

Принципы построения систем деформационного мониторинга сооружений и оползнеопасных участков автодорог

Масштабы территории Российской Федерации с учетом разнообразия ее геологических и климатических особенностей предъявляют особые требования к качеству эксплуатации объектов дорожной инфраструктуры и контролю прилегающих участков местности. В особенности это касается сооружений, вплотную примыкающих или пересекающих как искусственные объекты промышленно-транспортной инфраструктуры, так и естественно-природные образования со сложным рельефом, оползнеопасными процессами, повышенной сейсмоактивностью и т. п. Внешне незаметные процессы смещения, изменения ориентации и напряженно-деформирующего состояния элементов конструкции и прилегающих природных и искусственных землеобразований могут стать причиной нарушения целостности сооружения и привести к созданию аварийной ситуации, влекущей тяжелые последствия и многомиллионные затраты на проведение восстановительных работ. Центральную роль в обеспечении безопасной и эффективной эксплуатации таких объектов играет надежная система контроля состояния элементов конструкции сооружений и стабильности прилегающих к ним оползнеопасных геомассивов.

**Виталий Полторацкий
Сергей Шатунов
Юрий Репин
Леонид Хватов**

В отечественной и мировой практике для контроля параметров процессов, определяющих стабильность и эксплуатационную пригодность инженерных сооружений дорожной инфраструктуры,

используется аппаратура, обеспечивающая измерение требуемых параметров с заданной точностью во всем спектре подлежащих контролю процессов. В силу уникальности конструкции и условий эксплуатации каждого объекта с этой целью используются или даже разрабатываются специализированные комплексы диагностических и измерительных средств. Контроль состояния объекта с их помощью осуществляется специалистами с периодичностью, определяемой накопленным опытом и учетом специфики размещения и напряженности эксплуатации объекта, и сводится к анализу полученных в ходе измерительной сессии данных и последующему осуществлению различных мероприятий, носящих планово-предупредительный и зачастую не вполне обоснованно затратный характер.

Существенной проблемой при организации контроля состояния объектов становится обеспечение надежного и своевременного информирования об опасных ситуациях и динамике их развития, так как традиционный подход не исключает в период между измерительными сессиями возникновения и развития неконтролируемых процессов, ставших следствием аномальных природных явлений или скрытых дефектов конструкции и опасной динамики геомассивов (рис. 1).



Рис. 1. Пример оползневого повреждения участка автодороги

Решение проблемы заключается в создании автоматизированных комплексов непрерывного мониторинга состояния контролируемых объектов, обеспечивающих оперативное отслеживание критически важных процессов, развивающихся в элементах конструкции и прилегающих геомассивах.

В силу индивидуальности каждого контролируемого объекта в мировой практике системы постоянного контроля состояния объектов промышленно-транспортной инфраструктуры строятся по двум основным принципам. В первом случае это создание автоматизированных комплексов ограниченной номенклатуры измерительных и датчиковых средств, базирующихся на геодезических методах контроля положения (позиционирования) выбранных элементов. При другом подходе создаются уникальные многопараметрические измерительные системы, требующие для обработки и анализа получаемых больших массивов данных использования специализированных вычислительных центров с соответствующим штатом высококвалифицированного персонала. Но в обоих случаях вопрос построения полностью автоматизированных систем мониторинга с комплексным применением технологий топогеодезических и инженерно-геологических изысканий, спутникового навигационного позиционирования и контроля напряженно-деформирующего состояния элементов сооружений объектов и прилегающих геомассивов, автоматизированной

обработки и передачи данных мониторинга в диспетчерский центр, обеспечивающий оперативные оценки и прогнозирование изменений состояния объекта персоналом, не имеющим специальной подготовки, не решен.

Основным средством повышения эффективности применения систем оперативного мониторинга объектов является обеспечение своевременного и максимально автоматизированного получения всесторонней информации о динамике развития потенциально опасных процессов за счет комплексного подхода к использованию как традиционных методов измерений (напряженно-деформирующего состояния элементов конструкций и фрагментов геомассивов), так и средств высокоточного позиционирования с использованием глобальных навигационных систем ГЛОНАСС/GPS, а также с параллельным контролем данных о состоянии окружающей среды (метеомониторинг) и визуальным (видео) контролем обстановки на объекте.

Системотехническое комплексирование применяемых аппаратно-программных средств и их эффективная программно-алгоритмическая интеграция представляют собой самостоятельную инженерную задачу, получившую к настоящему времени свое разрешение только на отдельных, зачастую уникальных сооружениях (мост через залив в Гонконге, мост на остров Русский во Владивостоке и т. п.). Поэтому создание максимально унифицированной системы

контроля состояния эксплуатируемых сооружений и прилегающих участков местности представляет актуальную задачу, решение которой заключается в интегральном применении широкого спектра технологий, обеспечивающих оперативный, автоматизированный и достоверный дистанционный мониторинг объектов дорожной инфраструктуры с прилегающими к ним массивами местности, а также своевременное принятие персоналом эксплуатирующих организаций, не обладающим специализированными навыками и подготовкой, упреждающих мер по обеспечению безопасности эксплуатируемых сооружений. Структурная схема системы контроля деформаций и смещений представлена на рис. 2.

По заказу Федерального дорожного агентства компания «М2М телематика» выполнила работы по оснащению пилотного объекта на трассе Джубга — Сочи в районе реки Хоста оборудованием аппаратно-программных комплексов (АПК) системы контроля деформаций и смещений (СКДС). При этом автоматизированным мониторингом охвачены две противоположные стенки (рис. 3) и участок выше расположенного оползнеопасного геомассива, а также фрагмент Хостинской эстакады с 5 по 15 опоры. Информация мониторинга выводится на диспетчерский АРМ вычислительного комплекса инженерного корпуса Хостинского тоннеля.

В состав развернутой на пилотных объектах системы в целом входят четыре объекта

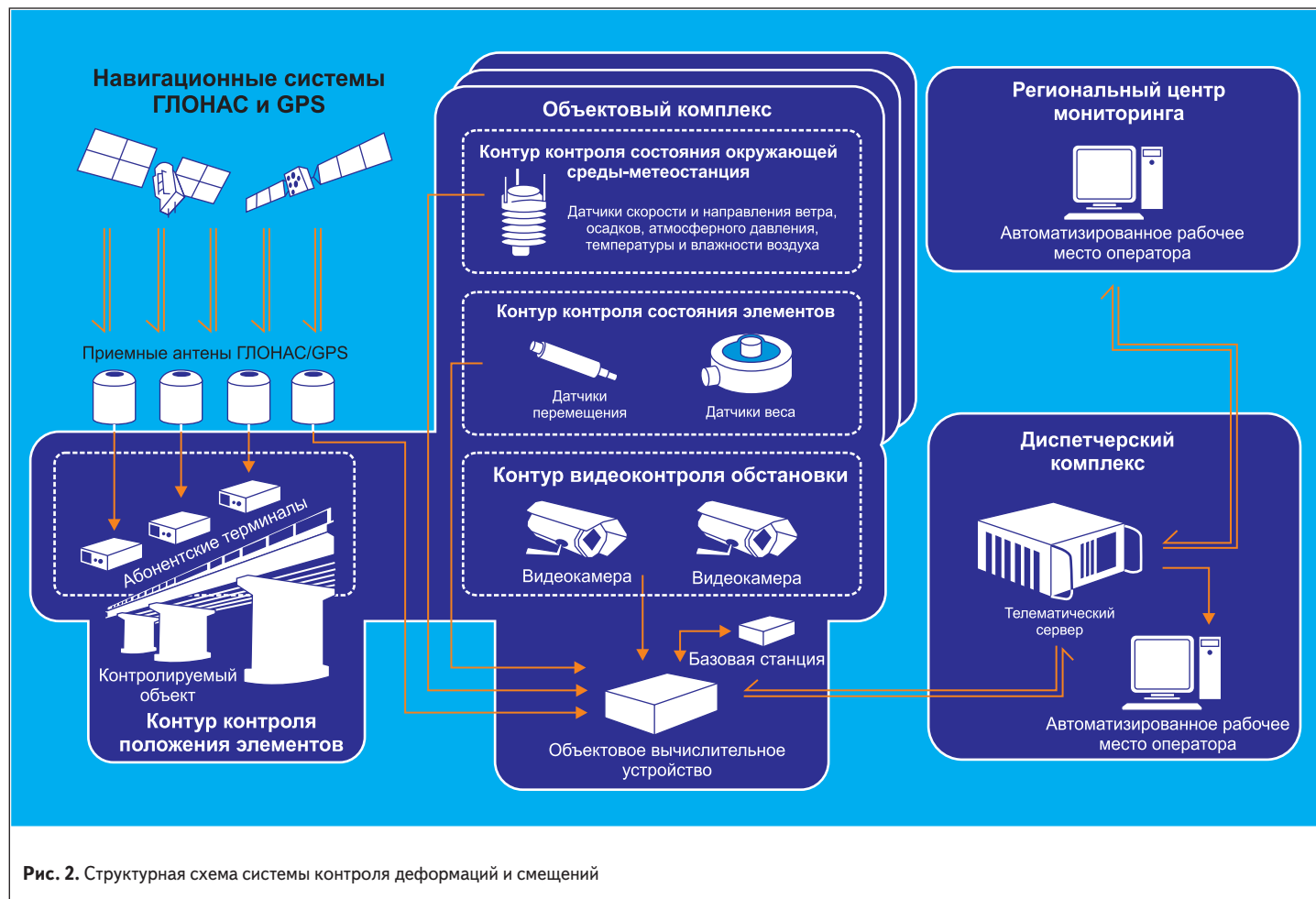


Рис. 2. Структурная схема системы контроля деформаций и смещений



Рис. 3. Монтаж противооползневой стенки



Рис. 4. Противооползневые сооружения, смонтированные на трассе Джубга — Сочи (будущие пилотные объекты АПК СКДС)



Рис. 5. Оборудование АПК, смонтированное на пилотном объекте СКДС (слева — монтажные шкафы с телематическим оборудованием объектового комплекса, справа — датчики относительного смещения элементов конструкции противооползневой сооружения)

автоматизации автодорожного комплекса (рис. 4–6), включающие:

- автоматизированный диспетчерский комплекс с системой автоматического формирования сигналов и сообщений о выходе контролируемых параметров за заранее установленные пределы в режиме «норматревога-авария»;
- более 20 монтажных шкафов;
- шесть 25-м скважин и девять двухметровых шурфов для мониторинга состояния оползнеопасных участков геомассивов;
- 13 специализированных автономных вычислителей;
- 19 точек высокоточного спутникового позиционирования ГЛОНАСС/GPS;
- более 100 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 ч;
- почти 10 км кабельных трасс, включающих:
 - 2,5 км волоконно-оптической линии межобъектовой связи;
 - более 3 км линий электропередачи;
 - около 3 км соединительных линий.

В настоящее время АПК пилотных объектов СКДС проходят этап опытной эксплуатации.

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



Рис. 6. Шкафы с телематическим оборудованием, смонтированные на 10-й опоре Хостинской эстакады

петчерский комплекс», обеспечивающего тиражирование данного решения и построение на его основе многообъектовых систем: один диспетчерский комплекс в состоянии контролировать состояние до 20 удаленных от него объектов комплексов. На базе такого соединения возможно построение различной емкости локальных, региональных, корпоративных и ведомственных систем мониторинга, включая стратегические транспортные коридоры и узлы.

Специфика эксплуатации автодорожных объектов диктует спектр необходимых и зачастую противоречивых требований к измерительному, датчиковому и вспомогательному оборудованию объектового комплекса, которое должно обладать как высокой чувствительностью к изменениям контролируемых процессов, так и устойчивостью к резким изменениям условий функционирования. При этом должны быть соблюдены как высокий уровень автоматизации процессов контроля, так и удобство обслуживания в обслуживании эксплуатирующим персоналом.

Контроль измеряемых параметров на предмет выхода за установленные пороговые величины может автоматизированно осуществляться как на объекте, так и на диспетчерском пункте. Контроль на объекте реализуется объектовым вычислительным устройством, к которому может быть подключено оборудование световой и 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 его техническом состоянии, осуществлять алгоритмическую поддержку принятия решений и протоколирование предпринимаемых действий (рис. 7, 8).

Учет имеющейся в соответствующем регионе телекоммуникационной инфраструктуры выдвигает к этому интерфейсу требования функционирования как по проводным трактам, так и по беспроводным каналам общедоступной сотовой или специально организуемой связи. 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 «норматревога-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 нагруженности каналов связи время суток (рис. 9, 10).

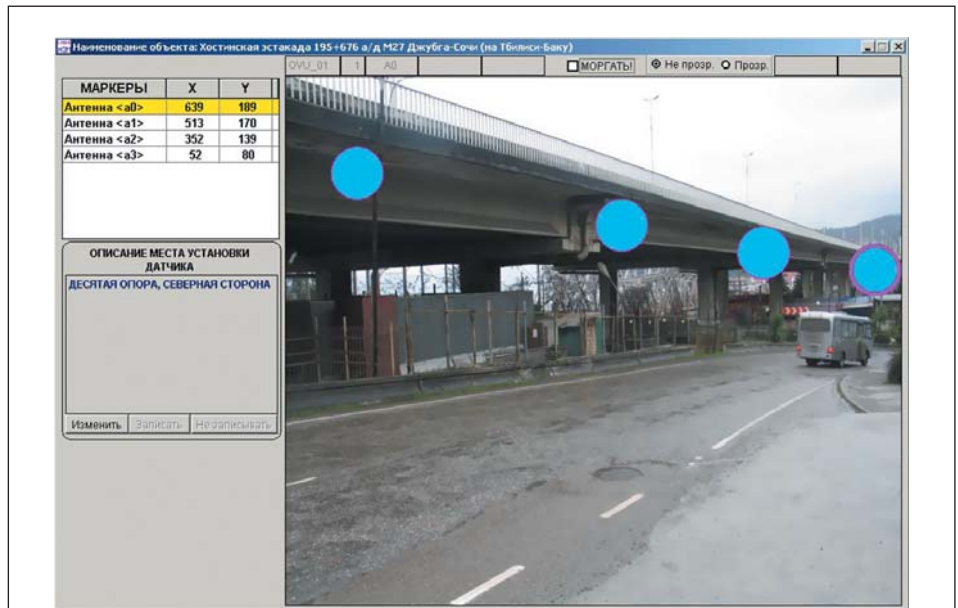


Рис. 7. Пример представления основной информации на экране диспетчера

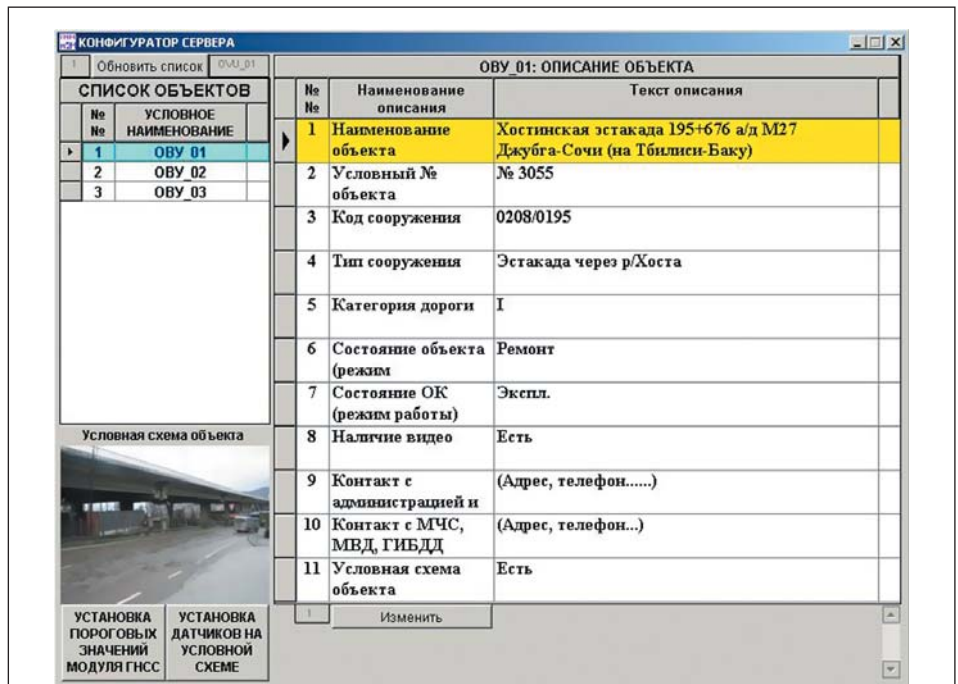


Рис. 8. Пример вспомогательной и справочной информации на экране диспетчера



Рис. 9. Приемные антенны сигналов ГЛОНАСС/GPS



Рис. 10. Интегральное приемное устройство сигналов ГЛОНАСС/GPS

В планах компании совершенствование реализованных решений в менее затратной при развертывании и оснащении беспроводной форме с автономными по питанию и связи измерительными комплектами.

Внедрение разрабатываемой автоматизированной системы мониторинга объектов автодорожной инфраструктуры и прилегающих оползнеопасных геомассивов, по предварительным оценкам экспертов, в состоянии обеспечить:

- снижение издержек при эксплуатации объектов за счет прогноза состояния сооружений до 10%;
- снижение затрат на проведение ремонтно-восстановительных работ до 15%;

- повышение оперативности получения данных об аварийной ситуации на объекте до 25%;
- автоматизацию контроля, снижение затрат эксплуатирующей организации при оценке напряженно-деформированного состояния сооружений на 15%;
- повышение безопасности промышленно-транспортных процессов за счет предупреждения аварийной обстановки и выявления запредельных режимов нагрузки на объектах до 10%.

К потенциально благоприятным предпосылкам решения поставленной задачи можно отнести:

- развитый сегмент оборудования спутниковой навигации (как ГЛОНАСС, так и других систем), обеспечивающий точности контроля положения с точностью менее 1 см в плане и до 1,5 см по вертикали практически по всей территории страны;
- широкий ассортимент высокоточного оборудования контроля наклона, смещения, деформаций, механических напряжений и т. п., обеспечивающий получение необходимых данных мониторинга;
- насыщенный рынок телекоммуникационного и компьютерного оборудования, обеспечивающего необходимый информационный обмен по различным системам и сетям связи и высокоэффективную автоматизированную обработку данных.

Кроме того, ведомственная специфика автодорожного комплекса в свою очередь позволяет рассчитывать на сравнительно эффективное решение весьма важных частных задач обеспечения информационного обмена по собственным ведомственным и межобъектовым

трактам и каналам связи и электропитания оборудования объектового комплекса за счет имеющихся на контролируемом сооружении ресурсов электроэнергии.

Проводимые Федеральным дорожным агентством работы по созданию автоматизированных информационных систем широкого профиля в свою очередь создают предпосылки для построения широкомащтабной ведомственной автоматизированной системы мониторинга состояния объектов автодорожной инфраструктуры с формированием комплексных баз данных и систем разграничения доступа к информации на уровнях:

- локальной совокупности объектов одной зоны;
- корпоративных и региональных зон;
- федерального ведомства.

Дальнейшее внедрение систем деформационного мониторинга с использованием перспективных цифровых технологий в практику организаций и предприятий автодорожного комплекса страны предполагает создание аппаратно-программных средств, обеспечивающих применение современных технологий навигации, геодезии, геологических изысканий, дистанционного зондирования земли, геоинформационных систем, связи, компьютерной обработки и автоматизированного управления со сквозным применением цифрового моделирования местности, рельефа, сооружений на всех стадиях жизненного цикла объектов от инженерно-геодезических и геологических изысканий до проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта. ■