5. Установка динамического нагружения «Дина-3М»

В НПО «Регион» (Москва) разработана и внедряется Система Видеопаспортизации Дорог. Передвижная видеолaborатория [29], изготавливаемая на базе а/м «Соболь», осуществляя видеосъемку, обеспечивает привязку элементов дороги к километражу или опорным точкам и позволяет проводить измерения размеров максимально допустимой точностью. Laborатория по своей структуре представляет централизованную систему сбора и обработки информации, поступающей от видеокамеры и датчиков, в частности с системы позиционирования.

Информация о траектории и угловых перемещениях камеры при движении лаборатория по дорожному покрытию и о колебаниях кузова автомобиля, поставяемая системой позиционирования, заносится в отдельную базу данных. Затем она используется для коррекции расчетов геометрических параметров элементов дорог по видеоизображению.

Передвижная видеолaborатория включает в себя: видео и фотооборудование; оборудование системы позиционирования; комплекс дополнительных датчиков; измерительно-регистрирующее оборудование. В состав системы позиционирования в качестве составляющей кроме датчика пройденного пути, датчиков положения автомобиля относительно дороги и системы гироскопических датчиков входит так же система глобального позиционирования (GPS).

Наличие системы позиционирования позволяет увеличить точность фотографических расчетов.

К недостаткам системы можно отнести ее довольно высокую стоимость по сравнению с видеолaborаториями других российских производителей

Передвижная лаборатория КП-514 МП оснащена системой видеосъемки (рис.6) и дополнительным рабочим местом оператора для сбора данных об инженерном оборудовании дорог. Видеосъемка покадровая, осуществляется через задаваемый оператором интервал пути по длине дороги. Наиболее оптимально производить съемку автоматически через каждые 20 м.



Рис.6. 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.

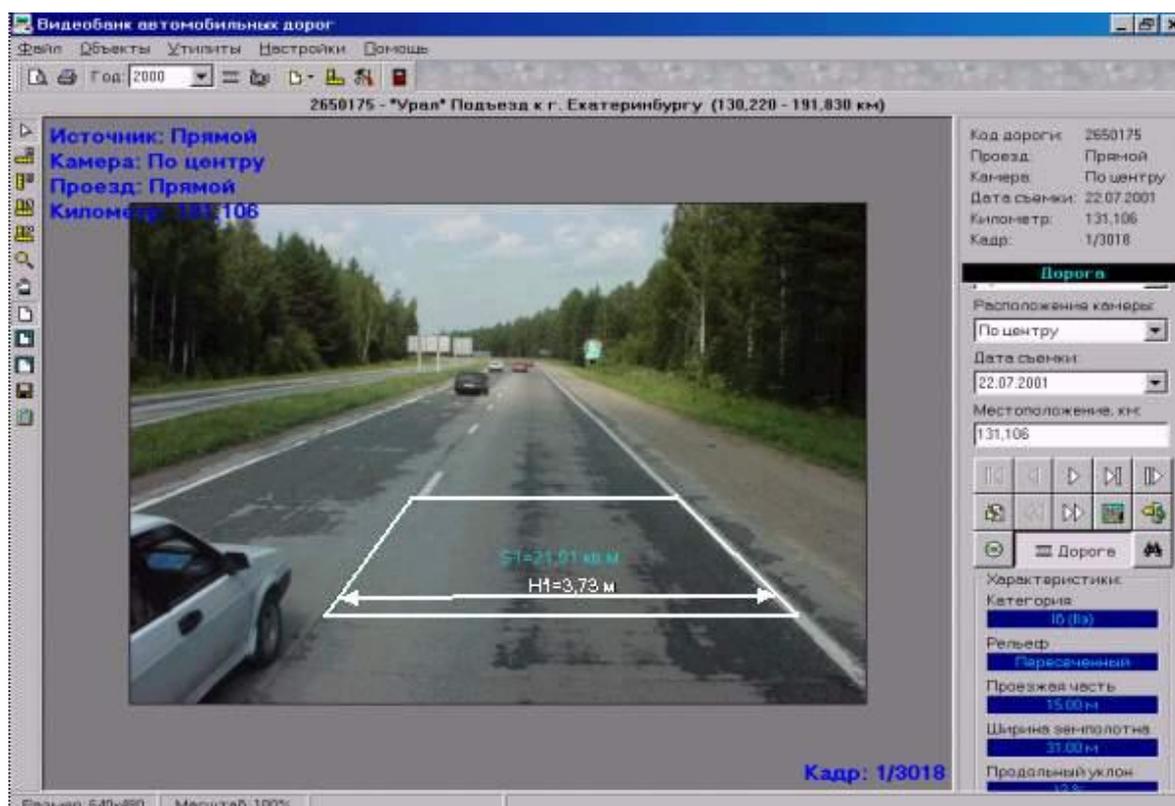


Рис.7. Программа для видеосъемки автомобильных дорог

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 (рис.7). Скорость движения при съемке снижается до 20-30 км/час.

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.

Программа «Инженерное оборудование», которой оснащается передвижная лаборатория, по существу выполняет роль полевого журнала при обследовании дороги и значительно облегчает работу операторов. Работа программы осуществляется по принципу каталога и диалога с оператором. Элементы дороги и инженерного оборудования разбиты на группы (земполотно, пересечения и примыкания, съезды и переезды, ограждения, знаки, разметка, остановочные площадки и др.), каждой из которых на экране бортового компьютера соответствует своя стилизованная картинка (иконка). После указания маркером на иконку, на экран выводится перечень параметров и показателей состояния соответствующего элемента дороги или инженерного оборудования, а также варианты их качественного состояния. Например, варианты указания материала, из которого сооружен или изготовлен элемент дороги, перечень возможных дефектов и т.п. Таким образом, оператору остается, визуально оценивая элемент дороги, по существу отвечать на вопросы, которые задает программа бортового компьютера. Можно, остановив лабораторию, выйти из нее, осуществить детальный осмотр элемента, измерение вручную какого-либо параметра. Компьютер переносной, поэтому можно и с ним выйти из лаборатории, например при обследовании труб.

В последнее время передвижные лаборатории оснащаются спутниковыми навигационными системами GPS (рис.8). Это приемник сигнала от одного или нескольких спутников, плата ввода сигнала в бортовой компьютер и программа обработки сигнала.



Рис.8. GPS – приемник

Использование GPS – систем эффективно для определения географических координат трассы дороги в плане, внесения корректив в показания датчика пути передвижной лаборатории. Существуют дорогие GPS – системы, которые обеспечивают измерения с погрешностью в несколько сантиметров.

Резкое возрастание количества большегрузных автомобилей в последнее десятилетие привело к прогрессирующему колееобразованию на дорогах, особенно магистральных. За рубежом уже давно применяются специальные линейки с ультразвуковыми или лазерными датчиками для регистрации поперечного профиля покрытия дороги. Появилось такое оборудование и в России. Известны разработки СоюздорНИИ, РОСДОРНИИ и др. Оборудование устанавливается на переднем бампере передвижной лаборатории.

Создаются георадарные установки для бесконтактного, неразрушающего определения конструкции дорожной одежды и земляного полотна. Георадары излучают волны в диапазоне радиочастот и воспринимают отраженные от дороги сигналы. Использование георадаров безусловно перспективно, однако, в настоящее время, еще не обеспечивает необходимой достоверности и точности.



Рис.9. Установка КП-502 МП МАДИ для оценки прочности

Следует отметить, что совершенствованием методов обследований дорог, повышением точности измерений в России занимаются в целом ряде организаций. Это РОСДОРТЕХ, РОСДОРНИИ, фирма ИНДОР в Томске, СНИИГП и МС в Новосибирске, МАДИ ТУ и др.

Нельзя не отметить установку КП-502 МП МАДИ для оценки прочности дорожных одежд (рис.9). В отличие от установки ДИНА-3М в ней приложение ударной нагрузки на дорогу производится через гибкий штамп, которым является колесо с площадкой. Оборудование установки смонтировано на автомоби-

ле ЗИЛ. Катящийся штамп позволяет производить измерения также в точках, но в движении.

Конечно, не все можно измерить и оценить автоматически в движении, при проезде передвижной лаборатории по дороге. Поэтому при обследованиях дорог также используются мерные ленты, рулетки, курвиметры для измерения расстояний, универсальные рейки (рис.10) для оценки ровности, измерения уклонов покрытия и заложения откосов земляного полотна.



Рис.10. Определение коэффициента заложения откоса земляного полотна с помощью универсальной рейки

Для стесненных условий, где невозможен проезд передвижной лаборатории на расчетной скорости, используется портативный прибор ППК МАДИ для измерения коэффициента сцепления. Для измерения упругого прогиба дорожной одежды методом статистического нагружения используется длиннобазовый прогибомер. Выпускается двухметровая рейка для измерения глубины колеи с тростью-щупом.

Для учета движения на автомобильных дорогах, определения интенсивности и состава транспортного потока используют разнообразные технические средства. Наиболее простым является электронный счетчик автомобилей. У него на лицевой панели размещены кнопки, каждая из которых соответствует определенной группе транспортных средств в составе транспортного потока (легковые, легкие, средние, тяжелые грузовые автомобили, автопоезда и др.). Учет движения осуществляется полуручным способом. Учетчик (наблюдатель) при проезде автомобиля визуально относит его к соответствующей группе и нажимает кнопку. Электронный счетчик автоматически суммирует автомобили в составе групп за определенное время.

Используются автоматические счетчики, основанные на анализе величины и формы электрического сигнала, возникающего в индуктивной петле в виде кабеля, заложеного в покрытие дороги. При проезде автомобиля, его металлическая масса вызывает появление ЭДС в индуктивной петле. Размеры и форма сигнала зависят от скорости движения автомобиля и его массы.

На стационарных, охраняемых пунктах учета, как правило совмещаемых с КПП ГИБДД, пунктами весового контроля и взимания платы за проезд по платным дорогам, используют системы автоматического взвешивания и видео-системы для получения данных о составе и интенсивности движения.

Все более широкое применение находят передвижные пункты учета движения. Наибольшее распространение получило оборудование Саратовского РОСДОРТЕХ (рис.11). Передвижной пункт составляют две стойки, которые в разобранном виде укладываются в две небольших ящика. В рабочем состоянии стойки размещаются на левой и правой обочинах напротив друг друга. На одной из стоек на разных высотах размещены инфракрасные излучатели, а на другой – приемники сигналов. При проезде автомобиля пересекают лучевой барьер и на экране бортового компьютера возникает стилизованный продольный профиль, по которому определяется тип автомобиля. Система позволяет измерять также скорости движения.



Рис.11. Система учета интенсивности движения

Современный учет движения представляет собой сочетание круглосуточного непрерывного учета и кратковременных (1-2 часа) наблюдений. Круглосуточные наблюдения осуществляют на стационарных пунктах, как правило, на подходах к крупным населенным пунктам, транспортных узлах. Полученные, в результате круглосуточных наблюдений, сведения дают картину изменения интенсивности движения по часам суток. По ней вычисляются коэффициенты приведения часовой интенсивности (количество проехавших автомобилей за определенный час) к суточной (за 24 часа).

Данные круглосуточного учета на стационарных пунктах существенно облегчают задачу получения данных об интенсивности и составе движения на остальной сети автомобильных дорог. С использованием оборудования передвижного учетного пункта производится объезд перегонов автомобильных дорог, на каждом из которых производятся кратковременные (1-2 часа) измерения. Затем полученные данные приводятся к суточным умножением на соответствующие коэффициенты.

Работы по учету движения регламентируются инструкцией [6], а также соответствующим разделом правил диагностики дорог [2].

Важно отметить, что данные обследований дорог используются для принятия инженерных решений, технико-экономических обоснований и планирования дорожных работ. Их эффективность напрямую зависят от точности измерений параметров дорог и сопоставимости выполненных оценок их состояния. Поэтому особое внимание необходимо уделять метрологической аттестации используемых средств измерений, а применяемое оборудование, установки и приборы должны быть сертифицированы в органах Госстандарта.

3. Зарубежный опыт применения передвижных лабораторий и технических средств диагностики дорог.

В настоящее время за рубежом выпускается широкий спектр диагностического оборудования, охватывающий весь круг задач диагностики дорог. В различных странах используются свои методы и системы обследования, паспортизации и инвентаризации автомобильных дорог, общими требованиями к которым являются оперативность получения информации, объективность, высокая надежность и точность измерительных данных, автоматизация процесса измерения.

Прочность дорожных одежд

Широко используются как статический метод нагружения колесом автомобиля с измерением прогиба прогибомером, так и метод кратковременного нагружения: нагружение наездом колеса, нагружение падающим грузом, нагружение циклической нагрузкой [13, 19].



Рис.12. Прогибомер VEC130

Прогибомер VEC130 использует статический метод нагружения колесом автомобиля и применяется для приемки земляного полотна при строительстве дорог, для измерения модуля упругости дорожных одежд, для контроля зон со слабой несущей способностью (однородность дорожного полотна) и т.д.

Устройство представляет собой брус с балансиrom (рис.12) и предназначен для статического и точечного измерения прогиба дорожной одежды. Измеренные значения могут быть считаны механическим или электрическим блоком сравнения.

Наиболее совершенные технические средства контроля дорожных одежд - установки динамического нагружения, а именно дефлектометры падающего

груза (FWD, falling weight deflectometer) и движущегося колеса (RWD, rolling wheel deflectometer), получили распространение в Нидерландах, Финляндии, Дании, Швеции, Франции, в США и других странах.

Среди них широко известны дефлектометр DYNATEST 8000 FWD (Дания), позволяющий определить чашу прогиба покрытия, дефлектограф FLASH (Франция), который является дальнейшим развитием дефлектографа LACROIT, курвиметр на базе UNIC-Fiat (Франция) с инерционным датчиком внутренней настройки.

Дефлектометр DYNATEST 8000 FWD датской фирмы DYNATEST (рис.13), всемирно известного поставщика оборудования оценки прочности дорожных одежд, обеспечивает до 60 измерений в час и имеет широкий диапазон нагрузок: от 7 до 120 кН.

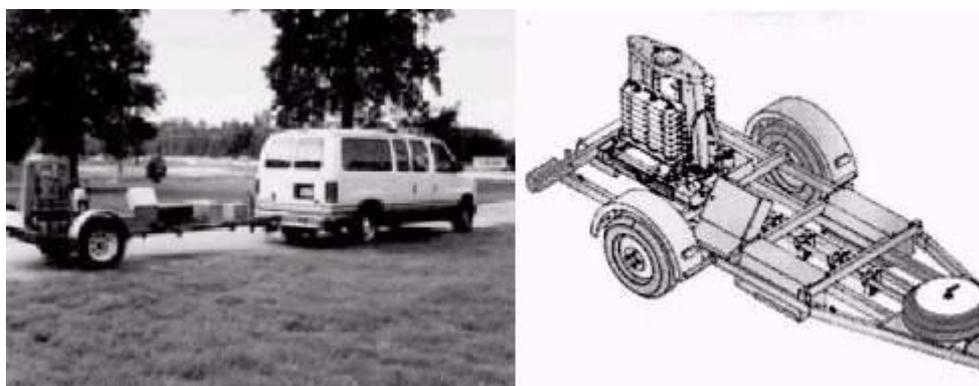


Рис.13. Дефлектометр DYNATEST 8000 FWD

Установка представляет собой одноосный прицеп, на котором смонтированы механизм ударных нагружений и до девяти измерителей прогиба. Информация от ударного механизма и измерителей передается в бортовой компьютер. Измерители прогиба представляют собой инерционные датчики с преобразованием линейных перемещений в электрические сигналы. Контроль дорожного покрытия производится при статичном положении дефлектометра. Использование разработанной фирмой DYNATEST аналитико-эмпирической методологии оценки прочности, воплощенной в программном обеспечении ELMOD4, позволяет достичь высокой точности оценки прочностных характеристик дорог на основе измеренных параметров чаши прогиба.

Установка DYNAPLAQUE 2 представляет собой дефлектометр, в котором для оценки прогиба дорожных одежд используется метод нагружения падающим грузом (рис.14). Динамическая нагрузка на земляное полотно, создаваемая установкой, аналогична прохождению тринадцатитонного грузовика на скорости 60 км/час. Она создается падением груза на амортизирующую пружину, расположенную на нагружаемой плите. Датчиками, расположенными на плите, измеряется сила удара и получаемый прогиб поверхности земли. Полученное соотношение между силой удара и деформацией поверхности позволяет вычислить модуль упругости измеряемого участка.



Рис.14. Дефлектометр DYNAPLAQUE 2

Установка содержит:

- ударное тело;
- управляющий гидроцилиндр, регулирующий положение ударного тела в пространстве;
- амортизирующая пружина;
- датчики перемещения и силы удара;
- гидравлическое устройство позиционирования установки в рабочее положение;
- датчик пути;
- микрокомпьютерной системы для снятия и обработки показаний датчиков и управления всей системой.

Вся система, имеющая массу 500 кг, устанавливается на легком грузовом автомобиле, предпочтительно 4-х приводном, с целью облегчения передвижения по пересеченной местности. Средняя производительность установки – 25 измерений в час при 3-х ударах в каждой точке.

Дефлектограф FLASH (рис.15) [17] является представителем нового поколения дефлектографов и используется для следующих целей:

- измерение степени деформации дорожных одежд автомобильных дорог и взлетных полос аэродромов;
- контроль структуры строящихся дорог;
- выявление зон с дефектами при строительных работах;
- контроль за выполнением и эффективностью усиления дорожных одежд;
- контроль несущей способности дорожного земляного полотна и дорожного основания;
- зимний контроль дорожных одежд.

Отклонение измеряется с помощью подвижной платформы, смонтированной под грузовиком. В момент времени, соответствующий началу цикла измерений платформа опускается на поверхность дороги, лежащую за пределами зоны влияния нагрузки. Задние спаренные колеса грузовика наезжают на подвижные планки, расположенные по бокам платформы таким образом, что бы

они оказались в промежутке между колесами в зоне наибольшей деформации дорожного полотна. Происходит автоматический замер прогиба дорожных одежд, после чего платформа автоматически перемещается по направляющим в первоначальное положение для продолжения цикла измерений.



Рис.15. Дефлектограф FLASH

Устройство эффективно при оценке всех структур дорог. Скорость движения при измерениях от 3-х до 8-ми км/час. Нагрузка на заднюю ось при измерениях – 13 тонн.

Аналогичная установка А175 (рис.16), так же обеспечивает измерение прогиба дорожных одежд под осью грузовика, перемещающегося с постоянной скоростью. Интервал измерения - около 4 метров. Машина перемещается со скоростью 3,5 км/час, что дает возможность обследования от 20 до 30 км дороги в день.



Рис.16. Дефлектограф А175

Установка изготавливается в двух вариантах:

- Короткая база. Расстояние между передними и задними колесами 4,80 м.
- Длинная база. Расстояние между передними и задними колесами 6,75 м.

Фирма DYNATEST выпускает несколько модификаций дефлектометра, средняя стоимость которого составляет 120 тыс. долл. США. Производительность дефлектометров DYNATEST невысока; по существу, задача контроля дорожных одежд при движении не решена, несмотря на то, что такие попытки предпринимались неоднократно. Основная трудность – достоверное измерение при движении величины прогиба полотна дороги от динамического воздействия. Использование механических датчиков, непосредственно контактирующих с дорожным покрытием, не привело к положительным результатам из-за сильного влияния микронеровностей. Существенное повышение достоверности контроля может быть получено за счет применения бесконтактных методов измерения.

В связи с этим в 90-е годы за рубежом появились новые разработки, учитывающие вышеупомянутые замечания и использующие бесконтактные методы определения чаши прогиба. Основные требования к новой измерительной технологии предусматривали нагружение наездом колеса (RWD), непрерывные измерения, дающие детальную информацию о чаше прогиба дорожного покрытия на основе статистической обработки измерительных данных, повышенную безопасность оператора, снижение стоимости диагностических мероприятий за счет одновременного определения прочностных характеристик дороги и анализа продольного профиля, увеличение производительности измерений благодаря возможности выполнения работ большего объема, особенно в зонах с резкими сезонными изменениями температуры.

В отличие от установок с падающим грузом, которые производят сбор измерительных данных статически в тестовых точках, RWD производит измерения при движении с обычными для автострад скоростями. Это позволяет получать больше информации о несущей способности дорожных одежд и, соответственно, более точно определять их прочностные свойства. Ряд факторов могут влиять на результаты измерения прогибов рассматриваемым способом, среди которых отметим изменения нагрузки на колесо и геометрии контактной зоны, давление в шинах и состояние рессор, скорость движения, температуру поверхности дороги. RWD учитывает эти факторы, кроме одного – изменение нагрузки, но в будущих разработках предполагается учитывать и его.

Основной вариант RWD установки оценки прочности с нагружением дорожного полотна движущимся колесом представляет собой 14-метровый нагруженный полуприцеп с измерительным оборудованием (рис.17), включающим контрольный и измерительный лазерные сканеры дорожной поверхности, мощный источник питания с охлаждением и портативный компьютер. Установка определяет параметры чаши прогиба покрытия путем сравнения профиля поверхности дороги до и во время нагружения задним колесом полуприцепа.

Точные измерения профиля дороги обеспечиваются оптическими узлами сканеров, осуществляющими амплитудную модуляцию лазерного излучения с измерением фазы отраженного от поверхности дороги сигнала. Точность измерения деформации дорожного полотна составляет 25 мкм. Установка позволяет рассчитать на основе данных о слоях дорожной одежды ожидаемые деформации дорожного полотна методом конечных элементов и итеративным способом достичь согласования предсказанных и измеренных данных. Дальнейшим развитием системы стала установка с одним лазерным сканером с областью сканирования поверхности дороги более 4-х метров.

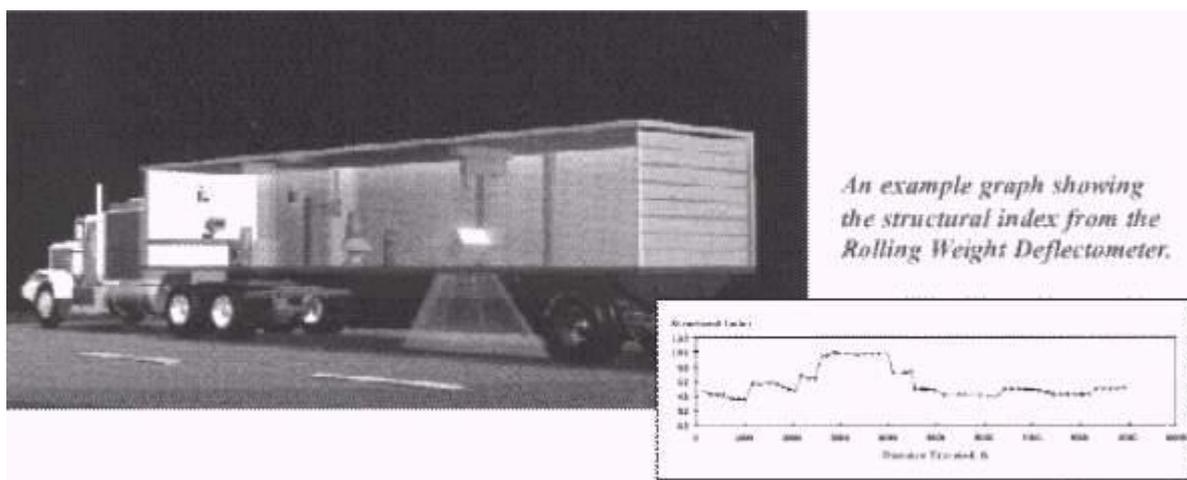


Рис.17. Установка RWD

RWD установки подобного типа производительны, но чрезвычайно сложны в изготовлении и юстировке лазерных сканеров, имеют повышенное энергопотребление и, соответственно, высокую стоимость.

Другой подход к измерению чаши прогиба, разработанный специалистами Дании (фирма Greenwood Engineering A/S), воплощен в так называемой высокоскоростной установке измерения прогиба (High Speed Deflectograph, HSD).



Рис.18. Высокоскоростная установка измерения прогиба (High Speed Deflectograph)

В отличие от установок с падающим грузом и нагружением наездом колеса, HSD (рис.18) измеряет не вертикальные перемещения точек поверхности покрытия дороги, а скорость ее деформации с помощью лазерных доплеровских датчиков с последующим интегрированием. Переменная нагрузка создается перемещением груза вдоль платформы от кабины к заднему мосту автомобиля. Скорость движения установки при измерениях с высокой точностью достигает 70 км/час.

Среди недостатков можно отметить трудность калибровки измерителя, так как необходимо учесть влияние сжатия шин и рессор. Калибровку можно выполнить на жестком основании, однако, при измерениях могут измениться параметры рессор и давление в шинах, что приводит к частой повторной калибровке измерителя, что вряд ли доступно при полевых измерениях.



Рис.19. Динамический пенетрометр РДГ 1000

Динамический пенетрометр РДГ 1000 (рис.19) позволяет производить:

- контроль уплотнения траншей и труднодоступных насыпей;
- проверку однородности уплотнения насыпей;
- контроль толщины формируемого слоя насыпи;
- контроль за несущей способностью основания дорожных одежд.

Прибор дает диаграмму сопротивления при вбивании калибровочной иглы под стандартным нагружением. Опытные исследования позволили определить соотношения между коэффициентом уплотнения и этим сопротивлением вбиванию для всех видов и составов почвы. РДГ 1000 монтируется на прицепе. Вбивание конической иглы происходит с помощью гравитации. Откалиброванная масса ударяет с регулярным интервалом по наковальне, связанной со стержнем держателя иглы. Погружение иглы в исследуемый грунт измеряется датчиком перемещения, установленном наверху стойки, тогда как датчик давления фиксирует величину давления в гидравлической цепи в момент поднятия

молотка после каждого удара. Установка прибора легка и быстра. Приведение в действие молотка – гидравлическое с электроуправлением. Встроенный в прибор модуль обработки данных в реальном времени отображает результаты исследований. Модуль обработки информации с микрокомпьютером и принтером позволяет печатать протоколы исследований.

Дополнительно установка может быть оборудована бурильным оборудованием, чтобы делать предварительное бурение в поверхности исследуемого покрытия до того, как перейти непосредственно к измерениям.



Рис.20. Гаммаденсиметр МС-3

Гаммаденсиметр МС-3 – это легкий, портативный и чувствительный прибор (рис.20), который дает прямые, точные и воспроизводимые данные о плотности и влажности почвы и строительных материалов на глубине 200-300 мм. В прибор встроены 2 источника радиоактивности: цезий 137 ($Cs\ 137$) используются для измерения плотности, а америций 241–бериллий ($Am\ 241 - Be$) используются для измерения коэффициента влажности.

Прибор применяется:

- для контроля уплотнения на автодорогах, дорогах, аэропортах, железн. дорогах, набережных;
- для определения в процентном отношении пустот в дорожных одеждах.

Мобильный гаммаденсиметр 174С (рис.21) разработан для непрерывного измерения плотности асфальта. Он хорошо подходит для определения толщины и плотности дорожных одежд. Прибор использует собственный источник радиоизлучения.

-



Рис.21. Гаммаденсиметр 174С

Устройство управляется дистанционно через инфракрасный канал связи. Таким же образом передаются данные, полученные в результате измерений.

Другой способ – ручной, использующий проводную связь. Применяется при специальных измерениях (поперечный профиль, калибровка и т.п.).

Ровность

Одним из параметров, характеризующих условия безопасности движения, является ровность покрытия.

В Австралии разработана совершенная аппаратура, в основу измерений которой положено определение перемещения кузова автомобиля. Через заданные интервалы расстояний (0,1; 0,2; 0,5 и 1,0 км) аппаратура регистрирует ровность, время и пройденный путь. Клавишная приставка и разработанная система кодирования позволяет получать характеристики ровности автодорог определенной протяженности и изучать измерение ровности во времени. Две дополнительные приставки дают возможность выдавать на экран и удерживать в течении заданного промежутка времени результаты измерения ровности интересующего участка дороги и по команде выдавать эти результаты в печатном виде.

В США используется толчкомеры, измерители РСА и измерители Мэйса, которые снабжены системой, позволяющей фиксировать особые толчки по команде оператора. Обработка данных измерений производится на ЭВМ, установленной на автомобиле и снабженный дисплеем для диалога с оператором. Показания толчкомера зависят от базового автомобиля. Оборудование подобного типа имеет ограниченную точность и, что более важно, не может быть откалибровано должным образом при использовании на различных типах дорог.

Для калибровки необходим профилометр типа GMRL (Исследовательская лаборатория General Motors) [15].

Обычно калибровку измерительной аппаратуры на основе толчкомера производят по международному индексу ровности (IRI). Методы калибровки группируются по четырем классам точности [16].



Рис.22. Анализатор продольного профиля APL

Более совершенную аппаратуру представляют собой анализаторы продольного профиля. Наиболее известны анализаторы продольного профиля APL (Франция) [17], ROADMAN (Финляндия) [18]. Система APL (рис.22) включает один или два одноколесных прицепа, буксируемые при постоянной скорости автомобилем, и блок ввода данных.

Во время движения измеряется изменение угла между продольной осью анализатора и продольной осью автомобиля в вертикальной плоскости. Таким образом фиксируются неоднородности покрытия в диапазоне ± 100 мм для длин волн от 0.5 м до 50 м в зависимости от скорости движения автомобиля [17].

Вся информация фиксируется и обрабатывается бортовым компьютерным комплексом (рис.23). Результаты измерений записываются на жесткий диск для дальнейшей обработки или выводятся на печать в виде таблиц.

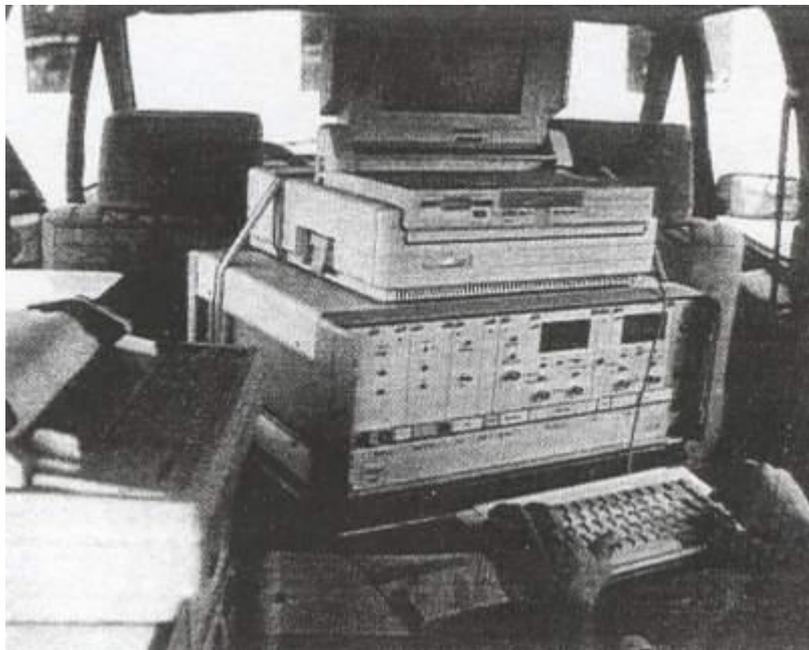


Рис.23. Бортовой компьютерный комплекс APL

Сцепные качества покрытия

Сцепные качества покрытий автодорог являются одним из важнейших параметров контроля качества автомобильных дорог. Коэффициент сцепления обеспечивает устойчивость автомобиля и его управляемость при движении по поверхности дороги при наличии горизонтальной составляющей реакции дороги [13, 19, 23]. Для определения величины коэффициента сцепления применяют прицепные и навесные устройства, а также портативные устройства.

Центральной лабораторией дорог и мостов во Франции используется прибор SCRIM, позволяющий определить коэффициент сцепления колеса как в продольном, так и поперечном направлении при скорости 40-80 км/час. Устройство представляет собой дополнительное колесо, устанавливаемое на автомобиль дорожной лаборатории. Измерения производятся при постоянном притормаживании колеса с одновременным непрерывным смачиванием полотна дороги перед ним. Измеряются силы, действующие на ось колеса во время притормаживания, зависящие непосредственно от коэффициента сцепления исследуемого дорожного полотна.

В последнее время во Франции широко используется прицепная установка измерения коэффициента сцепления дорожного покрытия ADHERA (Франция) [17]. Скорость измерения 40-120 км/ч. Принцип действия установки аналогичен применяемому в установках российского производства ПКРС-2У.

Под единственное колесо прицепной установки, движущейся на определенной скорости (рис.24), подается вода для того, что бы создать на поверхности диагностируемого дорожного покрытия водяную пленку необходимой толщины. Затем происходит блокировка колеса установки.



Рис.24. Установка измерения коэффициента сцепления ADHERA

С помощью специальных датчиков измеряется сила, воздействующая на заблокированное колесо, и на основании этих данных рассчитывается коэффициент сцепления исследуемого дорожного полотна.

Показатели качества разметки

Из известных приборов определения фотометрических и колориметрических характеристик, технических средств контроля износа разметки следует отметить французские ретрофлектометры ECOLUX и PANOLUX, прибор ECODYN, ZEHNTNER ZRM 1013 (Швейцария).

ECOLUX и ZEHNTNER ZRM 1013 предназначены для оценки в дневное время коэффициентов яркости и световозвращения дорожной разметки. PANOLUX определяет данные параметры и для дорожных знаков.

ECODYN - высокоскоростной прибор (рис.25), который позволяет не выходясь из транспортного потока круглосуточно определять качество дорожной разметки с шагом 40 см.

Источник белого света, входящий в состав прибора, с помощью оптического приспособления создает на полосе разметки и на окружающей дороге освещенную площадь в форме эллипса. Отраженный свет с помощью оптической системы фокусируется на оптическом приемнике, состоящем из 14 фотодатчиков.

Электронный блок обработки сигналов обеспечивает усиление и фильтрацию принятого сигнала, отделяя отраженный сигнал от внешнего светового шума. Микрокомпьютер обрабатывает данные и сохраняет полученные результаты на жестком диске. Он позволяет вывести на экран следующую информацию:

- коэффициент светоотражения,
- дневная контрастность,



Рис.25. Прибор контроля качества разметки ECODYN

- ночная контрастность,
- график колебаний коэффициента отражения.

Прибор может устанавливаться как с правой, так и с левой стороны дорожной лаборатории.

Механические и оптические характеристики:

- расстояние от нижней стороны прибора до поверхности земли - 90 мм,
 - высота регулируемая от 75 до 100 мм,
 - угла приема луча света относительно горизонта - $2^{\circ}29'$,
 - угол между падающим и отраженным лучами - $1^{\circ}05'$,
 - дальность освещения – 6м,
 - размеры – 206x670x332 мм,
- масса 13 кг.

Поперечная ровность (колейность)

За рубежом большое распространение получили ультразвуковые и лазерные профилографы, которыми оснащаются передвижные лаборатории диагностики [17, 24]. Ультразвуковой профилограф представляет собой измерительную балку с установленными на ней ультразвуковыми датчиками, каждый из которых определяет расстояние до поверхности дорожного покрытия по времени распространения ультразвукового сигнала. Точность измерения глубины колеи для высот измерения 20-40 см лежит в пределах 2 мм. Скорость движения лаборатории при измерении может достигать 50 км/час. Лазерный профилограф отличается от ультразвукового тем, что расстояния до поверхности покрытия дороги измеряются лазерными датчиками. При этом достигается высокая точность измерений (до 0,1 мм).

Широко известен ультразвуковой профилометр TUS (Франция) [17] (рис.26). Прибор позволяет полностью автоматически измерять профиль до-

рожного полотна в поперечном сечении, независимо от структуры дорожных одежд, позволяет определять дефекты дорожного профиля.

Лаборатория с установленным на ней ультразвуковым профилометром включается в общее движение на дороге не мешая проходящему транспорту. Возможно ее использование как для оценки сети дорог, так и для более тонкого исследования ограниченных участков.

TUS представляет собой рейку длиной 2,5 метра с установленными на ней 13 ультразвуковыми датчиками, расположенными на расстоянии 20 см друг от друга, которые одновременно измеряют расстояние от рейки до дорожного полотна. Управление измерениями происходит с компьютера и синхронизировано с датчиком пройденного пути. Базовое расстояние от рейки до поверхности дороги – 20 см. Измерения проводятся с шагом от 3 до 10 метров.



Рис.26. Ультразвуковой профилометр TUS

Ультразвуковой профилометр TUS может устанавливаться на любой легкой или грузовой автомобиль. Измерения производятся на скорости до 60 км/час днем, ночью независимо от освещения. Может работать на слегка влажной поверхности. Для работы системы необходимо 2 человека – водитель и оператор.

Ученые Исследовательского Центра Автомобильных Дорог Turner-Fairbank Федеральной Дорожной Администрации США протестировали ряд приборов для определения поперечной ровности: Walking Profilometer фирмы Trigg Industries International Inc., Walking Dipstick и Rolling Dipstick фирмы Face Co., LaserPlane фирмы APR Consultants Inc., Automated Road Image Analyzer (ARIA) фирмы MHM Inc., ROSANvm фирмы Surfan Engineering and Software Inc. Приборы типа Walking Profilometer и Walking Dipstick позволяют получать результаты измерений профиля близкие к истинным, и их можно использовать для тестирования испытательных полигонов. Системы ARIA и ROSANvm используют лазерные датчики, причем в ARIA точность измерений повышается с помощью видеокамеры и устройства лазерного стробирования [25].

Определитель поперечного профиля TRL лаборатории ROMDAS содержит шесть матриц, представляющих собой линейку из пяти ультразвуковых датчиков каждая. При измерениях последовательно запускаются одноименные датчики матриц, что снижает взаимные помехи и повышает точность измерений (0.1 мм) [26].

В последние годы в связи с быстрым развитием технических средств обработки сигналов все большее распространение получают методы цифрового фотограмметрического сканирования дорожного покрытия.

Лазерный измеритель поперечного профиля PALAS-2 (Франция) использует две видеокамеры и формирователь лазерной плоскости для выявления сопряженных точек поверхности дороги на стереокадре [17]. Измерительный комплекс вместе с системой анализа изображения размещен на микроавтобусе «Рено» (рис.27) и позволяет определять глубину и ширину колеи, неровностей и выбоин, общую деформацию поперечного профиля дороги.



Рис.27. Лазерный профилометр PALAS-2

Измерения можно проводить при скорости автомобиля до 90 км/час, что существенно повышает производительность диагностических работ. При этом погрешность измерения деформаций дорожного покрытия составляет не более 2 мм. Зарубежные измерители колеечности практически недоступны российским дорожникам из-за чрезвычайно высокой их стоимости.

Цифровой измеритель поперечного профиля VEC450 (рис.28) выпускаемый фирмой Vectra (Франция) позволяет провести статические измерения про-

дольного и поперечного профиля путем непрерывное регистрации отклонений датчика, перемещающегося вдоль рейки.



Рис.28. Цифровой измеритель поперечного профиля VEC450

Измеритель состоит из:

- жесткой раздвижной рейки длиной 4,5 метра, оснащенной уклономером;
- тележки, установленной на рейке и передвигающейся вдоль него, включающей датчик продольного перемещения и щуп для измерения ровности оцениваемой поверхности со своим датчиком вертикальных перемещений;
- систему приемки и обработки данных.

С помощью VEC450 можно проводить измерения профиля дорожного полотна до 4 метров с шагом 2 мм. Программа приемки данных, калибровки и визуализации позволяет оператору постоянно контролировать качество измерений.

Системы учета интенсивности движения

Система приборов Marksman 660, разработанная в Англии, позволяет определять интенсивность движения, тип автомобиля, его массу, скорость, расстояние между осями и автомобилями, содержание основных вредных компонентов в выхлопных газах, температуру и влажность воздуха. Информационная система может устанавливаться стационарно или применяться для кратковременного обследования дорожных условий. Рациональное использование полученной информации по ряду дорог Англии дало возможность сократить время проезда на 10%, уменьшить количество ДТП на 17%.

Для контроля интенсивности и состава транспортного потока за рубежом (Финляндия, Швеция, Франция, Германия) широко используются системы, с магнитными датчиками (петлями), вмонтированными в дорожное полотно. Датчики реагируют на продвижение в зоне их действия автомобиля, причем, возбуждаемый в датчиках сигнал зависит как от массы, так и от скорости проходящего автомобиля. У таких систем есть как свои достоинства (многополос-

ность, всепогодность и др.), так и свои недостатки (низкая точность идентификации транспортных средств по классификационным группам, невозможность контроля габаритов, невозможность использования в передвижных пунктах контроля).

Широко известна финская система сбора информации TMS (Traffic Monitoring System), которая успешно эксплуатируется в ряде стран. За рубежом используются также и другие известные системы: Golden River Traffic, NU-Metriss (США), Peek Traffic (Нидерланды) [27].

Наряду с очевидными преимуществами (многополосность, всепогодность и др.) эти системы имеют и недостатки: низкую точность идентификации транспортных средств по классификационным группам; невозможность контроля габаритов; нечувствительность к немагнитным материалам; невозможность использования в передвижных пунктах контроля.

Автоматические системы мониторинга транспортных потоков на основе обработки видеoinформации свободны от этих недостатков и, помимо контроля интенсивности и состава транспортного потока, решают ряд интеллектуальных задач: обнаружение и сопровождение каждого транспортного средства вдоль пути следования в поле зрения видеокамеры, определение средней скорости движения и расстояний между транспортными средствами, загруженности полос, предупреждение и оповещение о нарушениях движения и т.п. Подобные мониторы входят в состав Интеллектуальной Транспортной Системы, создаваемой и внедряемой в Южной Корее.

Департамент Геодезии и Фотограмметрии Королевского Института Технологий (Швеция) исследует возможность автоматического сбора дорожной информации с использованием системы стереофотограмметрии, установленной на автомобиль с GPS приемником и инерциальной навигационной системой. Одной из своих задач Департамент ставит разработку методов цифровой фотограмметрии для автоматической идентификации и локации дорожных знаков [28].

В США широко распространена система управления дорожными измерениями ROMDAS. В ее состав входят компьютер (Notebook) с двумя внешними клавиатурами, GPS-приемник, лазерный измеритель расстояний с определителем азимута, видеокамера с дополнительным компьютером, система гироскопов, цифровая фотокамера, устройство голосового ввода данных, толчкомеры, датчик скорости и пройденных расстояний, определитель ровности TPL, установка оценки коэффициента сцепления. Система дополнительно может укомплектовываться видеомагнитофоном [26].

Комплексные дорожные лаборатории и видеолaborатории

Широкое распространение во всем мире получили комплексные дорожные лаборатории, привлекающие своей унифицированностью, обеспечивающие автоматизированное измерение основных параметров автомобильных дорог: продольных и поперечных уклонов, углов поворота, радиусов кривых в плане и профиле, расстояния видимости, пройденного пути, высотных отметок, ровности и прочности дорожных одежд, коэффициента сцепления покрытия.

Фирмой «Драко» (Швейцария) создана многоцелевая передвижная лаборатория для долгосрочного прогнозирования состояния дорог, измерения ровности, коэффициента сцепления, прочности дорожной одежды, определения наличия на покрытии трещин и других дефектов. Лаборатория оснащена видеокамерой, толчкомером, одноколесным прицепом для измерения коэффициента сцепления. Упругий прогиб измеряется через каждые 3,2 м.

Значительно продвинулись в разработке и производстве комплексных дорожных лабораторий во Франции. Из современных разработок известна лаборатория CALAO (рис.29), оборудованная двумя видеокамерам для регистрации дефектов покрытия и съемки инженерного оборудования и обустройства дороги.

Для измерения поперечной ровности в CALAO используется прибор TUS. Кроме того, измеряется продольная ровность дорожного покрытия и геометрические параметры дороги. Данные по основным элементам плана и профиля автодороги собираются с помощью гироскопической аппаратуры, установленной в передвижной лаборатории.



Рис.29. Дорожная лаборатория CALAO



Рис.30. Бортовая универсальная система DESY

Вся информация регистрируется и обрабатывается бортовой универсальной системой DESY (рис.30).

Французская лаборатория SIRANO (рис.31), представляющая собой комплексную систему для диагностики дорог с помощью цифрового и оптического анализа, измеряет основные транспортно-эксплуатационные параметры дорог на скорости 72 км/ч и фиксирует всю информацию на бортовой компьютер. В лаборатории используются анализатор продольного профиля APL и профилометр PALAS. Лабораторией измеряется ровность, колейность, шероховатость дорожного покрытия, геометрические параметры, состояние (дефекты) покрытия за один проезд.

Отличительными особенностями лаборатории являются:

- многофункциональность;
- непрерывность измерений;
- высокая скорость при измерениях;
- регистрация опорных точек;



Рис.31. Комплексная измерительная лаборатория SIRANO

- использование видеосистемы для определения износа и поперечного профиля дороги;
- автоматический анализ полученных данных, вычисления характеристик дороги;
- построение банка данных.

Лаборатория управляется командой из двух операторов. Стоимость лаборатории около 1000000 долларов США.

Видеолaborатории представляют собой передвижные лаборатории, предназначенные для выполнения различного типа обследований дорожных объектов с последующим измерением их параметров на основе видеоизображения.

Видеотехнологический комплекс включает видео(фото) камеру, устройство видеоввода, программы обработки видеоизображения. Комплекс осуществляет автоматическую видеосъемку с цифровой обработкой и запись на магнитный носитель информации об автомобильных дорогах, формирование видеобанка дорожных данных, измерение по кадру линейных геометрических размеров объектов, фиксацию знаков, инженерного оборудования и дефектов по видеоизображению.

Известны видеолaborатории, разработанные в США, Франции, Японии.

Сюда же можно отнести рассматриваемый выше лазерный измеритель поперечного профиля PALAS-2 (Франция).

В 1983-84 годах во Франции создается многофункциональная лаборатория VANI, для исследования безопасности дорог. Лаборатория позволяет собирать визуальные и геометрические данные двух типов. С этой целью лаборатория оснащена видеосистемой, с помощью которой фиксируются следующие данные о дороге: категория, номер, департамент, направление и место съемки с точностью до 1 метра, дата съемки. Во втором модуле находится аппаратура позволяющая измерять геометрические параметры дороги (радиусы горизонтальных кривых, продольные и поперечные уклоны). Скорость измерения 40-50 км/час.

Получает распространение лазерная техника для измерения дефектов покрытия дорог. В Японии фирмой Komatsu разработана и изготовлена передвижная лаборатория для фиксирования трещин размером более 1 мм, выбоин, колеинового износа, продольных и поперечных неровностей покрытия.

4. Георадары

В инженерной геофизике существует множество методов решения разнообразных геолого-поисковых, инженерно-геологических, гидрогеологических, почвенно-мелиоративных, мерзлотных, гляциологических, геоэкологических, археологических, дефектоскопических и других задач. Они отличаются, прежде всего, глубиной и разрешающей способностью разведки по глубине и в плане. Одним из самых интенсивно развивающихся в последнем десятилетии XX века методов является **радиолокационный метод исследований среды, иногда называемый георадиолокационным подповерхностным зондированием (ГПЗ) или сокращенно просто георадарным методом.**

Георадарный метод основан на явлении отражения электромагнитной волны от поверхностей, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства контактирующих тел — электропроводность или диэлектрическая проницаемость. Электромагнитная волна, падающая на такую поверхность, порождает вторичную волну, распространяющуюся в направлении, противоположном направлению распространения падающей волны.

Имеется два вида волн этого типа. К первому типу относятся собственно отраженные волны, образующиеся в случае, когда поверхность раздела является плоской или квазиплоской, т.е. размеры ее не ограничены. Примером такой поверхности является граница между слоями с различными диэлектрическими свойствами. Интенсивность отраженных волн при прочих равных условиях определяется только контрастностью электрических свойств контактирующих сред. Ко второму типу относятся волны, возникающие на контактной поверхности, один или все размеры которой сравнимы с пространственной длительностью падающего на объект импульса электромагнитной волны. Примерами поверхностей рассматриваемого типа являются трубы, расположенные в грунте (их длины много больше диаметра), захороненные металлические контейнеры или металлические предметы, электрические кабели, локальные неоднородности в грунте, подземные полости и т.д.

Волны второго типа называются дифрагированными. Интенсивность дифрагированных волн зависит от формы и площади контактной поверхности, контраста электрических свойств контактирующих тел и длительности зондирующего электромагнитного импульса. Длительность зондирующего импульса определяет пространственную длину импульса и является фундаментальным параметром георадарного зондирования, определяющим глубину, разрешающую способность и величину мертвой зоны — размер области, внутри которой невозможно выделить объекты, порождающие вторичные волны.

В отличие от сейсморазведки кинематические и динамические характеристики регистрируемых сигналов сложным образом зависят от спектрального состава возбуждаемых колебаний, диэлектрической проницаемости и проводимости. Последние параметры сами могут являться функциями частоты, и до настоящего времени отсутствует теория, позволяющая производить точные расчеты динамических, характеристик волнового поля.

Для практической реализации георадарных исследований необходимы: генератор и передающая антенна, приемник и приемная антенна, устройство для измерения времени между моментом излучения и моментом прихода вторичной волны и регистратор, осуществляющий запись колебаний с выхода приемника в цифровом или аналоговом виде. При использовании аппаратуры описанного типа георадар перемещается вдоль профиля, реализуя метод, называемый в сейсморазведке методом вертикального времени.

В случае, когда приемная и передающая антенны разделены, можно проводить георадарные исследования методами отраженных волн, полностью аналогичными тем, которые используются в сейсморазведке: метод общей глубинной точки (МОГТ), метод общего пункта возбуждения (ОПВ).

В настоящее время во многих странах, таких как США, Япония, Канада и Швеция разрабатываются и выпускаются малыми партиями различные модификации георадаров. Ведущими фирмами, занимающимися производством георадаров, являются GSSI (New Hampshire, США), Sensor and Software Inc. (Канада), Era Technology (Великобритания) и MALA (Швеция), Radar Systems (Латвия), OYO Corporation (Япония), Geozondas (Литва).

Крупная компания Geophysical Systems, Inc. (GSSI) с 1970 года занимается исследованиями, разработкой и производством георадарных систем, уделяя большое внимание усовершенствованию технологии работ с георадарами. Оборудование GSSI имеет маркировку Sir systems.

Интерес за рубежом к использованию подповерхностного радиолокационного зондирования, судя по кругу работ за последние 20 лет, не являлся стабильным. Выйдя из стадии лабораторных разработок, ГПЗ в семидесятые годы привлёк к себе внимание, которое потом ослабло примерно на 10 лет. Затем, в середине 80-х годов в связи с бурным развитием электроники, вычислительной микропроцессорной техники и одновременным ростом потребностей в инженерной разведке интерес к GPR снова возрастает, но, натолкнувшись на несовершенную технику обработки, снова несколько снижается.

За последние три года интерес к использованию GPR находится в стадии постоянного бурного роста. Если раньше радару были посвящены отдельные редкие публикации в научных журналах, то теперь целые разделы конференций международных геофизических и инженерно-геофизических обществ типа SEG, EEAG, EEPG, EEGS и других организаций посвящены радарным исследованиям верхней части разреза. Прошло уже пять международных конференций, посвящённых только GPR. Бурно развивается аппаратная база. В настоящее время кроме георадаров широкого применения выпускается специализированная аппаратура для узких целей – работа в скважинах, шахтах, для дефектоскопии конструкций и т.д.

В СССР первый наземный радиолокатор с ударным возбуждением антенн был разработан в 1976-1977 годах в проблемной лаборатории Рижского Краснознаменного института инженеров гражданской авиации (РКИИГА). Подобные работы велись также в Ленинградском Арктическом и Антарктическом Научно-исследовательском институте (ЛИАНИИ).

В настоящее время компания Radar Systems из Латвии (г.Рига) выпускает георадар "Зонд-12с" с различными антенными блоками, а также предлагает программное обеспечение для обработки результатов зондирования.

В середине 90-х годов НПО "ИНФИЗПРИБОР" (г. Троицк Московской области) разработало переносной георадар "Грот" характеризующийся повышенной мощностью и имеющий дипольные неэкранированные антенны.

Частотный диапазон георадаров обычно лежит в пределах 50-500 МГц, что является компромиссом между глубиной зондирования в единицы — десятки метров и разрешающей способностью в единицы — десятки сантиметров для реальных геологических структур. Получили развитие и более высокочастотные радары, имеющие верхнюю частоту до 40 ГГц, которые имеют глубину зондирования в единицы - десятки сантиметров и используются, в основном, для анализа состояния бетонных строительных конструкций. Их трудно отнести к геологическим приборам.

Технические характеристики практически всех георадаров и их схемные решения мало отличаются друг от друга. За основу технического решения принят метод стробоскопического преобразования спектра сигнала в область низких частот, в которой и происходит его регистрация

В настоящее время георадары используются для определения [10,11]:

- толщины конструктивных слоев дорожной одежды и мощности грунтов;
- объемов дорожно-строительных материалов в карьерах; пространственного расположения подошвы геологических слоев и УГВ;
- качества уплотнения материалов;
- геометрических параметров дна в местах будущих мостовых переходов;
- толщины льда на зимниках;
- изменения размеров карстовых воронок;
- глубины промерзания дорожных конструкций;
- устойчивости грунтов на оползневых участках;
- влажности грунтов;
- состояния бетонных конструкций;
- месторасположения подземных инженерных коммуникаций и т. д.

Безусловно, одним из главных направлений применения георадаров является **обследование существующих автомобильных дорог**. Именно оно позволяет на основе данных испытаний принять решение о выделении инвестиций в эффективные виды ремонтных работ. Особенности применения георадаров в этом случае является необходимость быстрого получения длинных и непрерывных профилей волнового изображения. Так как сеть автомобильных дорог в каждой области России составляет от 5 до 50 тыс. км, то для эксплуатации дорог следует получить файлы с волновыми изображениями каждого километра, а также повторить измерения не менее одного раза в 3-5 лет [9].

Одной из основных причин, препятствующих широкому распространению георадарных технологий, является сложность интерпретации данных, требующая на современном этапе привлечения высококвалифицированных специали-

стов. Выход из этого положения заключается в создании математического аппарата решения обратной задачи радиолокационного зондирования, которая позволит минимизировать участие оператора в получении конечного результата.

В тоже время в целом ряде задач, где не требуется точное знание глубин залегания объектов или слоев, например при поиске местоположения трубопровода, радарограмма не требует никакой обработки и является конечным продуктом. Задачи такого типа решаются прямо на месте по изображению на экране радара. Глубина может быть оценена по задержке сигнала и средней скорости распространения радиоволны для зондируемой среды, которая для Подмосковья, как правило, в три раза меньше скорости света.

Метод георадиолокационного зондирования широко применяется за рубежом для неразрушающего контроля состояния автомобильных дорог, необходимого для своевременного принятия мер по поддержанию их стабильной работы. При обследовании автомобильных дорог георадиолокационные исследования используются для решения двух основных задач: промеры мощностей конструктивных слоев дорожной одежды; выявление дефектов и неоднородностей в грунтах основания дороги, влияющих на стабильность и долговременность работы автодороги.

Для промеров конструктивных слоев дорожного покрытия, как правило, используют антенны с центральными частотами 900 МГц и более. При высокоточных определениях мощности и числа слоев асфальтобетона привлекают рупорные антенны с частотами 1,5 и 2 ГГц, которые обеспечивают точность промеров до 1 см.

Технология ГРЗ в отличие от бурения позволяет обследовать дорогу не "точечно", а непрерывно без нарушения целостности ее покрытия. Данные ГРЗ изображаются в виде георадарограмм, которые показывают распространение электромагнитных волн в разрезе дороги. Для построения разрезов на основании георадарограмм необходимы данные бурения скважин, которые позволяют определить электрофизические параметры и состав слоев дорожной одежды. Места заложения параметрических скважин выбираются в соответствии с изменчивостью разреза дороги, устанавливаемой по характеру георадарограмм.

При оценке состояния земельного полотна дороги метод георадиолокации используют для определения мощности и степени однородности дренирующего слоя грунта, литологического расчленения насыпи, поиска локальных неоднородностей, которые могут быть связаны с различной степенью разуплотнения, глинистости и влажности грунтов. При решении этих задач используют низкочастотные антенны (500, 300 МГц), позволяющие при благоприятных условиях изучать разрез на глубину до 10 м с разрешающей способностью 0,3-0,5 м.

Данные георадиолокации могут быть использованы не только для оценки состояния элементов земляного полотна, но и для прогноза его устойчивости.

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики некоторых серийно выпускаемых георадаров.

Табл. 2

Тип георадара		Технические характеристики георадаров				
		Центральная частота (МГц)	Глубина зондирования (м)	Разрешающая способность (м)	Масса комплекта/(АБ) (кг)	Потребляемая мощность (Вт)
"Геон"	АБ-25	25	20-30	2,0	12,0 / (6,0)	8,0
	АБ-50	50	15-20	1,0	11,0 / (5,0)	8,0
	АБ-100	100	8-15	0,5	10,0 / (4,0)	8,0
"Гея"	АБ-250	250	4-8	0,25	14,0 / (8,0)	7,0
	АБ-400	400	2,0-5,0	0,15	8,5 / (2,5)	6,0
"Зонд"	АБ-700	700	1,0-3,0	0,1	4,5 / (1,25)	5,0
	АБ-1200	1200	0,5-0,8	0,05	3,75 / (0,5)	5,0

Георадары функционально состоят из:

- антенного блока (АБ), включающего в свой состав приемопередающие антенны, передающие и приемные устройства и системы обработки радиолокационной информации. Тип антенного блока определяет глубину зондирования и разрешающую способность георадара.
- блока обработки, управления и индикации (как правило, Notebook различных типов "NEWTON", "LIBRETTO" или другие);
- блока аккумуляторов;
- телескопической штанги.

Через последовательный интерфейс RS-232 георадар может стыковаться с любым PC-совместимым компьютером для дополнительной обработки информации, создания банка данных и т.п.

Комплект поставки включает пакет программного обеспечения с трехмерной графикой.

Георадары серии "Грот"

Георадар "ГРОТ" — переносной импульсный радиолокатор подповерхностного зондирования повышенной мощности с отображением радиолокационных профилей в процессе измерения (рис.32). Георадар обеспечивает получение регистрируемого геологического профиля на жидкокристаллическом инди-

каторе (ЖКИ), определение глубины и места залегания подземных неоднородностей, разнообразных предметов и объектов в земле: кабелей, труб, фундаментов, уровней грунтовых вод и границ раздела геологических слоев.

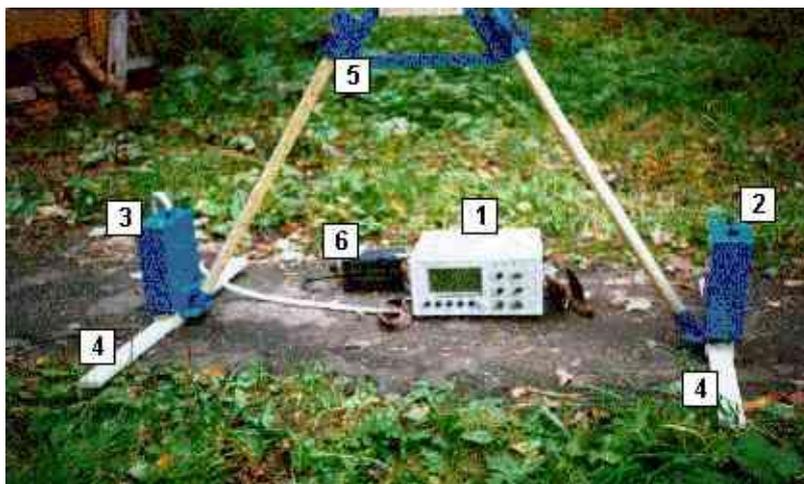


Рис.32. Общий вид георадара серии "Грот"

1 - блок приемника, 2 – передатчик, 3 - антенный усилитель, 4 – антенны, 5 - несущая рама, 6 - аккумулятор

Основная задача, которая ставилась при проектировании георадаров серии "Грот" — это достижение максимально возможного реального потенциала прибора. Эта цель достигается двумя основными способами — использованием мощного передатчика и регистрацией сигнала в его собственном спектре частот, без стробоскопического преобразования сигнала в область низких частот.

Примененный способ регистрации основан на использовании быстродействующих компараторов, которые сравнивают приходящий сигнал с некоторым заданным порогом. Изменяя величину порога и коэффициент усиления приемника, можно регистрировать сигнал в большом диапазоне его значений. Если при стробоскопическом способе за один излученный импульс передатчика регистрируется значение амплитуды сигнала в один момент времени, то в использованном способе за один импульс фиксируются моменты превышения сигналом одного установленного порога по всей временной координате. В качестве антенны используется "безэховая камера" без металлических деталей. Она представляет собой резистивно-нагруженный диполь, накрытый диэлектрическим ящиком, заполненным углеродным радиопоглотителем, который и поглощает воздушную волну.

Основные технические характеристики георадара "Грот-7":

Диапазон рабочих частот, МГц	30 - 500
Импульсное напряжение на выходе передатчика, кВ	5
Чувствительность приемника, мкВ	75
Частота дискретизации данных, нс	1
Потребление от аккумулятора 12 В, А:	
в режиме регистрации	2

в режиме просмотра0,5
Масса, кг 10

Радар оснащен жидкокристаллическим индикатором 128 x 256 элементов и имеет встроенную память объемом 4 МБ. Он может работать автономно (рис.33), т.е. в режиме регистрации с выводом информации на индикатор с последующей (в случае необходимости) перекачкой информации в компьютер по стыку RS-232, а также в составе с компьютером типа «Notebook».



Рис.33. Георадар «Грот» в действии

Измерение реального потенциала георадаров "Грот" осуществлялось по следующей методике. На водоеме выбиралось достаточно глубокое место, где отраженный от дна сигнал не регистрировался. Георадар ставился на поплавок и перемещался от берега до точки, где сигнал пропадал, и измерялась глубина дна. Погонное затухание определялось как отношение амплитуд сигналов на двух глубинах к разности этих глубин. Реальный потенциал определялся как произведение погонного затухания на глубину, на которой сигнал пропал. Для георадаров серии "Грот" реальный потенциал составляет величину не менее 120 дБ.

На получаемых с помощью георадаров «Грот» радарограммах практически отсутствуют паразитные колебания — «звон» аппаратуры, характерный для остальных георадаров. По этой причине не используются стандартные программы обработки георадарных сигналов, основная задача которых уменьшить величину "звона" и выделить на его фоне сигнал с помощью разного рода фильтраций.

Чаще всего потребителя интересует геологическое сечение трассы с точным указанием глубин залегания объектов и слоев. Принятая в настоящее время методика восстановления геологического профиля по радарограмме основывается на использовании методики, которая известна под названием "общий пункт возбуждения" (ОПВ). Первоначально оператор снимает радиолокационный профиль, перемещаясь по трассе с прибором, в котором расстояние между

приемной и передающей антенной фиксированы. По радарограмме определяются точки, в которых необходимо произвести зондирование, т.е. в соответствии с методом ОПВ получить годографы от слоев и объектов. Годограф это функция задержки сигнала от слоя (объекта) в зависимости от расстояния между приемной и передающей антеннами при симметричном разнесе их в разные стороны. Годограф позволяет определить как истинную глубину слоя, так и его диэлектрическую проницаемость. Для того чтобы преобразовать радарограмму в геологическое сечение, необходимо исключить кратные отражения от слоев и трансформировать временную ось в пространственную, задавая диэлектрическую проницаемость слоя. Вся необходимая для этого информация может быть получена из годографа. Процесс вычисления характеристик среды по годографу, а также получение геологического сечения автоматизировано, однако основную роль в этом процессе играет оператор.

В последнее время в США и Австралии ведутся интенсивные работы по созданию нового типа георадаров с частотным сканированием. В этой схеме локатор работает последовательно на сетке частот и снимает спектр сигнала. После этого спектр нормируется на предварительно снятую частотную характеристику приемного тракта и преобразуется во временную область.

Для оценки прочности дорог важно определять толщину слоев и влажность грунта дорожной конструкции. Для определения мощности определенных слоев в заданных точках дорожной одежды Шведской национальной дорожной администрацией применяются радары подповерхностного зондирования [20]. В Швеции для автоматического определения содержания влаги в дорожном полотне успешно применены георадары [21].



Рис.34. Георадар (RADAR Systems Inc.)

В США широко распространены системы SIR SYSTEMS компании Geophysical Survey Systems, Inc. В Канаде одной из крупнейших фирм, выполняющих работы с использованием георадаров, является «Sensors & Software». В Швеции крупнейшей фирмой, занимающейся георадарными исследованиями,

является MALA GeoScience. Широкое применение георадары нашли в странах Прибалтики: Литве (Zondas) и Латвии (RADAR Systems Inc.) (рис.34) [22].

Фирма Pulse Radar выполняет работы по неразрушающему контролю состояния дорожных покрытий. Установка позволяет обнаружить пустоты, количество слоев и их толщину.

5. Перспективные направления развития дорожной измерительной техники в России.

Точность измерения параметров автодорог, напрямую влияет на качество оценки их комплексного состояния. Выпускаемые в настоящее время диагностические лаборатории, в основном, удовлетворяют заданным точностным критериям. При разработке новых технических средств диагностики автодорог следует применять датчики, обеспечивающие следующие требования к точности измерения параметров автомобильных дорог:

- расстояние по оси трассы	0,1 %
- угол поворота	$\pm 30''$
- элементы поперечника земляного полотна	± 10 см
- ширина проезжей части, полос, обочин	± 10 см
- толщина слоя покрытия дорожной одежды	± 10 мм
- толщина слоя основания дорожной одежды	± 10 мм
- поперечный уклон	$\pm 5^{\circ/00}$
- продольный уклон	$\pm 3^{\circ/00}$
- ровность покрытия	± 5 мм
- шероховатость покрытия	± 1 мм
- коэффициент сцепления	$\pm 0,02$
- упругий прогиб дорожной одежды	$\pm 0,02$ мм

Для повышения точности измерений необходимо также разработать оптимальные в смысле минимума погрешностей измерения алгоритмы обработки сигналов с датчиков. Следует использовать, например, широко применяемый в измерительной технике статистический подход, включающий методы максимального правдоподобия, проверки гипотез, адаптивные методы оценки неизвестных параметров на фоне помех и т.п.

Современная аппаратура первичного сбора данных, элементная база и технологии обработки сигналов обеспечивают создание измерительных систем и приборов для проведения эффективных оценки и контроля транспортно-эксплуатационных качеств автодорог. Выбор конкретной элементной базы будет зависеть от состояния российского рынка электронных комплектующих на момент разработки принципиальных схем.

Общие принципы построения комплексных и специализированных диагностических лабораторий

В результате исследований разработаны основные положения концептуального плана, которым должны соответствовать перспективные лаборатории диагностики:

- применение компьютера и современных цифровых устройств управления и обработки измерительных сигналов;
- модульный принцип построения, предусматривающий стандартные интерфейсы обмена измерительных данных;

- применение эффективных технологий обработки измерительных сигналов с целью повышения точности и надежности измерений;
- применение инерциальных и спутниковых навигационных систем;
- комплексирование измерительных каналов;
- возможность привязки и внесение дорожной информации в электронные карты местности;
- автономная система энергообеспечения;
- диагностика и самодиагностика измерительных модулей;
- калибровка измерительных систем в полевых условиях;
- мониторинг измерительных систем при подготовке и в процессе измерений.

Бортовой вычислительный комплекс

Центральной частью измерительной лаборатории является бортовой вычислительный комплекс, включающий блок управления и компьютер, и осуществляющий сбор информации, управление измерениями, обработку результатов измерений и диагностику функциональных узлов. Обработка данных - фильтрация, оценка параметров сигналов, оптимизация измерений - может производиться с помощью микроконтроллеров, цифровых сигнальных процессоров, программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), обеспечивающих по быстродействию решение практически всех производственных задач лаборатории. С помощью компьютера осуществляются визуальный контроль измерений, калибровка измерительных систем, постобработка информации, генерирование отчетов и ведомостей, накапливание статистической информации для занесения в базу данных. Программное обеспечение новой лаборатории диагностики, включающее исполняемые и другие коды микроконтроллеров, цифровых процессоров, ПЛИС, универсального процессора (компьютера), библиотеки, интерфейсы, а также операционную среду, должно обеспечивать адаптируемость и расширяемость измерительного комплекса, возможность одновременного измерения нескольких параметров и настройки в любой необходимой пользователю конфигурации. При этом должны быть предусмотрены унификация программно-аппаратных интерфейсов, модульный принцип построения, который позволит по желанию заказчика комплектовать состав лаборатории от минимальной до максимальной конфигурации.

Геометрические характеристики автодорог

Данные по основным элементам плана и профиля определяются с помощью гироскопической аппаратуры, установленной в лаборатории. В инерциальной навигационной системе дорожной лаборатории целесообразно использовать волоконно-оптические гироскопические датчики совместно с акселерометрами. Можно также воспользоваться выпускаемыми в России интегрированными системами навигации [8]. Необходимо исследовать возможность применения инклинометров (электронных уклономеров) в качестве датчиков продольных и поперечных уклонов.

Экспериментальные исследования датчика пути, встроенного в привод спидометра, с целью количественной оценки влияния различных факторов на точность измерений (остановки, изменение давления в шинах, различные степени ровности дор.покрытия и т.д.), и использование полученной поправки, а также мерного колеса как эталона, позволят повысить точность измерения пройденного пути.

Для получения географических координат объектов на дороге при работе с приложениями ГИС (геоинформационными системами) и коррекции измерений длины пройденного пути желательно применить приемную аппаратуру системы глобального позиционирования GPS/GLONASS. Комплексование измерительных каналов (датчики углов тангажа и курса, датчик мерного колеса, GPS/GLONASS приемник) с применением алгоритмов фильтрации информационных сигналов позволят повысить точность определения координат в плане и длины пройденного пути.

Поперечная ровность

Создание автоматизированной системы измерения глубины колеи бесконтактным (ультразвуковым/лазерным) способом. Перспективными представляются:

- лазерный метод измерения, основанный на автоматическом стереофотограмметрическом способе определения отклонений поверхности дороги от плоскости;
- ультразвуковой метод измерения, использующий линейку ультразвуковых датчиков расстояний.

Одним из основных результатов измерений колеиности на основе бесконтактных методов будет визуализация распределения деформаций дорожного покрытия и возможность оптимального выбора метода ремонтных работ по ликвидации колеиности и расчета объемов строительных материалов.

Продольная ровность

В настоящее время сплошной контроль ровности дорожных покрытий осуществляют с помощью передвижной установки ПКРС или толчкомера. Применение акселерометров для измерения вертикального перемещения колеса ПКРС позволят устранить помеховые воздействия паразитных колебаний рамы прицепа на точность измерений. Фильтрация, корреляционный и спектральный анализ результатов измерений дают возможность определения структуры неровностей по длинам волн, а также поможет выработать рекомендации по количественной оценке продольной ровности и структуры неровностей.

Перспективным является также использование ультразвуковой (лазерной) линейки для определения как поперечной, так и продольной ровности одновременно.

Прочность дорожных одежд

Необходимо дальнейшее развитие установок с мягким штампом, аналогичным КП-502 МП, в частности оправданно применение акселерометров, раз-

мещенных в области чаши прогиба для более точного определения модуля упругости дорожных одежд.

Особое внимание необходимо уделить методам спектральной оценки напряженно-деформированного состояния конструкции «дорожная одежда-грунт». В этом случае появляется возможность адекватного оценивания состояния дорожного покрытия, анализа возникновения колеи, диагностики и предсказания появления деформаций дорожного полотна.

Перспективно направление по развитию бесконтактных методов определения формы чаши прогиба дорожного покрытия. Разработку новой установки оценки прочности целесообразно основывать на квазистатическом и динамическом режимах измерения. Установка должна монтироваться на грузовой автомобиль или полуприцеп и позволять непрерывное измерение прогибов дорожного покрытия.

Исследование характеристик и функциональных возможностей ультразвуковых датчиков перемещений показывает их непригодность для измерений прогиба непосредственно под колесом нагруженного автомобиля (прицепа) из-за конструктивных особенностей датчиков и их широкой диаграммы направленности. Поэтому за основу следует выбрать лазерный метод определения расстояний, основанный на триангуляционном безотражательном способе измерений. Такой лазерный измеритель расстояний и перемещений позволяет иметь контактную точку лазерного луча с поверхностью дорожного покрытия непосредственно между спаренными колесами автомобиля.

Можно рассмотреть четыре основных варианта измерений прогиба:

- измерение с помощью стереопары;
- вариант со слежением контактной точки лазерного луча с помощью вращающегося зеркала;
- измерение с совмещенными фотоприемниками;
- измерение с помощью разнесенных датчиков.

Каждый способ измерения имеет свои плюсы и минусы. Основное ограничение – недостаток на рынке лазерных датчиков, приемлемых по стоимости и соответствующих технико-эксплуатационным требованиям к измерению прогиба.

В настоящее время в ФГУП СНИИЦ «РОСДОРТЕХ» разработана подобная измерительная система, в которой реализован последний способ с использование трех лазерных датчиков перемещений. Она даст возможность уточнить оценку прочности дорожных одежд путем измерения формы чаши прогиба в наиболее характерных точках зоны упругих деформаций. Аналогом системы служит лаборатория диагностики и оценки прочности дорожных одежд Шведской национальной дорожной администрации. Отличием являются методы обработки измерительных сигналов и процедура самокалибровки системы.

Современное развитие георадаров и электроники СВЧ позволяют разработать и создать мобильную установку измерения влажности грунта. Дальнейшим шагом развития такой измерительной системы будет разработка метода определения толщины слоев дорожной одежды.

Сцепные качества покрытия автодорог

Необходимо разработать методы непрерывного измерения коэффициента сцепления без полной блокировки колеса и создать для них нормативную базу. При этом для уменьшения влияния внешних и внутренних факторов, воздействующих на процесс взаимодействия колес автомобиля с дорогой, с целью повышения точности и расширения диапазона условий измерений следует применить адаптивные измерительные методы [7].

Видеосъемка

Программно-аппаратный комплекс для видеосъемки автомобильных дорог, устанавливается на передвижные, дорожно-диагностические лаборатории, предназначен для проведения съемки видеоинформации по автомобильным дорогам, с последующим занесением их в банк данных. Использование комплекса позволяет значительно повысить уровень и качество проведения работ по диагностике, паспортизации, инвентаризации, оценке содержания, контролю качества при строительстве и ремонте а/д.

По полученным данным, в камеральных условиях должна проводиться визуальная оценка состояния а/д, с получением данных о геометрических параметрах (ширина проезжей части, обочины, полосы отвода, высота ограждений, дорожных знаков и др. инженерного оборудования). Необходимо иметь возможность осуществлять дефектовку состояния а/д в соответствии со встроенным каталогом дефектов, при этом дефекты имеют как качественный (наличие дефекта повреждение покрытия, отсутствие ограждения, наклон стойки дорожного знака), так и количественный параметр (ширина полосы загрязнения, площадь повреждения покрытия и т.д.)

Перспективно развитие методов автоматического измерения геометрических параметров (фиксация инженерного оборудования и дорожных знаков).

Учет параметров движения транспортных потоков

Для определения интенсивности транспортного потока целесообразно использовать видеосистемы. Разработка интеллектуальных алгоритмов распознавания и обработки изображений при использовании современных высокопроизводительных компьютерных систем позволяют эффективно измерять состав потока и скорости транспортных средств.

Контроль качества разметки

Приборы для контроля износа, фотометрических и колориметрических характеристик разметки должны разрабатываться на основе применения фотодатчиков с повышенной чувствительностью и дифференциальных методов измерения цветовых и светотехнических характеристик.

Функциональные требования к дорожным диагностическим лабораториям

Дорожные диагностические лаборатории должны обеспечивать:

- измерение геометрических параметров автомобильных дорог на основе инерциальных гироскопических систем с использованием приемников спутниковой навигации для коррекции измерительных данных;
- оценку продольной ровности дорожного покрытия;
- измерение поперечной ровности дорожного покрытия;
- определение коэффициента сцепления дорожного покрытия;
- оценку прочности дорожных одежд;
- определение толщины слоев и дефектов дорожной одежды;
- определение содержания влаги в дорожной конструкции;
- технический учет и паспортизацию автомобильных дорог на основе обработки видеoinформации;
- возможность привязки и внесения в электронную карту обследуемой территории дорожной информации.

Дорожные диагностические лаборатории должны иметь следующие функциональные свойства:

- управление измерениями (сбор и анализ измерительных данных, полученных с датчиков функциональных узлов и систем лаборатории, возможность оптимального управления измерениями и их конфигурирования в зависимости от требований оператора);
- максимальная автоматизация процесса измерений;
- обработка (фильтрация) измерительных данных с целью выделения полезной информации;
- возможность самодиагностики функциональных узлов лаборатории;
- комплексирование измерительных каналов;
- обработка результатов измерений и представление их в предусмотренном нормативами виде (отчеты, ведомости и пр.);
- возможность калибровки измерительных модулей лаборатории в полевых условиях.

Технико-эксплуатационные требования к дорожным диагностическим лабораториям

Программно-аппаратный комплекс дорожной диагностической лаборатории должен обеспечивать:

- модульность и возможность наращивания программных и аппаратных средств лаборатории;
- надежную работу в условиях вибраций, широкого диапазона рабочих температур (-10 - + 70 °С), запыленности, повышенной влажности (до 80 %), высокого уровня электромагнитных помех;
- возможность эффективного ремонта в полевых условиях;
- самодиагностику измерительных модулей;
- возможность быстрой смены управляющей программы;
- низкое энергопотребление;
- энергонезависимое хранение идентификационных и калибровочных данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В информационном обзоре рассмотрены средства технической диагностики автомобильных дорог как российского, так и зарубежного производства. Приведены их основные технические характеристики.

Представлены разработанные принципы построения перспективных технических средств диагностики автодорог, функциональные и технико-экономические требования к передвижным лабораториям диагностики нового поколения.

Изучение современных технических средств диагностики автомобильных дорог и анализ передового отечественного и зарубежного опыта разработки и создания измерительных лабораторий позволяет сделать следующие выводы:

1. В настоящее время отечественное техническое обеспечение диагностики автодорог требует усовершенствования и модернизации, разработки технических средств диагностики нового поколения.

2. Автоматизированные технические средства диагностики целесообразно строить в виде передвижных лабораторий, оснащенных бортовым компьютером.

3. Решение всего круга диагностических задач обеспечивается комплексными и специализированными дорожными лабораториями диагностики.

4. Номенклатура измерений дорожной лабораторией диагностики определяется набором измерительных модулей, состав которого конфигурируется оператором в зависимости от поставленных диагностических задач.

5. Современная элементная база и технологии оптимальной обработки сигналов позволяют создать новую дорожную измерительную аппаратуру, при этом полностью удовлетворяются нормативные требования к точности определения параметров автодорог.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Типовая инструкция по техническому учету и паспортизации автомобильных дорог общего пользования (ВСН 1-83)/ Минавтодор РСФСР. М.: Транспорт, 1983, 48 с.
2. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог: ВСН 6-90 /Минавтодор РСФСР. – М.: ЦБНТИ Минавтодора РСФСР, 1990.–166 с.
3. Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог: ВСН 24-88 / Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1989. – 198 с.
4. Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах: ВСН 4-81 / Минавтодор РСФСР. – М.: Транспорт, 1981, - 144 с.
5. СНиП 3.06.07-86 Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний.
6. Инструкция по учету движения транспортных средств на автомобильных дорогах: ВСН 45-68 / Минавтошосдор РСФСР. – М.: Транспорт, 1969, - 158 с.
7. Белоногов Л.Б., Кычкин В.И., Пугин К.Г. Микропроцессорное устройство для определения коэффициента сцепления. / изд-во пермского государственного технического университета (ПГТУ), Пермь. 2000. - 13 с.
8. «Мининавигация - I»: миниатюрная интегрированная инерциальная / спутниковая система навигации и ориентации (описание). // Журнал «Эколинк» - электронная версия (http://www.mnts.msk.su/ecolink/i3_20r/R27_s252.htm). № 3, 2000.
9. Кулижников А.М. Применение георадарных технологий в дорожном хозяйстве./Разведка и охрана недр. №3 – 2001 г., М.: Недра. С. 32 – 34
10. Кулижников А.М., Шабашева М.А. Георадары в дорожном строительстве./Автомобильные дороги: Обзорн. информ.; вып.2. – М.: Информавтодор, 2000.
11. Кулижников А.М. Георадарные технологии в дорожной отрасли / Тез. докл. Межд. науч. - практ. конф. «Автотранспортный комплекс. Проблемы и перспективы развития» - М.: МАДИ, 2000. – С. 251-253.
12. ВСН 6-90. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. Москва. 1990.

13. Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения: Учебник для ВУЗов.; Под ред. А.П. Васильева. - М.: Транспорт, 1990. -304 с.
14. Каталог выпускаемой продукции ФГУП СНПЦ «Росдортех». / ФГУП СНПЦ «Росдортех», Саратов, 2001. – 66 с.
15. Sayers M.W. and T.D. Gillespie. Overview of Road Meter Operation in Measuring Pavement Roughness, with Suggested Improvements // Transportation Research Record 836, (1981) pp.29-35.
16. Cristopher R. Bennet. Calibrating Road Roughness Meters To IRI. / ROM-DAS: Road Measurement Data Acquisition System (<http://www.romdas.com/technical/tec-ciri.htm>), Data Collection Ltd. 2000.
17. Le matériel LPC. LPC equipment. / Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, édition 1997.
18. Лабораторное оборудование для исследования и контроля качества дорожных работ. / SRConsulting Ltd. Finland. 2000.
19. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника. / А.П. Васильев, В.И. Баловнев, М.Б. Корсунский и др.; Под ред. А.П. Васильева.-М.: Транспорт, 1989.-287 с.
20. "Pavement Thickness and Ground Penetrating Radar". Carl A. Lenngren. Swedish Road Administration. Consulting Services. / «Георадары и дороги-2000». Материалы Международного научно-технического семинара. Архангельск, - 2000. С. 61-66.
21. List of References Simple Method for Esstimation of Water Content of Roadbeds Using GPR. J. Emilsson, J. Friborg. Raycon AB, MALA GeoScience AB, Sweden. / «Георадары и дороги-2000». Материалы Международного научно-технического семинара. Архангельск, - 2000. С. 67-73.
22. Опыт применения георадаров за рубежом. А.М. Кулижников, М.А. Шабашева. Георадары и дороги-2000. Материалы Международного научно-технического семинара. Архангельск.- 2000. С. 74-81.
23. Немчинов М.В. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобиля. М.: Транспорт - 1985. - 231 с.
24. Соловчук А. «Автоматизированные методы измерения глубины колеи и использование их результатов при планировании ремонтных работ». - Наука и техника в дорожной отрасли. № 3, 2000. - с. 34-35.

25. It makes More than Mirrors to See Your «True Profile» by Dennis G. Sixbey. / «Public Roads», US, March/April, 1998, pp. 36-39.
26. Road Measurement Data Acquisition System User's Guide/ Leonard Farnell&Co. Ltd. 1996.
27. Технические средства и пути создания мониторинга транспортных средств на автомобильных дорогах // сб. Труды ГП РОСДОРНИИ, 2000, вып. 10. - М.: -с. 53-56.
28. Research and Development Programme for 1996-2000 in Photogrammetry and Remote Sensing. / The Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 1996.
29. Система видеопаспортизации дорог. Основные концепции/НПО «Регион», СВПД 1993-2001.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Система диагностики автомобильных дорог	5
2. Технические средства измерения параметров и оценки состояния дорог	12
3. Зарубежный опыт применения передвижных лабораторий и технических средств диагностики дорог.	20
4. Георадары	40
5. Перспективные направления развития дорожной измерительной техники в России.	49
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	57