

ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ И ВИБРОДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В.И. Кычкин, А.В. Кычкин, В.С. Юшков

Пермский государственный технический университет

Рассмотрены вопросы, связанные с проектированием мобильных дорожных лабораторий. Определены основные требования по разработке системы мониторинга сети автомобильных дорог. Предложен метод вибродиагностики состояния дорожной конструкции.

Актуальность работ по созданию эффективных средств контроля технического состояния автомобильных дорог и установление наиболее вероятных процессов развития дефектов конструкции во времени и пространстве, и соответственно, выбор технологического оборудования, единиц дорожной техники, материалов, порядка проведения дорожных работ по предупреждению дефектов-источников и дефектов-последствий связана с растущей необходимостью увеличения стоимости содержания, ремонта объектов дорожной инфраструктуры, повышения технического уровня и транспортно-эксплуатационного состояния дорог, снижения аварийности и обеспечения экологической безопасности автомобильных перевозок.

Практика развития дорожной сети включает в себя ряд этапов. Можно выделить следующие позиции: проектирование, создание объекта, начало эксплуатации, нормативная эксплуатация, сверхресурсная эксплуатация, деградация транспортно-эксплуатационных показателей, ремонтно-восстановительные работы и обслуживание, прекращение эксплуатации объекта или его части. На всех стадиях необходимо обеспечение требуемого качества проектирования, строительства, принятой технологии, выбранных материалов, подобранных составов асфальтобетона и т.п. В настоящее время в дорожной отрасли рекомендуются и применяются различные приборы для инструментального контроля состояния дорожной сети [1].

В общей организационной системе контроля качества дорог значительную роль играет техническая диагностика [2]. Определим содержание этой системы. Прежде всего – это информационное обеспечение (способы получения диагностической информации, ее хранения

и систематизации). Совокупность устройств получения и обработки информации составляют техническое обеспечение. Алгоритмы и программы распознавания технического состояния диагностируемого объекта составляют математическое обеспечение.

Результаты исследований в области оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог свидетельствуют о сложности задач, которые должны решаться при создании и совершенствовании методов и средств диагностики.

По-видимому, система принципов, диагностических моделей, нормативов и правил, регламентирующих диагностику являются наиболее сложными проблемами. Можно определить основные элементы этой системы: принципы и правила оценки технического состояния объекта диагностики и степени его эксплуатационной пригодности; нормативы для проведения оценок; диагностические модели, предназначенные для расчета или оценки показателей свойств дорожных конструкций и соответствующих материалов объекта; принципы и правила проверки достоверности результатов расчетов или оценок с помощью диагностических моделей; принципы и правила корректировки диагностических моделей; принципы и правила привязки диагностических моделей и нормативов к конкретным условиям строительства дорог, корректировки технического процесса и методов контроля качества по результатам диагностики.

Из определения метода диагностики как комплексного процесса подготовки данных и принятия решений следует возможность обозначить три уровня сложности решения задач: первый уровень – разработка метода диагностики, т.е. процесс определения структуры метода, изучение факторов, обуславливающих эксплуатационные показатели, разработки общего вида диагностических моделей, принципов оценки годности объекта; второй уровень – задачи, связанные с привязкой метода диагностики конкретным условиям строительства, эксплуатации, ремонта дорог, т.е. с процессом сбора данных, на основе которых метод конкретизируется и доводится до рабочей методики; третий уровень сложности – получение достоверной информации о конкретном объекте (в ходе его производства, контроля комплекса параметров на объекте) с обработкой данной информации согласно заложенным в методику алгоритмам, с получением заключения о техническом состоянии автомобильных дорог.

При проектировании и разработке мобильных дорожных лабораторий ключевой проблемой является создание условий управления качеством продукции, где качество и технологии являются векторными

характеристиками. Сложные технологические процессы формирования необходимых качественных показателей дорог осуществляются совместным влиянием множества факторов производства, свойств сырья и разного рода случайных воздействий, не всегда доступных контролю. В таких условиях причины снижения качества продукции, как правило, не только не очевидны, но глубоко скрыты и трудно определимы. Логика применения мобильных дорожных лабораторий в настоящее время заключается в фильтрации продукции по качеству и недопущению ввода в эксплуатацию дорог или их участков с недопустимыми отклонениями показателей от нормативных значений, а также определения уровня деградации свойств и характеристик дорожной конструкции.

Целью настоящей статьи является повышение эффективности отраслевой системы диагностики автомобильных дорог, определения наиболее вероятных направлений совершенствования этапов проектирования аппаратно-программных средств диагностики по параметрам вибрационного сигнала.

Важным принципом структуры системы диагностики автомобильных дорог с применением мобильных комплексов является выполнения условий: сигналы признаков технического состояния объекта должны отвечать требованиям однозначности, т.е. каждому конкретному значению параметра диагностируемого участка дороги соответствовало бы определенное значение признака выходного сигнала; достаточности, т.е. в случае применения методов вибродиагностики необходимо такое тестовое воздействие на конструкцию объекта, которое позволит осуществить уверенное получение информации при любом изменении параметров технического состояния конструкции; проводимости, т.е. способности диагностического сигнала без существенных искажений достигать первичные чувствительные элементы информационно-измерительной системы; измеримости, т.е. обеспечение простоты и надежности оценки сигнала.

Росавтодор обращает внимание на организацию освоения инноваций при проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и сооружений на них. В частности, это касается и вопросов использования новых технологий, приборов и оборудования при производстве изыскательских, лабораторных и контрольно-измерительных работ; применения новых информационных технологий, банков и баз данных, современных средств информации и связи. На стадии научного сопровождения инноваций необходимо осуществлять работы по экспериментальному наблюдению лабораторных исполнений и контроль за соблюдением технологических процессов и применением новых материалов.

Важно также и то обстоятельство, что компетентность испытательных лабораторий в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025–2000 должна заключаться в обеспечении качества проводимых испытаний, но не как оценки качества произведенной продукции, так как обеспечение качества продукции (дорожно-строительной) – это задача всей дорожной отрасли. Таким образом, основная задача дорожной лаборатории – это проведение контрольных и диагностических работ и представление результатов, на основании которых принимаются решения об уровне обеспечения качества всего комплекса работ в соответствии с требованиями заказчика.

Результаты паспортизации, диагностики и оценки состояния дорог должны служить информационной базой для решения задач двух направлений: определение параметров системы управления состоянием дорог (принятия решений по содержанию, ремонту и реконструкции объектов, распределение материальных и финансовых средств на эти цели); определение транспортно-эксплуатационного состояния дорог и соответствующих условий для безопасного движения транспорта (допустимые скорости и интенсивность движения, осевых нагрузок, общей массы автомобилей и конструктивных особенностей).

Мобильные лаборатории для обследования дорог ориентированы обеспечить измерение с точностью, установленной действующими нормами следующих параметров и свойств: прочности дорожных одежд, состояния основания дорог, геометрических характеристик, ровности дорожного покрытия, коэффициента сцепления, интенсивности и состава движения автотранспортных средств (АТС), поперечной ровности (колеяности) покрытия, инженерного оборудования и обустройства и других параметров.

Автоматизированные системы управления состоянием дорожной сети формируют следующие требования к мобильным лабораториям: применение компьютеров и современных цифровых устройств управления и обработки измерительных сигналов; точный принцип построения, предусматривающий интерфейсы обмена измерительных данных; применение эффективных технологий обработки измерительных сигналов с целью повышения точности и надежности измерений; применение инерциальных новых навигационных систем; комплексирование измерительных каналов; возможность внесения дорожной информации в электронные карты местности; установки автономных систем энергообеспечения; выполнение диагностики и самодиагностики измерительных модулей; осуществление калибровки измерительных систем в полевых

условиях; надежность работы в условиях вибрации, широкого диапазона рабочих температур, запыленности, повышенной влажности, высокого уровня электромагнитных полей; мониторинг измерительных систем при подготовке и в процессе измерений; использование бесконтактных датчиков и систем глобального позиционирования GPS / ГЛОНАСС.

Проблемы проектирования дорог, дорожного строительства, эксплуатации и ремонта дорожной сети в Пермском крае возросли до такого уровня, что все чаще краевое дорожное руководство заявляет о необходимости модернизации и экономике инноваций в сфере сохранения существующей сети автодорог по трем направлениям: содержание, ремонт и реконструкция. Важнейшим инструментом достижения целей и задач, определенных программой развития дорожной сети из транспортной стратегии РФ на период до 2020 г. является ее научное обеспечение, которое должно повысить надежность и срок службы дорожных конструкций, снизить совокупную стоимость работ, повысить технический уровень и транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог, снизить аварийность и повысить экологическую безопасность на них. При этом значение технического учета, паспортизации, диагностики и оценки состояния дорожной сети, являясь информационной базой для решения управленческих задач, определения технического уровня потребительских свойств дорог, а также управления состоянием дорожной сети на основе рационального использования финансовых средств и материально-технических ресурсов, является особенно актуальным. Современные технологии диагностики автомобильных дорог как инженерных объектов реализуются по зарекомендовавшим себя методам [3]. Понимание роли и места технической диагностики дорожных конструкций, ее назначение на всех этапах разработки, строительства, эксплуатации и ремонта дорог безусловно является важным для определения задач и путей их решения по сохранности дорожной инфраструктуры. И в этой связи необходимо отметить, что хотя главной проблемой диагностики является разработка и практическая реализация алгоритмов оценки параметров состояния дорог, диагностирование на основе неразрушающих методов контроля (НК) по характеристикам процессов, сопровождающих режим тестовых воздействий или функционирования в реальных условиях эксплуатации, методы и средства технической диагностики, применяемые на различных этапах жизненного цикла дорожной конструкции, различаются между собой. Это обусловлено различием условий и целей диагностирования на каждом из этапов проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта дорожной конструкции.

Учитывая сложные требования к дорожным лабораториям и сложность самого объекта контроля, определим основные задачи, которые могут быть сформулированы перед НК: повышение чувствительности с учетом значимости НК; увеличение количества извлекаемой информации; автоматизация процесса контроля; автоматизация обработки информации; разработка и внедрение вибрационных методов контроля и диагностики; создание новых подходов и нового поколения нормативно-технических документов, отражающих то, что контроль является измерительным и принципиально случайным процессом, что, в свою очередь, требует показателей достоверности контроля и диагностики; создание новых систем оценки результатов контроля, например системы классификации дефектов дорожной конструкции по степени их реальной опасности и соответственно уровня риска эксплуатации и содержания дорог; поиск связей контроля и смежных областей, участвующих в оценке надежности и безопасности дорожной сети, оценке ресурса, определению ее предельных состояний.

В систему диагностики следует включить также совокупность моделей и признаков технического состояния, способы и устройства принятия решений.

По-видимому, для диагностики дорог наиболее целесообразны переносные средства, доставляемые на участок дороги по месту его строительства, эксплуатации, ремонта, и встроенные средства, составляющие с объектом одно целое и позволяющие получать информацию о состоянии объекта не только при контрольных проверках, но и постоянно. Такие принципы служат основой постоянно действующего процесса мониторинга.

Это, конечно, не означает, что дорожная лаборатория и конструкция автомобильной дороги должны рассматриваться отдельно. Свойства дорожной одежды, подстилающих слоев, условия эксплуатации формируют требования к разработке средств контроля и диагностики объекта. Для принятия решений о прочности многослойной конструкции дороги из материалов, работающих в различных режимах и имеющих различные физические модели, необходимо создавать воздействие, по величине, по крайней мере, достаточно близкое к фактическому. Это, вероятно, возможно при минимальных затратах при условиях проезда тяжелых автомобилей.

Для организации информационных потоков при диагностике дорог, наряду с существующими нормативами, рассмотрим алгоритм использования вибрационных характеристик дорожной конструкции, схема которого приведена на рис. 1.

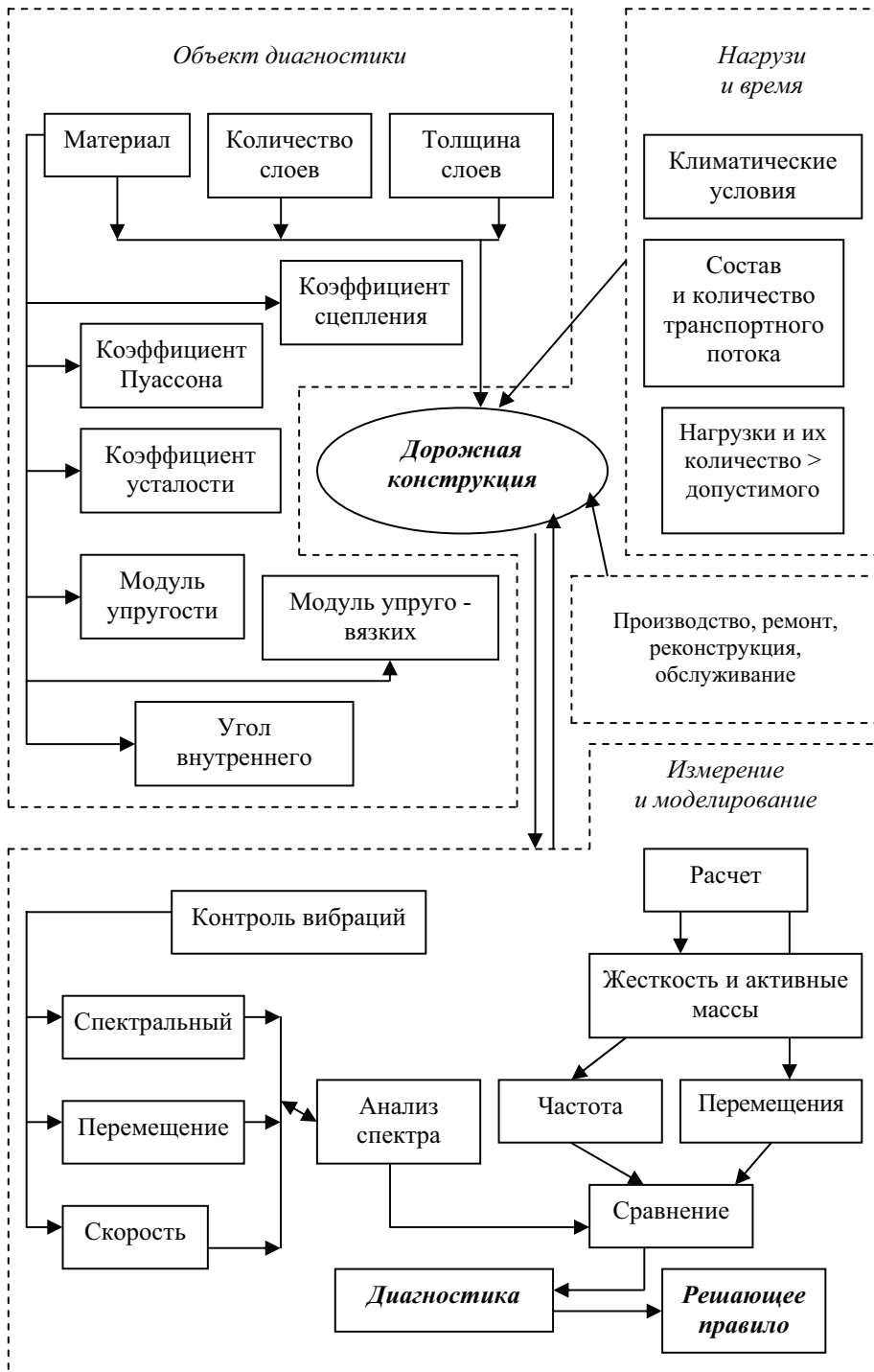


Рис. 1. Схема вибродиагностики дорог

При этом будем считать, что наиболее важным является привязка методики оценки параметров дорожной конструкции к конкретным особенностям зоны нахождения участка дороги, природным, грунтово-геологическим, гидрологическим условиям. Пример исходных данных для выполнения расчетов вибрационных характеристик дорожной конструкции приведен в таблице.

Исходные данные к расчету вибрационных характеристик дороги

E (кг/см ²)	m_1 (кг·с ² /см)	m_2 (кг·с ² /см)	$D_{гр}$ (см)	N_1 (авт/сут)	n	W/W_0 %	φ^0	C_n	v_0 (км/час)
350	0,0815	0,0372	225	1000	800	0,85	30	0,055	50
450	1,017	0,0535	50	1200	900	0,85	30	0,055	70
550	1,017	0,0479	50	1500	1200	0,85	30	0,055	90

где E – общий модуль упругости конструкции дороги; m_1 и m_2 – массы, соответственно покрытия и основания; $D_{гр}$ – диаметр круга, по площади которого распределяется давление на поверхность основания; C_n и φ_n – сцепление и угол внутреннего трения слоев основания после приложения n -го количества нагрузок; N – количество транспортного потока, вызывающих напряжения в основании выше, чем предел упругости; W/W_0 – относительная влажность слоев основания; n – количество приложенных нагрузок.

Кроме того, в состав параметров математической модели входят: μ – коэффициент Пуассона; β – коэффициент, характеризующий долю угла распределения напряжения в основании от угла внутреннего трения слоев основания; $E_{ув}$ – модуль упруговязких деформации слоев оснований; $K_{упл}$ – коэффициент уплотнения слоев основания; k – коэффициент, характеризующий интенсивность увеличения деформаций в процессе приложения нагрузки; t_1 – продолжительность воздействия на слои основания напряжения, превышающих предел упругости; T_3 – время запаздывания упруговязких деформаций в слоях оснований.

В качестве расчетной модели дорожной конструкции была принята двухмассовая система. Жесткость дорожной одежды была принята постоянной, а жесткость основания дороги рассчитываем по соотношению:

$$C_0 = \frac{P\pi D_{гр}^2}{4} \frac{1}{x_2},$$

где P – давление, воспринимаемое грунтом основания, x_2 – перемещение поверхности основания.

В общем случае модель деформирования грунта основания была принята в форме:

$$\xi = \xi_y + \xi_b + \xi_{\text{п}},$$

где $\xi_y, \xi_b, \xi_{\text{п}}$ — соответственно упругая, вязко-упругая и пластическая деформации грунта основания.

Расчет перемещений, проводимых по методике, представленной в работе [5]. Пример результатов расчета составляющих общего перемещения основания приведен на рис. 2.

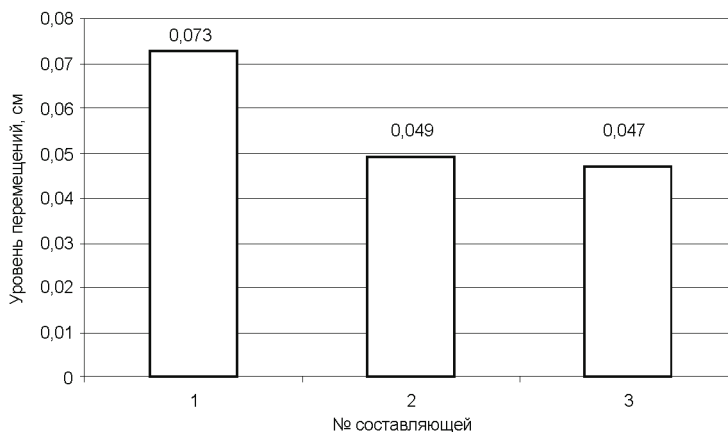


Рис. 2. Составляющие общего перемещения грунта основания

Функции перемещений дорожной одежды x_1 и грунта основания x_2 представлены в виде:

– при задании начальных условий в форме перемещений;

$$x_1 = \frac{h_2 - h_1 \chi_{22}}{\chi_{21} - \chi_{22}} \cos \omega_1 t + \frac{h_1 \chi_{21} - h_2}{\chi_{21} - \chi_{22}} \cos \omega_2 t;$$

$$x_2 = \chi_{21} \frac{h_2 - h_1 \chi_{22}}{\chi_{21} - \chi_{22}} \cos \omega_1 t + \chi_{22} \frac{h_1 \chi_{21} - h_2}{\chi_{21} - \chi_{22}} \cos \omega_2 t;$$

– при задании начальной скорости слоя дорожной одежды;

$$x_1 = \frac{1}{\omega_1} v_0 \left[1 - \frac{\chi_{21}}{\chi_{22} - \chi_{21}} \right] \sin \omega_1 t + \frac{v_0}{\omega_2} \frac{\chi_{21}}{\chi_{22} - \chi_{21}} \sin \omega_2 t;$$

$$x_2 = \chi_{21} \cdot \frac{1}{\omega_1} v_0 \left[1 - \frac{\chi_{21}}{\chi_{22} - \chi_{21}} \right] \sin \omega_1 t + \chi_{22} \frac{v_0}{\omega_2} \frac{\chi_{21}}{\chi_{22} - \chi_{21}} \sin \omega_2 t.$$

Результаты расчета виброперемещений дорожной одежды и грунта основания по двум гармоникам представлены на рис. 3.

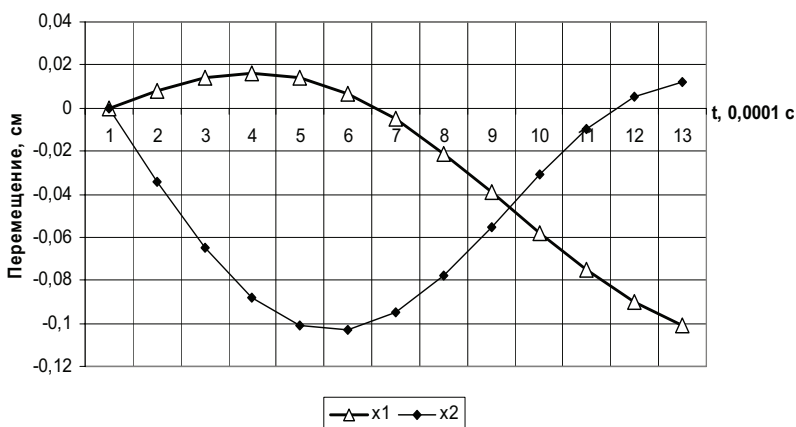


Рис. 3. Гармонические функции перемещений дорожной одежды x_1 и грунта основания x_2

По полученным результатам можно сделать вывод, что движение присоединенных масс возможно в противоположных направлениях.

На рис. 4 показано влияние скорости движения АТС на амплитуду перемещений грунта основания.

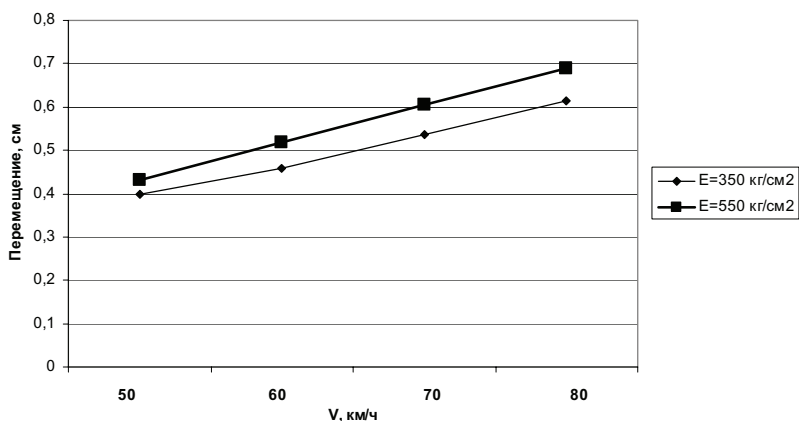


Рис. 4. Перемещения грунта основания в зависимости от скорости движения АТС

Общий модуль упругости дорожной конструкции [4] определяли на основании экспериментальных результатов измерения частот вертикальных колебаний слоев с помощью прибора «Вибран-2» на выбранном участке дороги «Сосновый Бор – Гайва». Расчетные частоты и частоты, определенные экспериментально, отличались менее чем на 5 %.

Представленный алгоритм вибродиагностики дорожной конструкции иллюстрирует возможность применения современной виброизмерительной аппаратуры в целях интерпретации контролируемых признаков колебательных процессов для оценки структурных параметров дороги. Комплект приборов размещается в микроавтобусе, оперативно доставляется на объект, позволяет осуществить измерения параметров вибрации, создать банк данных, провести необходимые расчеты по предложенной математической модели и сделать заключение о техническом состоянии дорожной одежды и грунтов основания автомобильной дороги.

Ввиду большого многообразия многослойных конструкций автомобильных дорог нельзя заранее судить о возможности вибрационного контроля в целях выполнения требований заказчика. Поэтому желательна, предварительная проверка применимости аппаратно-программных средств на соответствующих образцах участков дорог с естественными или искусственными дефектами. Это будет гарантия эффективного применения метода вибродиагностики автомобильных дорог.

Список литературы

1. Справочная энциклопедия дорожника. Средства измерения и испытаний при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог / под ред. Д.Г. Мепуришвили. – М.: Федеральное дорожное агентство Минтранспорта; Росавтодор, 2009. – 528 с.
2. Химич Д.С., Нестеренко Т.Г. Стабилизатор аппаратуры системы диагностики автомобильных дорог // Современная техника и технологии: сб. науч. тр. XV Международной НТК. – М., 2007. – С. 261–263.
3. ОДН 218.0.006–2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. – М.: Министерство транспорта РФ; РОСАВТОДОР, 2002. – 62 с.
4. Кузнецов Ю.В. Как поставить диагноз дороги? // Автомобильные дороги. – 2010. – № 1. – С. 133–134.
5. Кычкин В.И., Юшков В.С., Ханжин Р.В. Диагностическая прогностно – профилактическая модель мониторинга дорожных одежд нежесткого типа. // Состояние и перспективы транспорта. Обеспечение безопасности дорожного движения: матер. междунар. науч.-техн. конф. Т1. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2009. – С. 132–139.

Получено 27.07.2010