

С. А. БОКАРЕВ, А. Н. ЯШНОВ, С. С. ПРИБЫТКОВ,
А. В. СЛЮСАРЬ (Сибирский государственный университет путей сообщения)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАДЗОРА ЗА ИСКУССТВЕННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Розглянуто питання удосконалення врахування та діагностики споруд. Як основний параметр діагностики прийняті власні частоти коливань конструкцій. Моделювання динамічної роботи прогонової будови реалізовано на підставі методу скінчених елементів.

Рассмотрены вопросы совершенствования учета и диагностики сооружений. В качестве основного диагностируемого параметра приняты собственные частоты колебаний конструкций. Моделирование динамической работы пролетного строения реализовано на основе метода конечных элементов.

The article examines the questions of improving supervision and diagnostic techniques of facilities. Natural frequency of superstructure is selected as a primary diagnostic parameter. Modeling of dynamic behavior of a span superstructure has been based on the finite-element method.

Одним из главных направлений совершенствования системы надзора за искусственными сооружениями является в настоящее время внедрение автоматизированных управляющих систем. За рубежом в 80-х гг. прошлого века начали широко внедрять автоматизированные информационные системы по мостам и другим искусственным сооружениям на железных и автомобильных дорогах. Например, в США начиная с 1984 г. проводили работы по созданию «Системы управления эксплуатацией железнодорожных мостов» штата Пенсильвания [1]. В Финляндии к разработке первой компьютерной реляционной базы данных по мостам на сети автомобильных дорог («Регистр мостов») приступили в 1986 г., а в 1990 г. ее стали применять в Центре дорожной администрации и во всех дорожных округах [2]. В Польше в 1993 г. для управления содержанием железнодорожных мостов была разработана и внедрена автоматизированная система, названная «SMOK» [3]. В дальнейшем развитие этой системы привело к созданию автоматизированной системы управления мостами (BMS-Bridge management system) [4]. В Великобритании разработана автоматизированная экспертная система управления автодорожными мостами (BMX), в Японии – автоматизированная экспертная система диагностики состояния железнодорожных тоннелей, во Франции – автоматизированная система диагностики мостов (GERETO). Этот перечень можно было бы продолжить.

В России внедрению вычислительной техники (по сути, информатизации) в процесс эксплуатации искусственных сооружений на железных, автомобильных и городских дорогах

всегда придавали большое значение. Одна из первых попыток по созданию автоматизированной информационной системы (ИПС «Мост», Гипродорнии) была предпринята в начале в 80-х гг. годов прошлого века для автодорожных мостов. Для содержания мостов и других искусственных сооружений на автомобильных дорогах разработаны автоматизированные системы, в большинстве своем упомянутые в [5]: «Монстр» (МАДИ, Москва), АИС ИССО (СГУПС и СибНИТ, Новосибирск), PassInfo (ВГАСУ, г. Воронеж), КАСУ (Терра, Воронеж) и др. В 2002 г. была закончена разработка и начато внедрение «Системы управления мостами» (СУМ) для г. Москвы, выполненная международным консорциумом в составе фирм «Промос» (Россия) и «AGA, Inc.» (США) при участии компаний «Cambridge Systematic Inc», (США) и «Ove Arup & Partners. Ltd» (Великобритания) [6].

В НИИ мостов ЛИИЖТа совместно с НИИЖТом (ныне СГУПС) в 1987 г. по заданию ЦП МПС было начато создание автоматизированной информационной системы по искусственным сооружениям [7], эксплуатирующимся на железных дорогах (АИС ИССО, Ленинград). В 1989 г. НИИЖТом начата самостоятельная разработка автоматизированной системы [8] (АСУ ИССО v.1, Новосибирск). В 2002 г. все 17 железных дорог перешли на АСУ ИССО v.2, разработанную в СГУПСе при участии НИИ мостов. В 2004 г. начато внедрение третьей сетевой версии программы реализованной в клиент-серверной технологии.

Важнейшая задача, потребовавшая принятия взвешенного решения – выбор архитектуры

автоматизированной системы. Объекты системы рассредоточены на территории огромной страны, организации, связанные с содержанием мостов имеют иерархическую структуру, их общее количество более четырехсот и они также распределены по территории России от Сахалина до Калининграда. Для таких сложных распределенных автоматизированных систем необходимо создание отраслевой системы передачи данных и наиболее целесообразна сетевая архитектура с использованием трехзвенной клиент-серверной технологии. Содержание мостов – это не самостоя-

тельная отрасль, а составная часть путевого хозяйства, и по одной этой причине не может рассматриваться изолировано от других систем, связанных с содержанием железных дорог и путевого хозяйства в целом. Выходная информация, формируемая в одной подсистеме, используется в качестве входной или справочной – в другой. Являясь относительно независимыми, все подсистемы должны быть жестко объединены базами полигона сети железных дорог и нормативно-справочной информации. Архитектура АСУ ИССО v.3 показана на рис. 1.

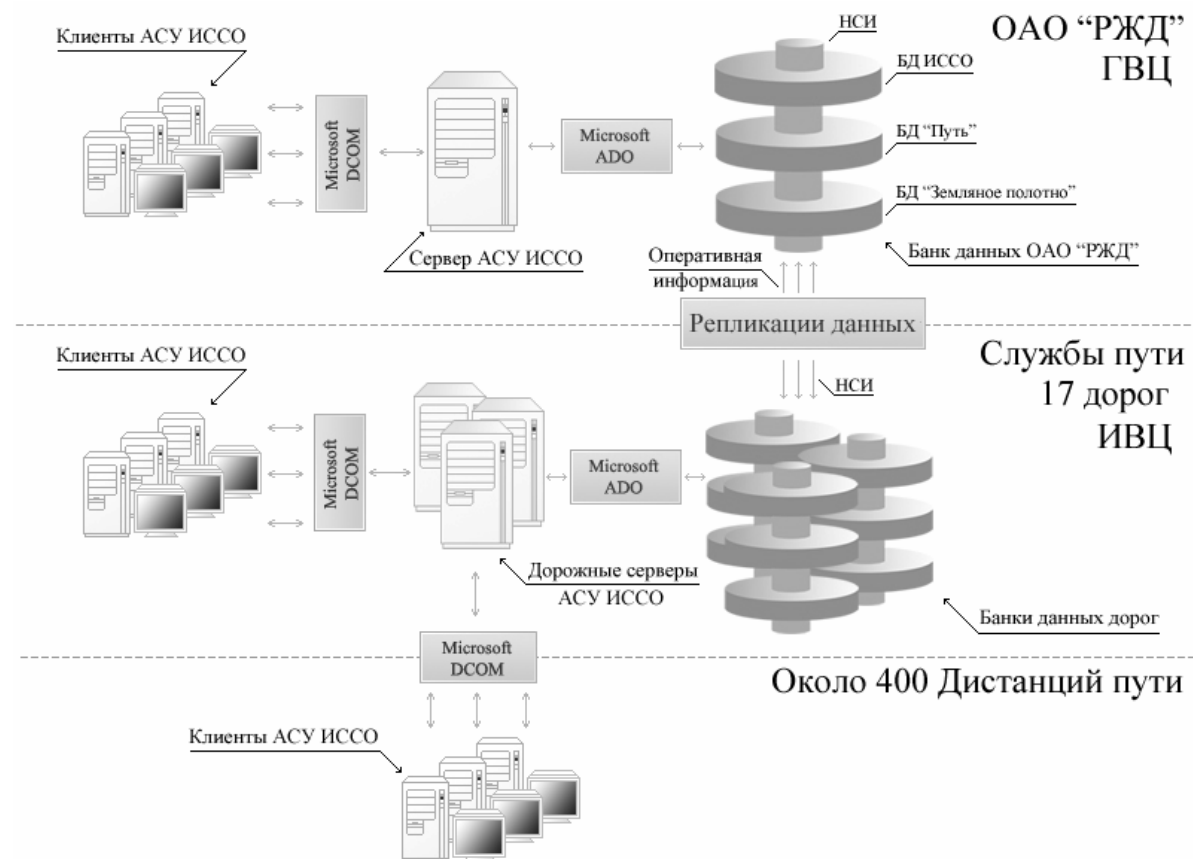


Рис. 1. Архитектура АСУ ИССО

Структура и способы организации данных автоматизированной системы содержания мостов определяются, в первую очередь, соответствующими требованиями головной системы железных дорог к своим подсистемам. Разработчики автоматизированной системы путевого хозяйства (АСУ ПХ) на железнодорожном транспорте прошли долгий путь от разрозненных систем, работающих на базе различных СУБД (систем управления базами данных – Dbase, Paradox, FoxBASE, SQL и др.), до принятия жесткого указания, регламентирующего порядок корректировки структуры базы данных. Изменение структуры баз данных может осуществляться только администратором БД

путевого хозяйства. Все остальные пользователи прав на изменение структуры БД не имеют.

Данные, приведенные выше, показывают, что в настоящее время накоплен более чем 20-летний опыт разработки и внедрения различных автоматизированных информационно-аналитических систем, предназначенных для эксплуатации мостов, труб и других искусственных сооружений на железных, автомобильных и городских дорогах. Анализ приведенных разработок показал, что цель разработки во многом определяет принятые технические и организационные решения, реализованные при ее создании. На наш взгляд, основная цель внедрения новых информационных технологий – это по-

вышение уровня управленческих решений для оптимизации эксплуатационных расходов и обеспечения заданных потребительских свойств искусственных сооружений. Оптимизация расходов может быть достигнута за счет автоматизации планирования ремонтов на основе фактического состояния сооружения и прогноза его изменения. Обеспечение потребительских свойств – за счет автоматизации контроля и оценки технического состояния. Для достижения поставленной цели необходимо решить целый ряд задач. Не останавливаясь на каждой из них, сформулируем две основополагающие.

Первой в этом ряду, несомненно, стоит задача научно-методического обеспечения разработки и внедрения автоматизированной системы по содержанию искусственных сооружений. Такая система создается не только и не столько для подготовки банка данных по карточкам искусственных сооружений (такой взгляд на автоматизированные системы был характерен для 90-х гг.). Автоматизированная система должна быть полноценной составляющей технологического процесса содержания и эксплуатации мостов, начиная с его сдачи в эксплуатацию, а может быть даже раньше – со времени составления технико-экономического обоснования необходимости строительства сооружения и далее на стадиях его проектировки, строительства, эксплуатации и демонтажа или реконструкции. Сообразуясь с современными воззрениями, это должна быть процессно-ориентированная система – отражающая протекающие процессы (контроль состояния, оценка технического состояния, прогноз его изменения, определение условий пропуска временной нагрузки, планирование ремонтных работ и т. д.), а не функции специалиста или организации. В связи с таким подходом должны быть кардинальным образом пересмотрены нормативные документы, ориентированные на «ручную» обработку информации и подготовку соответствующих форм учета и отчетности. Два примера: Министерство путей сообщения РФ еще в 2002 году пересмотрело формы документов первичного учета – карточки на мост, водопропускные трубы и другие искусственные сооружения по причине внедрения АСУ ИССО на всей сети железных дорог России; для рациональной организации осмотров городских транспортных сооружений города Москвы при работе с системой СУМ были созданы совершенно новые формы учета повреждений и дефектов, обеспечивающие их автоматизированный ввод в компьютер.

Однако при выполнении обследований запись обнаруженных неисправностей продолжают выполнять вручную, в произвольном виде, чрезмерно кратко. В лучшем случае заполняются специальные формы, в которых фиксируются результаты визуальных наблюдений, показания приборов и пр. Неправильная интерпретация значения полей заполняемых бланков, ошибки операторов при переносе этой информации в компьютер приводят к значительным искажениям в базе данных. Другая проблема – недостаточная обеспеченность линейных подразделений, занимающихся эксплуатацией искусственных сооружений, средствами диагностики. Если диагностика верхнего строения пути осуществляется с помощью специальной путеизмерительной аппаратуры, то основой оценки технического состояния мостов до сих пор остаются осмотры. Таким образом, важной становится задача приборного обеспечения диагностики искусственных сооружений.

В Сибирском государственном университете путей сообщения разработаны малогабаритные автоматизированные диагностические системы для исследования работы мостовых конструкций. В настоящее время успешно эксплуатируются одноканальная измерительная система «Тензор-М» на базе карманных компьютеров (КПК) из семейства Palm и многоканальная система «Тензор-8.128» на базе Notebook, позволяющие работать с датчиками линейных перемещений, деформаций и вибродатчиками, разрабатываются многоканальные системы, основанные на технологии беспроводной передачи данных Bluetooth.

Внедрение новых информационных технологий позволяет осуществлять эксплуатацию искусственных сооружений на качественно новом уровне. В памяти карманного компьютера хранятся данные по искусственным сооружениям дороги, совместимые с базой данных АСУ ИССО, а также необходимая справочная информация по нормативным документам, регламентирующим вопросы эксплуатации. Измерительный блок системы позволяет диагностировать напряженно-деформированное состояние конструкции под воздействием временной нагрузки с записью получаемых результатов. В результате специалисты, проводящие обследование, получают возможность не только оценить техническое состояние, но и сразу же занести полученные результаты в базу данных КПК с последующей синхронизацией (автоматическим добавлением) в базу данных АСУ ИССО.

Автоматизация работ, выполняемых при обследовании, несомненно, ускорит процесс диагностики и повысит объективность оценки технического состояния сооружений. Если в качестве основного диагностируемого параметра рассматриваем частоту собственных колебаний основного тона, в который входят частоты колебаний с простой формой (одна полуволна) в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также колебания кручения – «боковая качка», то на основании анализа изменения собственных частот колебания конструкции может про-

водиться экспресс-диагностика. Разработанная аппаратура записывает виброграммы колебаний при проходе подвижной нагрузки по сооружению (рис. 2). Спектральный анализ записанного сигнала позволяет выделить частоты собственных колебаний, которые соответствуют пикам на спектрограмме (рис. 3).

Так как одним из самых массовых сооружений на железных дорогах являются железобетонные мосты, то отработка методики экспресс-диагностики осуществляется на примере железобетонных пролетных строений.

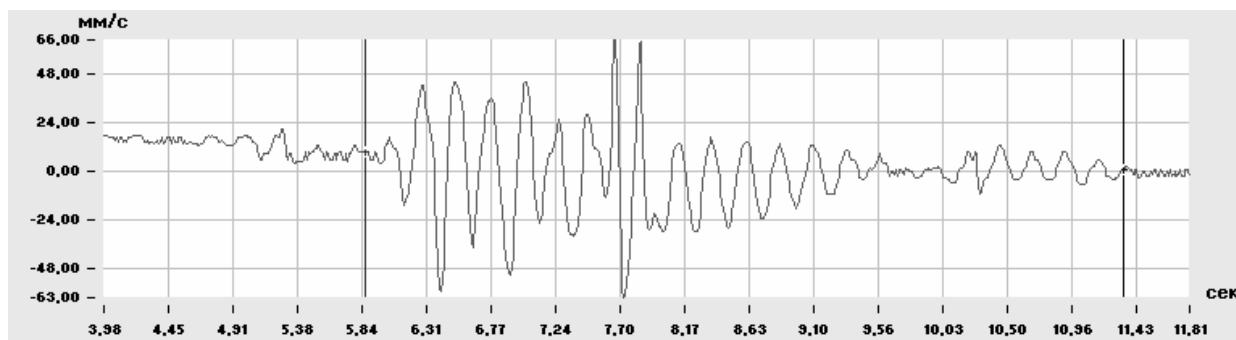


Рис. 2. Пример записи виброграммы колебаний железобетонного пролетного строения

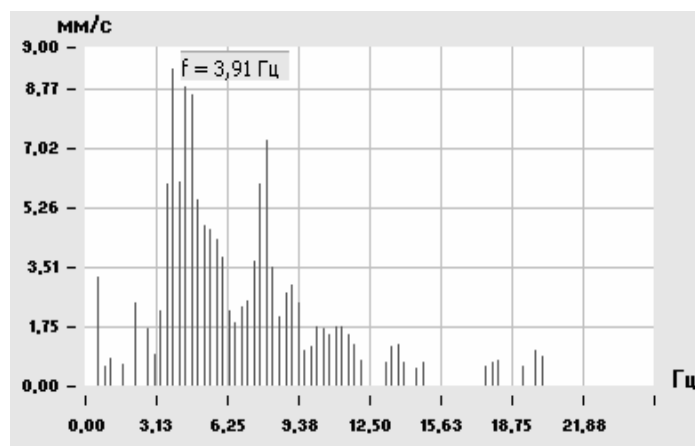


Рис. 3. Пример спектрограммы колебаний железобетонного пролетного строения

Теоретические исследования динамической работы железобетонных конструкций выполнены с использованием метода конечных элементов. Моделирование в конечно – элементной среде Cosmos/m дало возможность учесть влияние неисправностей различного вида (сколы, трещины, различная толщина балластного слоя, коррозионные повреждения материалов конструкции, изменения условий опирания) на динамическую работу конструкции. Проведенные расчеты позволили оценить степень влияния различных факторов на основной диагностируемый параметр. Например, заклинка опорных частей приведет к изменению частот вертикальных колебаний более чем в полтора раза. Существенное влияние на собственные частоты

оказывает изменение толщины балластного слоя (до 10 % при увеличении толщины на 50 см), коррозионные повреждения – до 3 %, менее существенно влияют трещины и сколы – 0,3...1,2 % на каждую неисправность.

Анализ различных моделей позволил создать систему упрощений для задания различных неисправностей. Но следует отметить, что при исследованиях динамической работы пролетного строения для того, чтобы избежать значительных погрешностей в результатах определения частот, необходимо детально задавать арматуру в балках, как показано на рис. 4. Естественно, что такое моделирование потребует существенных затрат времени. Однако их можно избежать, если использовать автомати-

зированный банк данных по типовым пролетным строениям [9], интегрированный в АСУ ИССО. Банк создавался для автоматизации расчетов грузоподъемности железобетонных пролетных строений в соответствии с действующим нормативным документом [10] и содержит всю необходимую для подробного описания конструкции информацию.

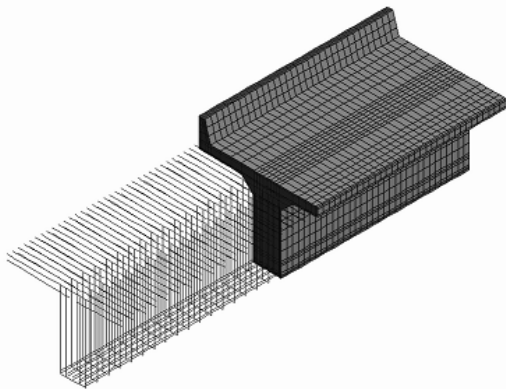


Рис. 4. Конечно-элементная модель балки железобетонного пролетного строения

Таким образом, в результате проведенных исследований созданы предпосылки для внедрения системы экспресс-диагностики технического состояния искусственных сооружений на железных дорогах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hoffman G. Bridge management: computer aided propitiates / Civil Engineering. 1985. – № 6. – С. 62–64.

2. Кахонен А. Регистр мостов и системы менеджмента мостов. Ремонт и содержание мостов: Докл. Российско-финского семинара. – Сургут, 2002. – С. 3–16.
3. Sawicki V. Polish Railway Bridge Management system. Istanbul, 1997. – 36 с.
4. Bien J. Expert Functions in Bridge Managements Systems. Transportation Research Circular, № 498, 2000. – pp. 1–8.
5. Щетинкина Е.Н. Проблемы отраслевого автоматизированного банка данных на современном этапе. // Дороги России XXI века. 2004,– № 12. – С. 42–48.
6. Екимов В. К. Методика и опыт проведения стандартной инспекции мостов / В. К. Екимов, В. Н. Федосеев, Г. С. Бродский и др. // Наука и техника в дорожной отрасли, 2003. – № 4. – С. – 13–17.
7. Астрахан А. Х. Автоматизированная система управления содержанием искусственных сооружений / А. Х. Астрахан, С. А. Бокарев, Н. М. Седова др. // Совершенствование искусственных сооружений на ж.д. Новосибирск, 1989. – С. 5–8.
8. Бокарев С. А. Управление техническим состоянием искусственных сооружений на железных дорогах России на основе новых информационных технологий. – Новосибирск, 2002. – 276 с.
9. Бокарев С. А. Автоматизированный банк данных по железобетонным пролетным строениям железнодорожных мостов / С. А. Бокарев, А. М. Усольцев, Д. Н. Цветков и др. // Научные труды общества железобетонщиков Сибири и Урала. – Новосибирск, 1995. – Вып. 3.– С. 77–81.
10. Руководство по определению грузоподъемности железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов / МПС. – М.: Транспорт, 1989. – 125 с.

Поступила в редколлегию 30.05.2005.