

Эксплуатация автомобильных дорог: пути автоматизации

Полторацкий В.Е., генеральный директор ООО «НИИ Прикладной Телематики»
Кандауров А.А., к.т.н., зам. ген. директора ООО «НИИ Прикладной Телематики» по научной работе
Репин Ю.А., руководитель департамента ООО «НИИ Прикладной Телематики»
Шульгин Г.К., к.э.н., начальник отдела «НИИ Прикладной Телематики»

Статья посвящена проблемам автоматизации процессов контроля состояния сложных инженерных сооружений и прилегающих оползнеопасных геомассивов с использованием современных технологий в интересах организаций, эксплуатирующих объекты автодорожной инфраструктуры.

Для Российской Федерации с размерами её территории, разнообразием геологических и климатических особенностей требования к качеству эксплуатации сооружений, объектов автодорожной инфраструктуры и контролю прилегающих участков местности постоянно возрастают. Особое значение данные вопросы имеют по отношению к сооружениям, вплотную примыкающим или пересекающим как искусственные объекты промышленно-транспортной инфраструктуры, так и естественно-природные образования (реки, участки местности со сложным рельефом, оползнеопасными процессами, сейсмоактивностью и т.п.).

Современная автомобильная дорога представляет собой сложный комплекс, включающий в себя большое количество искусственных сооружений — мостов, эстакад, тоннелей и других сооружений, находящихся в ряде случаев в контакте с оползнеопасными геомассивами (рис. 1). Каждое из таких сооружений представляет собой инженерную конструкцию, эксплуатация которой с одной стороны является обязательным процессом обеспечения требуемого уровня безопасности применения, с другой стороны — сложным комплексом организационно-технических мероприятий поддержания технического состояния, обеспечивающего этот уровень безопасности, а также заданные характеристики качества обеспечения транспортных процессов.

Современный процесс эксплуатации искусственных сооружений автотранспортной инфраструктуры построен по планово-предупредительному принципу. Он подразумевает организацию плановых (как правило, ежегодных) обследований состояния сооружений с измерением параметров состояния ключевых узлов конструкции. Такие обследования требуют привлечения на коммерческой основе специализированных организаций. На основании их отчётов эксплуатирующая организация планирует и осуществляет мероприятия по предупреждению развития негативных для конструкции и потенциально опасных для осуществления транспортных процессов мероприятий.

Такая система, несмотря на её многолетнюю практическую отработанность, обладает серьёзными недостатками. Длительные периоды отсутствия полноценных данных о целостности и напряжённо-деформирующем состоянии



Рис. 1. Дорожное полотно после оползня

элементов конструкции, а также смещениях фрагментов прилегающих оползнеопасных геомассивов и деформаций противооползневых сооружений на самой ранней и потому наиболее важной стадии их развития не позволяют своевременно принимать меры по предупреждению возникновения и развития негативных процессов в конструкции дорожных сооружений. А использование данных периодических обследований приводят к планированию и проведению заведомо более затратных мероприятий по поддержанию их технико-эксплуатационного состояния.

Разрешению указанных противоречий служит система эксплуатации «по фактическому состоянию» объекта. Её организация основывается на построении и применении автоматизированной системы непрерывного дистанционного контроля значений параметров смещений и напряжённо-деформирующего состояния элементов конструкции дорожного сооружения и фрагментов прилегающего оползнеопасного геомассива на основе применения измерительных и датчиковых приборов различных физических принципов (рис. 2). Данные такой системы позволяют специалистам эксплуатирующей сооружение организации обнаруживать негативные процессы на самой ранней стадии их возникновения, что особенно важно в отношении геомассивов и противооползневых сооружений, для которых характерен «лавиный» характер нарастания.

Очевидная на первый взгляд «затратность» оснащения сооружений и геомассивов автоматизированной аппаратурой контроля состояния при детальном анализе с лихвой компенсируется её преимуществами непрерывности контроля и возможностью своевременного и адекватного воздействия на выявляемые процессы. Особенно заметным преимущество указанного принципа становятся на существенном периоде применения.

Так, по расчётам специалистов МАДИ, выполненным в 2012 году и подтверждённым заключением Института системного анализа РАН, применение таких систем на сооружениях и оползнеопасных геомассивах автомобильных дорог одного из наиболее проблемных с точки зрения возведения, эксплуатации и обеспечения безопасности объектов автотранспортной инфраструктуры причерноморского региона может дать положительный эффект от их применения уже на третьем году эксплуатации, а на пятом может дать до 30% экономии средств, затрачиваемых на планово-предупредительную эксплуатацию.

Наиболее «заметными» современными примерами создания и применения таких систем являются мост через залив Гонконга в КНР и мост на остров Русский во Владивостоке. Однако данные сооружения относятся к категории уникальных. Для анализа данных их состояния построены специальные вычислительные центры со штатами специалистов. Такой подход заведомо неприемлем для большого перечня типовых сооружений, где эксплуатирующим организациям необходим совсем иной уровень автоматизации процессов контроля, обеспечивающий работу диспетчерского персонала, не обладающего специальной подготовкой для оперативного анализа потока данных мониторинга с нескольких десятков, а то и сотен датчиков и измерителей с одного из нескольких подконтрольных объектов.

Эта задача должна решаться, во-первых, применением в указанных системах «интеллектуальных» средств мониторинга процессов смещений и деформаций, во-вторых, построением системных программных комплексов в интересах автоматизации процедур фиксирования фактов выхода контролируемых параметров за критерияльно значимые пороговые значения в режиме «норма–тревога–авария», в третьих, обеспечением автоматизированного информацион-



Рис. 2. Оборудование контроля мостового сооружения



Рис. 3. Аппаратура ГНСС



Рис. 4. Трёхосный трещиномер на противооползневом сооружении

Система мониторинга, построенная на основе оптимального комплексирования указанных технологий, способна обеспечить надёжное измерение деформационных смещений с точностью менее 1 см в реальном времени и до нескольких миллиметров при постобработке.



Рис. 5. Скважный инклинометр на оползнеопасном геомассиве

ного обеспечения поддержки принятия решения дежурными службами организации-эксплуатанта. И всё это в комплексе должно обладать качеством тиражирования на обширный перечень объектов автодорожной инфраструктуры, находящихся на разных стадиях жизненного цикла и в разнообразных условиях эксплуатации, определяемых просторами нашей страны.

Максимальной эффективности решения указанных задач можно достигнуть только на основе комплексного применения технологий:

- заблаговременных топогеодезических и инженерно-геологических изысканий;
- высокоточного контроля позиционирования элементов сооружений объектов и прилегающих массивов;
- мониторинга состояния (смещения, ориентации, деформации, напряжения и т.п.) объекта и прилегающих массивов с привязкой соответствующих датчиков к точкам конструкций;
- автоматизированной обработки данных мониторинга, обеспечивающей надёжное и своевременное выделение критических процессов, прогнозирование состояния и его изменений;
- передачи данных о контроле состояния в заданном режиме диспетчерским службам.

На сегодняшний день достигнуты серьёзные результаты в каждом из отмеченных направлений, что делает возможным достаточно быстрое их использование по отдельности. Однако каждая из представленных технологий обладает недостатками и характерными ограничениями, делающими их самостоятельное применение недостаточно эффективным, а зачастую экономически неоправданным.

Система мониторинга, построенная на основе оптимального комплексиро-



Рис. 6. Оборудование контроля пролёта хостинской эстакады

вания указанных технологий, способна обеспечить надёжное измерение деформационных смещений с точностью менее 1 см в реальном времени и до нескольких миллиметров при постобработке.

Задача построения современной автоматизированной системы решается построением необходимых компонент, представляющих собой определенные виды обеспечения. Основу такой системы составляет аппаратно-программное обеспечение, в которое входят:

- специализированная навигационная аппаратура потребителей глобальных навигационных спутниковых систем (НАП ГНСС), ориентированная на задачи высокоточного мониторинга — автономная, автоматизированная, функционально адаптивная и конструктивно интегрированная (рис. 3);
- комплексные средства относительных измерений — тахеометры, инклинометры;
- интеллектуализированное оборудование измерения напряжённо-деформирующего состояния конструкций и фрагментов геомассивов — тензометры, акселерометры, трещиномеры (рис. 4) и т.п.;
- оборудование видеорегистрации обстановки;
- аппаратура регистрации состояния окружающей среды (метеомониторинг).

Высокоточное спутниковое позиционирование элементов конструкции сооружений и фрагментов прилега-



Рис. 7. Метеостанция

ющих оползнеопасных геомассивов обеспечивается ресурсами и возможностями орбитальных группировок ГНСС, постоянно наращивающих свои возможности.

Тахеометры позволяют определять расстояния, высоту, координаты объекта мониторинга по заранее установленным реперным точкам. При измерении отклонений элементов конструкции сооружений данным методом на объекте контроля размещают оптические отражатели и тахеометр на расстоянии 1–5 км от контролируемых объектов. Использование тахеометров существенно сокращает время по обработке измеренных данных и исключает ошибки при расчётах.

Инклинометры представляют собой прибор, измеряющий угол отклонения от вертикальной или горизонтальной оси относительно направления земного притяжения (рис. 5). Современные инклинометры позволяют непосредственно регистрировать угол наклона без применения сложных механических элементов.

Напряжённо-деформирующее состояние элементов конструкции измеряют тензометрами (датчиками силы), акселерометрами, трещиномерами (рис. 6). Тензометры могут быть установлены как на этапе возведения объекта контроля, так и в процессе эксплуатации для измерения осевых деформирующих напряжений. Акселерометры позволяют регистрировать колебания несущих элементов конструкции объекта, вызванные ди-

намическими нагрузками, например от автомобилей, сильного ветра, землетрясений. Трещиномеры позволяют измерять развитие трещин в поперечном или продольных направлениях при развитии сдвиговых процессов в элементах конструкции объекта.

Оборудование видеорегистрации, установленное на объекте, предназначено для визуального контроля причин выхода за заранее установленные пороги измерительными датчиками контролируемых параметров и может служить дополнительным информационным каналом при решении задач по безопасной эксплуатации объекта мониторинга.

Контроль метеорологических параметров осуществляется путём установки в районе объекта небольшой метеорологической станции, измеряющей такие параметры, как атмосферное давление, скорость и направление ветра, температуру окружающей среды, интенсивность атмосферных осадков (рис. 7).

Важнейшим видом обеспечения систем контроля является программное обеспечение, обеспечивающее решение следующих задач:

- автоматизированные сбор и регистрация данных мониторинга состояния сооружений контролируемых объектов;
- формирование сигналов предупреждения о событиях выхода за заранее установленные пределы допустимых значений параметров процессов деформаций и смещений элементов конструкции сооружений объектов и прилегающих геомассивов;
- автоматическое формирование и рассылка установленным пользователям регулярных сообщений о нахождении контролируемых параметров в заданных пределах или срочных протокольных донесений о фактах их превышения;
- автоматический контроль состояния и функционирования в заданных режимах комплексов технических средств контроля, установленных на объекте;
- управление режимами функционирования технических средств контроля, установленных на объекте.

К настоящему времени накоплен существенный опыт решения задач построения таких систем. Наиболее совершенным примером этого может служить решение, реализован-

ное в 2011–2013 годах по заказу Федерального дорожного агентства в части оснащения пилотных объектов автодорожной инфраструктуры на трассе М27 «Джубга-Сочи» в районе реки Хоста оборудованием аппаратно-программных комплексов (АПК) системы контроля деформаций и смещений (СКДС). В ходе проведения работ средствами системы были оснащены участки нижних и верхних подпорных сооружений, фрагмент эстакады с пятой по пятнадцатую опоры и диспетчерский пункт в инженерном корпусе Хостинского тоннеля. Комплекс технических средств системы включает:

- автоматизированный диспетчерский комплекс с системой автоматического формирования сигналов и сообщений о выходе контролируемых параметров за заранее установленные пределы в режиме «норма–тревога–авария»;
- более 20 монтажных шкафов;
- 6 двадцатипятиметровых скважин и 9 двухметровых шурфов для мониторинга состояния оползнеопасных участков геомассивов;
- 13 специализированных автономных вычислителей;
- 19 точек высокоточного спутникового позиционирования ГЛОНАСС/GPS;
- более 120 датчиков высокочувствительного мониторинга процессов деформаций и смещений сооружений эстакады, противооползневых стенок и прилегающих оползнеопасных участков геомассивов, которые установлены от глубины 25 м до высоты 17 м над уровнем земли;
- система электроснабжения всего оборудования АПК с возможностью гарантированного автономного электропитания в течение 15–30 часов;
- около 10 км кабельных трасс, включающих 2,5 км волоконно-оптической линии межобъектовой связи, более 3 км линий электропередач и около 3 км соединительных линий.

Со времени завершения монтажных и пусконаладочных работ (октябрь 2012 года) прошло 1,5

года, и всё это время оборудование АПК СКДС в целом подтвердило свою надёжность и эффективность.

Основной особенностью создаваемого решения является его способность к последующему наращиванию на основе унифицированного соединения «объектовый комплекс — диспетчерский комплекс», обеспечивающего тиражирование данного решения и построение на его основе многообъектовых систем — один диспетчерский комплекс в состоянии контролировать состояние до 20 удалённых от него объектов комплексов. На базе такого соединения возможно построение различной ёмкости локальных, региональных, корпоративных и ведомственных систем мониторинга, включая стратегические транспортные коридоры и узлы.

Контроль измеряемых параметров на предмет выхода за установленные пороговые величины может автоматизировано осуществляться как на объекте, так и на диспетчерском пункте (рис. 8). Контроль на объекте реализуется объектовым вычислительным устройством, к которому может быть подключено оборудование световой, звуковой сигнализации для информирования о сложившейся внештатной ситуации на объекте. Выход контролируемых параметров за установленные пороговые значения на автоматизированном рабочем месте диспетчера осуществляется специализированным программным обеспечением, которое позволяет в автоматическом режиме отсылать на заранее заданные адреса сообщения о тревожной, опасной ситуации на объекте мониторинга, выводить на экран диспетчера детальную справочную информацию о техническом состоянии объектов мониторинга, осуществлять алгоритмическую

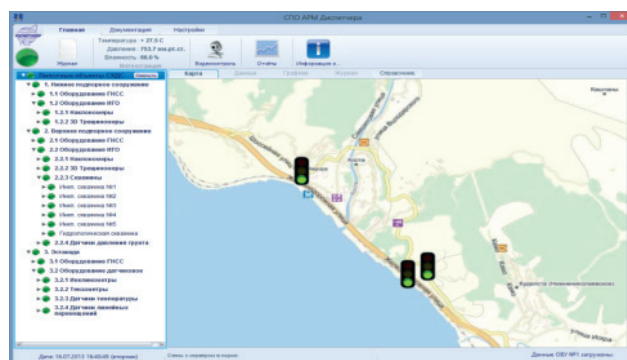


Рис. 8. Экранная форма программного обеспечения по контролю за состоянием инженерных сооружений

Основной особенностью создаваемого решения является его способность к последующему наращиванию на основе унифицированного соединения «объектовый комплекс — диспетчерский комплекс»

поддержку принятия решений и протоколирование предпринимаемых действий.

Высокий уровень адаптивности информационного потока, требуемого для реализации этого интерфейса, обеспечивается автоматизацией обработки всей датчиковой и измерительной информации в объектовом вычислительном устройстве и оперативной передачей только сигналов интегральной оценки состояния объекта по принципу «норма–тревога–авария» с указанием кода датчика или измерителя, «выдавшего» тревожную или аварийную информацию. При этом полный поток измерительной информации с объекта в нештатной ситуации будет передаваться по запросу диспетчера, а при нормальном состоянии объекта — в наиболее благоприятное с точки зрения загруженности каналов связи время суток.

В настоящее время Министерством транспорта РФ задаются НИОКР в рамках Федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы», проводятся НИОКР по созданию автоматизированных систем контроля состояния грунтов («Геодинамика–Дорога») и деформаций и смещений искусственных сооружений («Геодинамика–Мост») на автомобильных дорогах с использованием спутниковых навигационных технологий ГЛОНАСС/GPS. Данные работы посвящены решению проблемы получения системотехнических решений, тиражируемых на объектах автодорожного комплекса по всей территории страны.

По сравнению с АПК СКДС трассы 194–196 км М27 «Джубга–Сочи» предполагаемые к созданию в указанных ОКР системы обладают рядом отличий, к основным из которых относятся:

- иерархическая структура систем, обеспечивающая представление информации о состоянии объектов для организаций всех уровней управления инфраструктурой автодорожного комплекса страны вплоть до федерального уровня;

- возможность применения АПК систем на всех стадиях жизненного цикла объектов автодорожной инфраструктуры от проектно-изыскательских работ, строительства и испытаний объектов до их эксплуатации и обеспечения работ по поддержанию технико-эксплуатационного состояния вне зависимости от их текущего состояния;

- обеспечение вариативности состава измерительного и датчикового оборудования объектового уровня систем с возможностью его оперативного изменения в зависимости от этапа стадии жизненного цикла контролируемого объекта;

- построение комплексов высокоточного позиционирования по сигналам ГНСС ГЛОНАСС/GPS в различных вариантах обработки данных позиционирования, адаптируемых под условия размещения контролируемых объектов и диспетчерских служб организаций-эксплуатантов;

- широкое применение технологий 3D цифрового математического моделирования, дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и ГИС-технологий;

- обеспечение возможности текущей оценки интегрального состояния объекта по заданным критериям уровня технического состояния (УТС) и уровня безопасности (УБ) и с использованием корреляционных функций различных физических процессов в конструкции сооружения;

- децентрализованного построения системы энергообеспечения на основе использования энергосберегающих технологий вплоть до автономного электропитания оборудования;

- применение беспроводных систем информационного обмена как на объекте контроля, так и на межобъектовых (межуровневых) интервалах систем.

В ходе выполнения указанных этапов НИР были выработаны четырёхуровневые структуры систем с организацией верхнего (ведомственного) уровня непосредственно в Росавтодоре.

Разработанными проектами ТЗ на выполнение ОКР по созданию систем

предусмотрено построение нижнего (объектового) уровня в составе стационарного и мобильного комплексов с распределением функциональных задач мониторинга состояния автодорожных объектов, противооползневых сооружений и прилегающих участков оползнеопасных геомассивов на всех стадиях жизненного цикла сооружений автодорожной инфраструктуры от проектно-изыскательских работ, строительства и испытаний объектов до их эксплуатации и обеспечения работ по поддержанию технико-эксплуатационного состояния.

Выполнение указанных ОКР в заданные ФЦП ГЛОНАСС сроки позволит получить решения, пригодные для тиражирования в ходе выполнения мероприятий по оснащению объектов автодорожной инфраструктуры страны, выполнение которых предусмотрено ФЦП ГЛОНАСС в период с 2017 по 2020 годы. ■

Литература:

1. Билялова Л.Р., Казакова Э.В., Ситшаева З.З. Техническая организация автоматизированной системы мониторинга оползневых процессов // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета, Выпуск 36, Технические науки. Симферополь: НИЦ КИПУ. 2011. С. 121–126.
2. Осипов В.И., Кутепов В.М., Зверев В.П. и др. Опасные экзогенные процессы / Под ред. В. И. Осипова. М.: ГЕОС. 1999. 290 с.
3. Шарапов Р.В. Мониторинг экзогенных процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. №2. С. 39–42.