

**Г.Л. Колмогоров, В.И. Кычкин,
И.А. Есипенко, А.Р. Зайнуллин**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассмотрены вопросы создания интеллектуальной системы вибродиагностики дорожных конструкций. В качестве проблемной области выбрано расчетное определение динамической жесткости конструктивных слоев. Автоматизированный расчет основан на программном продукте нового поколения с применением экспериментальных данных, с учетом силовых воздействий (природных, грунтово-геологических, гидрологических и силовых нагрузок) и особенностей диагностируемого участка дороги.

Ключевые слова: автомобильная дорога, вибродиагностика, механико-математическая модель, вибродиагностическая лаборатория, динамическая жесткость.

Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог в значительной мере оказывает влияние на безопасность движения. В настоящее время наиболее актуальными в области эксплуатации автомобильных дорог являются проблемы управления, контроля и расхода дорожных конструкций, особенно потенциально склонных к повышению риска деградации свойств, подтверждающих качество объекта.

Основой обеспечения транспортно-эксплуатационных показателей дорожной конструкции является надзор за её состоянием с целью своевременного выявления признаков и причин деформаций, предупреждение опасных деформаций, которые могут приводить к опасным ситуациям. Принятие неотложных мер по восстановлению требуемого качества дорожных одежд, выполнение планово-предупредительных работ в комплексе по обеспечению ровности, шероховатости, чистоты поверхностных слоев дорожных одежд, ремонт и усиление являются самостоятельными мероприятиями по индивидуальным проектам. В связи с этим формирование рационального облика чрезвычайно важного сектора контроля и диагностики дорог во всей совокупности задач проектирования [1], производства, обслуживания, эксплуатации дорожных конструкций [2] по их прямому назначению ремонта и восстановления дорожной инфраструктуры с учетом экономических факторов представляется как доминанта этапов технологии управления

функциональным уровнем дорожных конструкций и поддержание их конкурентоспособности с учетом снижения затрат на создание новых транспортных коммуникаций, сокращения их ресурсопотребления, адаптации к изменяющимся производственным условиям, оптимизации сроков проектирования, освоения, технологичности, организации труда и конечных результатов эксплуатации дорожных сетей [3, 4].

Регламентирующий документ «Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог» [5], являющийся руководством при выполнении диагностики, оценке транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования и планирования дорожно-строительных работ, определяет методологию оценки каждого показателя состояния дороги и формирования банка данных, рассматривает принципы планирования и оценки эффективности дорожно-ремонтных работ по результатам диагностики.

Основная особенность диагностических работ в настоящее время, где бы они не проводились: непосредственно в дорожной обстановке, на трассах или в исследовательских и проектных организациях, на стендах, на опытных участках в комплексе дорожной конструкции или по ее элементам (материалы и их сочетания – асфальтобетон, цементобетон, режимы уплотнения, воздействие влаги и температур, силовых нагрузок, промежуточные функциональные слои, слои армирования из геосинтетических материалов, теплоизолирующие слои и т.д.) – заключается в увеличении объема экспериментальных данных, которые требуют сбора, обработки и анализа в как можно более короткие сроки.

Причины роста количества информационных потоков связаны прежде всего со стремлением проектировщиков, производителей (строителей) и эксплуатационщиков осуществлять комплексное управление технологичностью дорожной отрасли. В этой связи важно отметить значение сущности информации как явления атрибутивного (неотъемлемое свойство изучаемого объекта) и антропологического – это результат деятельности человека, т.е. создание смыслового базиса адекватного источнику данных [6]. Поскольку диагностика технического состояния автомобильных дорог является информационным процессом, необходимо формирование информационной системы. В свою очередь информационный процесс – это сочетание интеллектуального и поступательного процесса генерирования данных. Использование в практике информационных ресурсов требует применения информа-

ционных технологий. Качество информационных технологий зависит от информационной культуры [7]. Исследуемая техническая система (автомобильная дорога) вместе с комплексом принятия решений рассматривается как единая социально-техническая система, в которой в настоящее время активную роль играет лицо, принимающее решение (ЛПР). При этом в данной иерархии необходимо также учитывать решение потребителя услуг транспортных систем, что должно способствовать повышению эффективности функционирования исследуемого объекта. Схема формирования информационной системы управления технологичностью процессов, включающих в себя оценку уровня технических решений, организации труда и производства, риски намеченных мероприятий и их результативность, приведена на рисунке.

Современные информационные технологии позволяют ориентироваться на разработку эффективных методов с соответствующими программно-аппаратными средствами поддержки, которые позволяют оперативно в реальном масштабе времени оценить текущее состояние материала объекта, его морфологические характеристики и, используя данные предварительно проведенных обучаемых экспериментов и специализированную базу данных, осуществлять обоснованное заключение о возможности эксплуатации автомобильной дороги, величине предполагаемого остаточного ресурса, необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ и достигнутом уровне риска данной ситуации.

Автомобильные дороги являются сложным многопараметрическим «динамическим» объектом, их можно классифицировать как «плохо организованные системы» [8]. В таких случаях сложно определить характер отдельных явлений. Необходимо учитывать одновременное действие многих разнородных факторов, обуславливающих различные по своей природе, но тесно взаимодействующие друг с другом процессы.

Целью работы является создание распределенной компонентно-ориентированной компьютерной вибродиагностической системы регистрации, хранения и математической обработки динамических сигналов на основе единых информационных моделей, исследования их свойств и определение характеристик элементов, составляющих объект наблюдения.

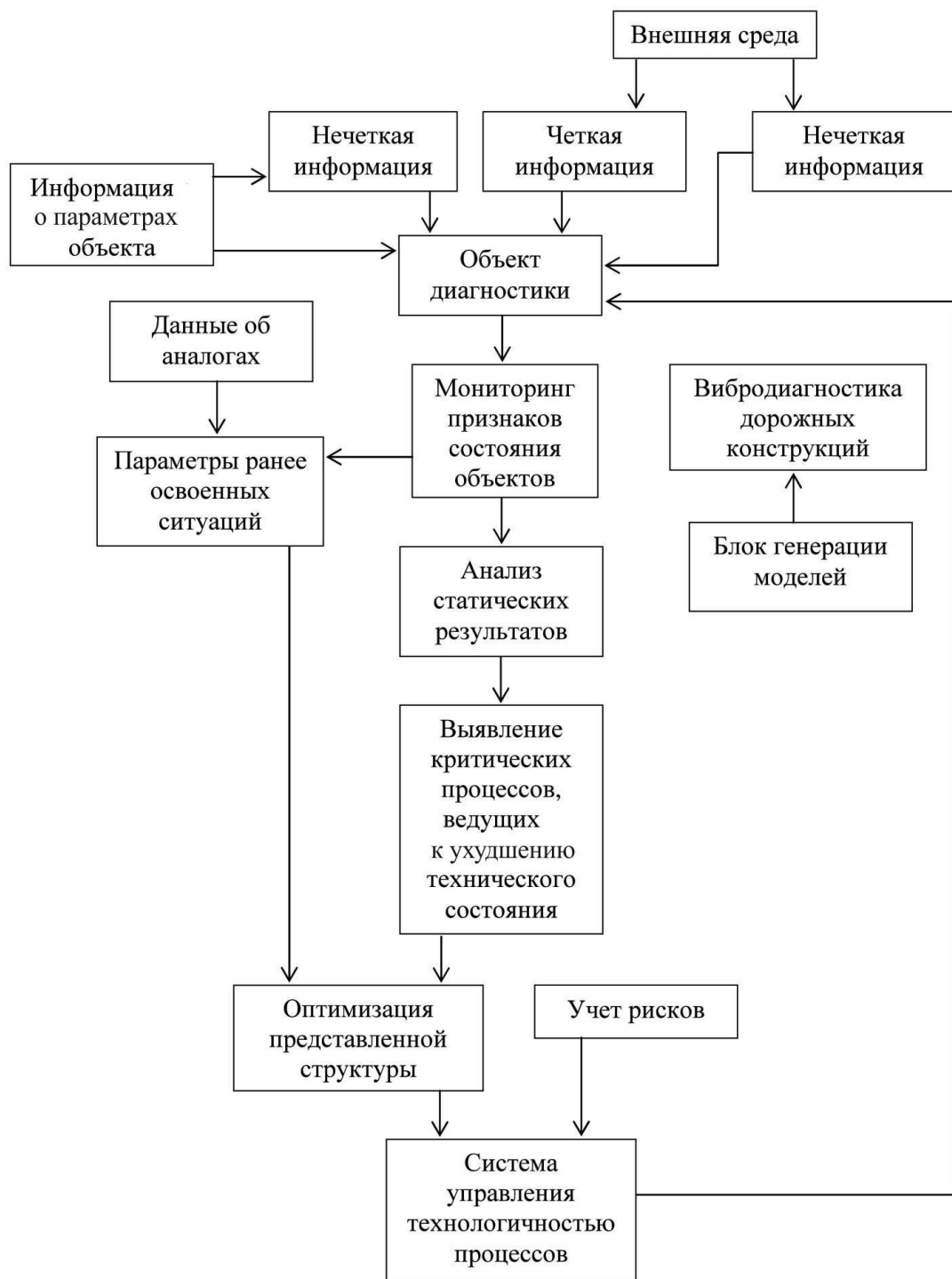


Рис. Схема формирования информационной системы управления технологичностью процессов транспортной инфраструктуры

За последнее десятилетие достигнут значительный прогресс в области создания сложных программно-аппаратных систем, которые изменили подход к их разработке и моделированию, а также расширили

области их практического использования [9]. Кроме того, реальное обеспечение взаимодействия разнородных программных и аппаратных средств требует создания единых спецификаций интерфейсов.

Особое внимание в этой связи уделяется промежуточному программному обеспечению (ППО), под которым понимается функционально законченный набор программных средств, интегрированный в рамках необходимой операционной системы (ОС), обеспечивающей прозрачную работу программ в целом в неоднородной среде, т.е. в среде, состоящей из компонент, не совместимых друг с другом с точки зрения программного окружения.

Главной особенностью концепции совершенствования и инноваций контроля и диагностики автомобильных дорог с вытекающими из этого следствиями управления качеством и технологичностью их эксплуатации является разработка и внедрение систем искусственного интеллекта для мобильных лабораторий на основе бортовых комплексов, решающих широкий спектр функциональных задач в условиях реальной климатической обстановки, действующих нагрузок транспортных потоков, высоких требований безопасности движения и действия самых различных факторов неопределенности [10].

Современная структура организации интеллектуальных сложных динамических принципов функционирования систем контроля и диагностики, сложившаяся на базе фундаментальных и прикладных исследований в России и за рубежом, основана на следующем [4]:

- основной ориентир – ситуационное управление [5];
- применение результатов физических исследований и модельных экспериментов в лабораториях и на стендах с использованием маломасштабных моделей, макетов структур материалов и дорожных конструкций, теоретических выводов, выдвинутых гипотез, проектных решений и расчетов;
- использование результатов исследований на натуральных объектах сооружаемых и эксплуатируемых дорог;
- комплексные исследования и разработки систем контроля и диагностики под класс решаемых задач, а не под те или иные структурные элементы инфраструктуры транспортной системы;
- применение специализированных технических устройств при условии допускаемого развития и модификации.

Практически работоспособные инженерные методики неразрушающего контроля транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог основываются на результатах объективных измерений текущих значений определяющих параметров состояния ситуаций как самой конструкции дорог, так и условий и характеристик транспортных потоков [11]. Из «Правил диагностики и оценки состояния автомобильных дорог» [5] следует, что из 42 параметров, определяющих исходную информацию для оценки объекта, непосредственно к характеристикам дорожной конструкции относятся пять показателей: прочность и состояние дорожной одежды и покрытия (износ, вид, расположение и характеристика дефектов), продольная ровность покрытия, поперечная ровность покрытия (колеиность), шероховатость и коэффициент сцепления колеса с покрытием.

По-видимому, использование для оценки технического состояния дорожных конструкций около 12 % параметров от всей необходимой информации объясняется тем, что методы диагностики по состоянию объекта и прогнозирования возможности эксплуатации зачастую не достигают уровня, который позволяет принимать эффективные технологии – с одной стороны и внедрять инновационные решения – с другой.

По-существу, указанные методики не являются образцовыми, в связи с чем их непосредственное применение на эксплуатируемых дорогах во многих случаях проблематично или в принципе невозможно.

Решение обозначенной проблемы целесообразно с построения динамической модели поведения объекта [12]. Объектом исследования является автомобильная дорога, которая представлена в виде неоднородного многослойного полупространства. Задача, которую мы ставим, заключается в решении системы уравнений при заданных граничных и начальных условиях [13]:

$$\begin{aligned}\sigma_{ij,j} &= \rho \ddot{u}_i, \\ \varepsilon_{ij,j} &= \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \\ \sigma_{ij,j} &= 2\mu \varepsilon_{ij} + \lambda \delta_{ij} \varepsilon_{kk} + 2\eta \dot{\varepsilon}_{ij} + \xi \delta_{ij} \dot{\varepsilon}_{kk},\end{aligned}$$

где λ и μ – коэффициенты Ламе; η и ξ – коэффициенты вязкости.

Для описания динамического поведения конструкции из неоднородных материалов принято решение перейти на модифицированный

экономичный метод расчета, особенностью которого является принятие первоначальной конфигурации деформированной нежесткой дорожной одежды [14, 15].

Программирование определяющих соотношений – это начальный этап разработки, создания, апробации комплексной лаборатории для диагностики нежестких дорожных одежд, сориентированной на использование современных методов сбора, обработки, хранения информации и принятия решений. В дальнейшем планируется разработка программно-аппаратных средств, включающих систему регистрации, обработки, фильтрации сигналов, с последующими вычислительными операциями на основе предлагаемой механико-математической модели.

В перспективе метод вибродиагностики рекомендуется использовать в нормативных документах.

Список литературы

1. Колмогоров Г.Л., Есипенко И.А. Применение метода Ритца – Тимошенко для оценки прочности покрытия автомобильных дорог // Строительная механика и расчет сооружений. – 2012. – № 5. – С. 14–20.
2. Zhao Yan-ging, Zhou Chang-kong, Wang Guo-zhong, Wang Zhichao Dalian ligong daxue xuebao // Dalian Univ. Technol. – 2011. – № 1. – P. 73–77.
3. Кычкин В.И., Юшков В.С. Разработка и исследование информационно-измерительного комплекса на основе вибромониторинга дорожных конструкций // Отраслевые аспекты технических наук. – 2012. – № 1. – С. 10–15.
4. Корочкин А.В. Изучение воздействия движущегося транспортного средства на конструкцию дорожной одежды // Строительные материалы. – 2011. – № 1. – С. 28–29.
5. ОДН 218.0.006–2002. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог. – Взамен ВСН 6-90; введ. 03.10.2002 / Мин-во транспорта РФ. – М, 2002. – 196 с.
6. Фридланд А.Я. О сущности информации: два подхода // Информационные технологии. – 2008. – № 5. – С. 75–84.
7. Дмитриенко А.Г., Блинов А.В., Новиков В.Н. Распределенная интеллектуальная система мониторинга состояния сложных технических объектов // Измерительная техника. – 2011. – № 3. – С. 13–15.

8. Илиополов С.К., Селезнев М.Г., Углова Е.В. Динамика дорожных конструкций: моногр. / Рост. гос. строит. ун-т. – Ростов н/Д, 2002. – 258 с.

9. Лушников П.А. Разработка экспресс-методов определения вязко-упругих свойств нежестких дорожных одежд с применением портативных приборов ударного действия: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 142 с.

10. Беляков А.Б., Куприянов Ю.М., Стальнов С.А. Система мониторинга уличной дорожной сети на передвижной дорожной лаборатории НИИМК МАДИ (ТУ) // Методы и средства повышения надежности материалов и сооружений на автомобильных дорогах: сб. науч. тр. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – С. 131–137.

11. Метод оценки технического состояния автомобильных дорог с применением логики нечетких множеств / А.А. Бартоломей, В.И. Кычкин, Н.Е. Рукавишникова, Д.С. Беляев // Автотранспортный комплекс. Совершенствование и развитие проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Охрана окружающей среды: материалы XXX Всерос. науч.-техн. конф. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2003. – С. 18–27.

12. Осиновская В.А. Динамика грунта земляного полотна при вибрационном нагружении дорожной конструкции // Строительные материалы. – 2011. – № 2. – С. 45–46.

13. Лурье А.И. Теория упругости. – М.: Наука, 1970. – 940 с.

14. Есипенко И.А., Колмогоров Г.Л., Кычкин В.И. Определяющие соотношения для численного метода решения задач механики неоднородных сред // XVIII зимняя школа по механике сплошных сред: тез. докл. / Ин-т механики сплошных сред УрО РАН. – Пермь, 2013. – С. 127.

15. Белоногов А.Б., Кычкин В.И., Рукавишникова Н.Е. Расчет напряжений сдвига в слоях дорожной конструкции при локальных динамических нагружениях // Образование и наука – производству / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2001. – С. 68–75.

Получено 5.03.2013

G.L. Kolmogorov, V.I. Kychkin, I.A. Esipenko, A.R. Zainullin

INTELLECTUALIZATION OF HIGHWAYS VIBRODIAGNOSTIC LABORATORY

Road pavement vibration monitoring intelligent system questions are considered. Dynamic rigidity calculated determination of constructive layers is selected as problem area. Automated calculation is based on a software product using the experimental data, force action (natural, soil and geological, hydrological and force loadings) and feature of a diagnosed road section.

Keywords: highway, vibration monitoring, mechanical-mathematical model, vibration monitoring laboratory, dynamic rigidity.

Колмогоров Герман Леонидович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, e-mail: dpm@pstu.ru).

Кычкин Владимир Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29).

Есипенко Иван Александрович (Пермь, Россия) – аспирант Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, e-mail: eia@rtural.ru).

Зайнуллин Антон Ринатович (Пермь, Россия) – студент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29).

Kolmogorov German Leonidovich (Perm, Russia) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: dpm@pstu.ru).

Kychkin Vladimir Ivanovich (Perm, Russia) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia).

Esipenko Ivan Aleksandrovich (Perm, Russia) – postgraduate student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia, e-mail: eia@rtural.ru).

Zainullin Anton Rinatovich (Perm, Russia) – student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russia).