

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО РАДИОКАНАЛУ В СИСТЕМАХ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Д.В. Ефанов (ООО «Мостовое бюро», ФГБОУ ВО ПГУПС),
Г.В. Осадчий, Д.В. Седых, Д.Н. Пристенский (ООО «Мостовое бюро»)

Рассматриваются особенности организации сети передачи данных в системах непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры. Описываются особенности разработанного авторами протокола передачи данных в сети, работающей с использованием радиоканала с согласованной частотой 868,7 МГц. В настоящее время это первая система мониторинга на пространстве дорог ОАО «РЖД», использующая радиоканал для передачи данных с удаленных объектов диагностирования в концентраторы линейных постов.

Ключевые слова: железнодорожная инфраструктура; контактная подвеска; непрерывный мониторинг; сеть передачи данных; протокол передачи данных.

Введение

Для обеспечения высокого уровня отказоустойчивости систем управления ответственными ТП часто применяются технические средства непрерывного мониторинга. Их использование позволяет существенно снизить влияние человеческого фактора на процессы эксплуатации и технического обслуживания элементов и узлов систем управления. Более того создается возможность прогнозирования технического состояния и предупреждения развивающихся в них отказов.

Активно развиваются технические средства непрерывного мониторинга и на железнодорожном транспорте: ими снабжаются как подвижные технические единицы, так и объекты инфраструктуры железнодорожного комплекса [1–3]. Особенно актуально использование непрерывного мониторинга тех объектов, которые не имеют 100% резервирования, так как при их отказах снижается качество перевозочного процесса. При этом последствия отказов могут быть самыми разными: от снижения пропускной и провозной способности участка до возникновения грубых нарушений требований безопасности и создания условий для допущения аварий и катастроф.

В структурной схеме систем непрерывного мониторинга, как правило, выделяется несколько уровней: сбора диагностической информации, передачи данных в концентраторы информации линейных и центральных постов, а также анализа диагностической информации [4]. Поскольку объекты инфраструктуры железнодорожного комплекса географически рассредоточены, при установке измерительных датчиков требуется обеспечить надежную передачу получаемой диагностической информации в концентраторы, расположенные, как правило, на близлежащих станциях. Для этих целей, например, в сфере железнодорожной автоматики и телемеханики используют уже проложенные кабельные линии [5]. Однако совершенствование технологий мониторинга с развитием методов получения диагностической информации в большом числе контрольных точек не подразумевает применение кабельных сетей — это неудобно и неэффективно. По заданию старшего вице-президента ОАО «РЖД» В.А. Гапановича в 2011 г. специалистами ООО «Мостовое бюро» была разработана система непрерыв-

ного мониторинга, использующая в качестве тракта передачи диагностической информации радиоканал со специально выделенной частотой сигнала [6]. Перед тем, как найти оптимальное техническое решение, отвечающее жестким современным требованиям, предъявляемым отечественным IT-продуктам, проведено множество испытаний. Это позволило получить полностью отечественный продукт, который может быть эффективно использован на пространстве железных дорог Российской Федерации. Для надежной передачи информации в нем использован собственный протокол, который можно применять и в составе любых систем мониторинга объектов инфраструктуры железнодорожного комплекса как в действующих и совершенствующихся (например, АПК-ДК [7]), так и во вновь разрабатываемых.

Данная статья раскрывает особенности организации разработанной авторами сети передачи данных в системах непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры ОАО «РЖД».

Система мониторинга

В разработанной системе непрерывного мониторинга объектом диагностирования является железнодорожная контактная подвеска [8]. Данное техническое сооружение предназначено для передачи тягового тока на подвижные единицы, функционирует в тяжелых условиях (резкие изменения температуры воздуха, ветровые нагрузки, снегопады и т.д.) и не имеет резерва. Железнодорожная контактная подвеска рассредоточена вдоль железнодорожных линий и имеет специальную конструкцию, предполагающую ее секционирование на анкерные участки. По протяженности электрифицированных линий Россия занимает первое место в мире (электрифицировано 43,4 тыс. км железнодорожных линий). Тем не менее для поддержания отказоустойчивости контактной подвески в России используются мероприятия только по ее ручному техническому обслуживанию и периодическому мониторингу.

Повышение скоростей перемещения грузов и пассажиров диктует необходимость более высокого уровня надежности и создания систем непрерывного мониторинга. Для этого на протяженном объекте

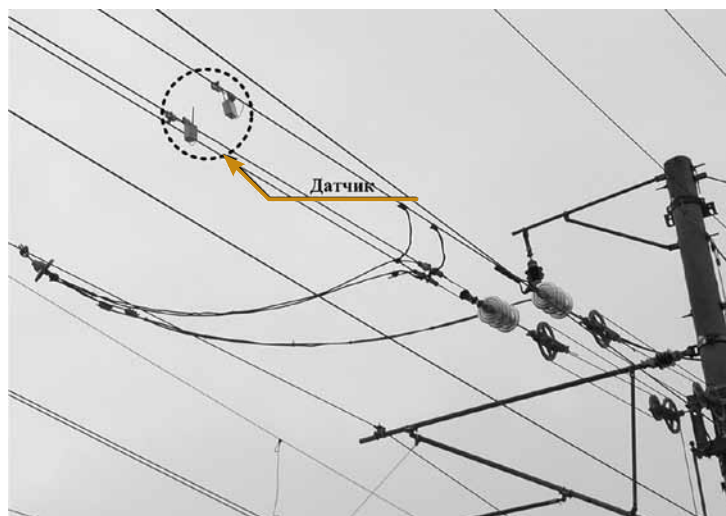


Рис. 1. Диагностический прибор, установленный на объекте диагностирования

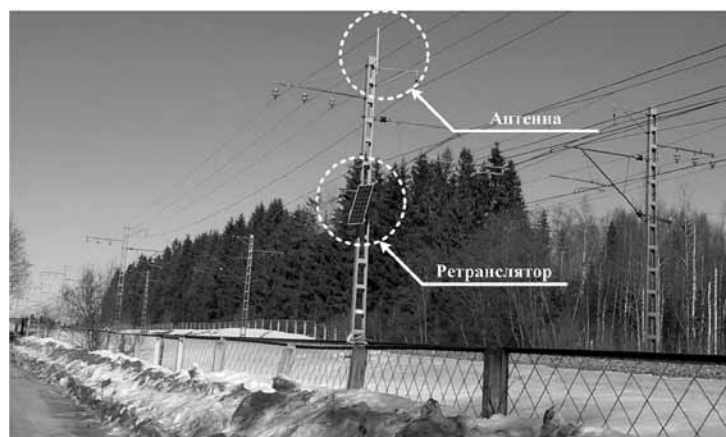


Рис. 2. Устройства передачи данных в сети системы непрерывного мониторинга контактной подвески

диагностирования требуется установка в контрольные точки специализированных датчиков. В системе непрерывного мониторинга контактной подвески объектами мониторинга являются тросы, провода, изоляторы, опоры контактной сети и т.д. В настоящее время реализованы мероприятия по контролю механического натяжения несущего троса и контактного провода (на основе датчиков тензометрии), а также их вибродиагностика (на основе акселерометров). Это потребовало разработки специального диагностического прибора (датчика), устанавливаемого в разные контрольные точки, удаленные друг от друга на большие расстояния (рис. 1), а также создания сети передачи получаемых диагностических данных.

Особенности построения сети передачи данных

При организации сети передачи данных возникла необходимость выбора радиочастоты. До сих пор радиоканал для передачи данных в ОАО «РЖД» использовался только в системе автоматической идентификации подвижного состава «Пальма» (частота 869 МГц). Использование радиоканала в системах

непрерывного мониторинга в ОАО «РЖД» до 2012 г. было запрещено.

В 2012 г. службой электрификации и электроснабжения Октябрьской дирекции железнодорожной инфраструктуры был инициирован запрос на использование частоты 868 МГц для реализации уровня передачи данных в системе непрерывного мониторинга контактной подвески на участке высокоскоростного движения Санкт-Петербург — Москва. Центральной станцией связи был сделан вывод о том, что требуется разрешение на использование данной частоты, так как требуется экспертиза о возможности использования районных электрических сетей и об их электромагнитной совместимости с действующими сетями и объектами инфраструктуры. Главным инженером Центральной станции связи — филиала ОАО «РЖД» тем не менее был предложен диапазон частот 868,7...869,2 МГц, использование которого не требует разрешений при эффективной излучаемой мощности до 25 мВт. При этом, однако, потребовалось обеспечение электромагнитной совместимости с системой «Пальма», работающей на радиочастоте 869 МГц, а также согласование выбора частоты с Управлением автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры (это необходимо, так как микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики подвержены воздействию кондуктивных помех). Окончательным вариантом радиочастоты была выбрана величина 868,7 МГц.

В первой тестовой версии системы передачи данных был использован стандарт передачи данных IEEE 802.15.4 и спецификация ZigBee.

Организацию передачи данных в системах непрерывного мониторинга таким образом используют на зарубежных железных дорогах [9]. Сетью было охвачено четыре анкерных участка, на тросах и проводах которых были установлены диагностические приборы. Несмотря на заявленные высокие характеристики по энергетической эффективности, скорости передачи данных, возможности самоорганизации топологии сети, использование спецификации ZigBee в составе системы непрерывного мониторинга контактной подвески привело к возникновению ряда проблем, основными из которых стали:

- высокие энергетические затраты на выход устройств из режима «сна»;
- длительное время установления соединения между устройствами при работе в режиме «сна»;
- ограничения топологии сети (по стандарту возможно создание трех групп устройств: координаторы (ZC), маршрутизаторы (ZR) и конечные устройства (ZED), — в ZigBee «жестко» установлено, какой объект относится к той или иной группе и невозможна реконфигурация при отказах);

– невозможность организации передачи между конечными устройствами (диагностическими приборами) и дальнейшей передачи на узлы связи.

Эти и другие проблемы были решены при разработке собственного протокола передачи данных. Новый протокол позволил улучшить энергетическую эффективность сети, повысить ее живучесть и уменьшить время передачи диагностической информации от датчика к концентратору данных линейного поста. Ниже представлены особенности сети передачи данных, функционирующей с новым протоколом:

- средняя потребляемая мощность составляет 100 мкВт/ч;
- дальность связи (в зависимости от условий видимости и профиля пути) — до 3 км;
- высокая энергетическая эффективность датчиков (до 1,5 лет работы от автономных источников питания при температуре –30...50 °С);
- практически неограниченное время работы датчиков при использовании комбинированного питания от солнечных батарей (как для датчиков системы, так и для ретрансляторов);
- автоматический выбор оптимального маршрута потока данных;
- автоматический выбор мощности передачи;
- возможность управления, конфигурации и обновления прошивки каждого устройства сети «по воздуху»;

Реальный ключ к успеху заключается в правильно подобранных приложениях энтузиазма.
Юлтер Крайслер

- возможность использования нескольких координаторов сети с их динамическим подключением/отключением;
- возможность выполнения роли маршрутизатора каждым устройством сети (с повышением энергозатрат);
- реконфигурация типа устройства в сети при наличии отказов ее составляющих;
- настройка маршрутов передачи данных до концентраторов системы по различным сценариям: через ретрансляторы сигнала, соседние датчики, напрямую к концентратору и т.д.;
- автоматическое динамическое перестроение маршрутов в случае отказа отдельных узлов сети (возможна отправка данных через соседние ретрансляторы и даже через соседние датчики, которые временно становятся ретрансляторами для передачи сообщений);
- настраиваемые приоритеты сообщений в системе: авария, диагностирование системы, обновление программного обеспечения;
- гарантированная передача сообщений между устройствами (все пакеты данных передаются с подтверждением приема);

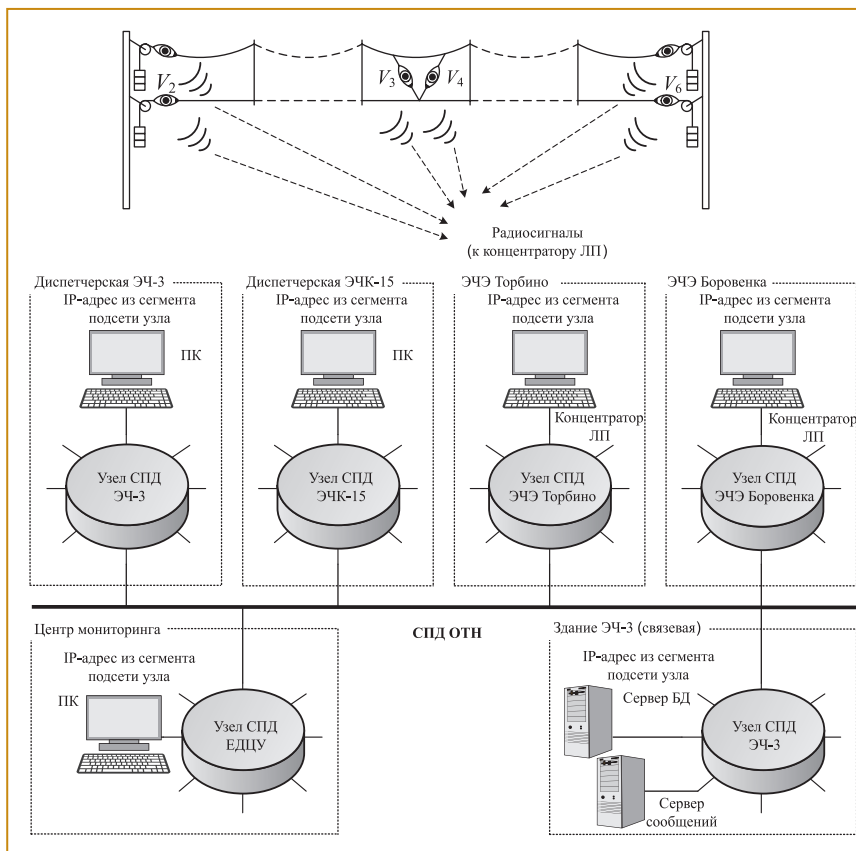


Рис. 3. Сеть передачи данных в системе непрерывного мониторинга контактной подвески

– обновление ПО аппаратных средств системы в полностью автоматическом режиме;

– непрерывный мониторинг аппаратных средств самой системы, уровней сигнала, характеристик среды радиопередачи.

Скорость передачи данных в новом протоколе позволяет собирать диагностическую информацию, реализуя непрерывный мониторинг, а также обновлять ПО примерно для 250 датчиков с использованием двух концентраторов. При этом благодаря возможности выполнения датчиком роли «ретранслятора» можно организовывать сеть передачи данных на большие расстояния.

Таким образом, разработанный протокол передачи данных позволил решить задачу «доставки» диагностической информации с децентрализованных и удаленных на большие расстояния датчиков по радиоканалу. В системах непрерывного мониторинга на пространстве российских железных дорог это было сделано впервые!

Данные от диагностических приборов Vi с каждого анкерного участ-

ка передаются по радиоканалу с частотой 868,7 МГц в концентратор линейного поста, расположенный на близлежащей станции. Передача в зависимости от удаленности датчика от линейного поста осуществляется как напрямую, так и с использованием ретрансляторов (рис. 2). Сами же концентраторы подключены в сеть передачи данных отраслевого назначения (СПД ОТН). Диагностическая информация обрабатывается программными средствами системы непрерывного мониторинга, установленными на концентраторах, а результаты мониторинга передаются на центральные посты — здание дистанции электрификации и электроснабжения ЭЧ-3 и центр мониторинга, расположенный в ЕДЦУ Октябрьской железной дороги, расположенный на станции «Санкт-Петербург-Московский-Пассажирская». Схема организации сети представлена на рис. 3.

Рассмотрим алгоритм функционирования сети передачи данных в различных режимах.

Конфигурация маршрута передачи данных осуществляется следующим образом. При запуске системы или же подключении в нее новых конечных устройств (датчиков) новый объект получает информационные пакеты состояний соседних устройств и передает свой пакет состояния для поиска и выбора доступных маршрутизаторов. На основании получаемых данных происходит построение маршрута для обмена данными между концентратором линейного поста и датчиком. На рис. 4 представлены варианты топологии сети передачи данных с устройств, расположенных на перегонах. На станциях может быть использована смешанная топология.

Для оптимизации энергоснабжения децентрализованных объектов большую часть времени они находятся в режиме «сна» и данными постоянно не обмениваются. Выход из данного режима («пробуждение») происходит при поступлении данных от датчиков для передачи в концентратор или планово через установленный промежуток времени для:

- передачи информации о состоянии;
- проверки наличия прошивки в маршрутизаторе;
- синхронизации времени;
- передачи сохраненных данных из памяти в предыдущие сеансы передачи (в случае сбоя).

Сама передача данных организована по таймслотам (250 ± 20 мс). За один слот передается ≤ 10 информационных пакетов. Программным обеспечением самих датчиков при наличии измеренных значений, превышающих норму, формируется «событие», которое передается в концентратор информации линейного поста в ближайший таймслот. Если при передаче происходит сбой, то данные сохраняются в память. Следующая же попытка передачи данных предпринимается либо при поступлении новых данных, либо при следующем плановом «пробуждении» датчика.

Все пакеты делятся на две категории: 1) информационные — ответственные за передачу данных, произошедших по событиям (такие пакеты имеют наивыс-

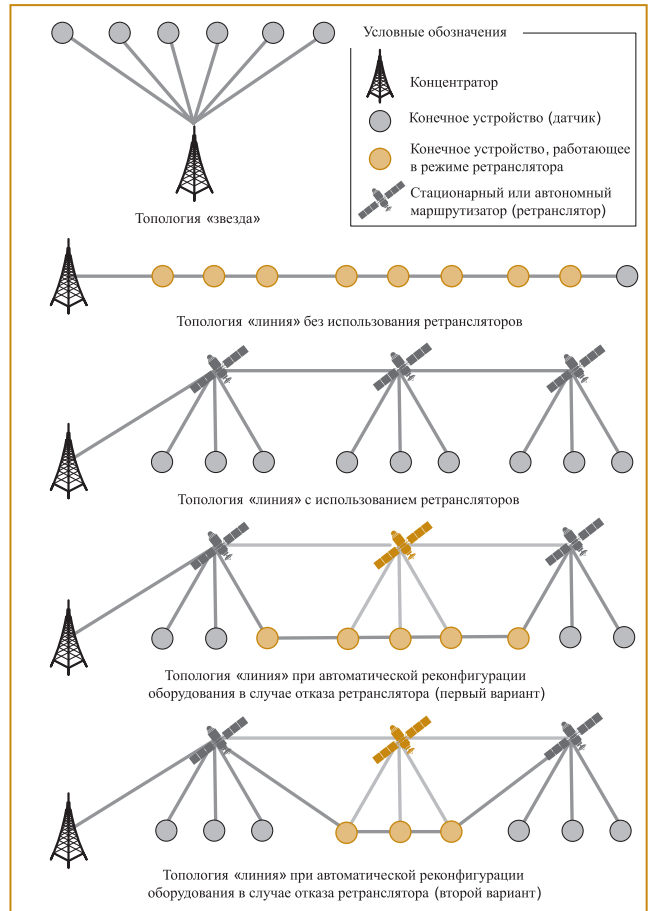


Рис. 4. Используемые топологии сети передачи данных

ший приоритет, передаются с подтверждением приема и накапливаются в памяти устройств при наличии проблем с передачей сообщений); 2) служебные — пакеты информации о состоянии, синхронизация времени, обновление прошивки (данные пакеты имеют более низкий приоритет, а в случае широковещательной передачи данных даже не имеют подтверждения приема).

Заключение

Разработанная специалистами ООО «Мостовое бюро» система радиопередачи может быть использована в любых системах непрерывного мониторинга объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта. Использование новой сети передачи данных оправдано и позволяет получить значительный экономический эффект, что достигается:

- отказом от использования услуг сотовых операторов (стандарта GSM, который, например, используют в новых технических решениях АПК-ДК [10]);
- отсутствием абонентской платы за использование системы передачи данных;
- отсутствием зависимости от проводимых операторами сотовой связи регламентных работ по техническому обслуживанию сети;
- исключением финансовых рисков производственных затрат корпоративных счетов при использовании сотовой связи;

– исключением возможности кибератак через внешние сети передачи данных, неподконтрольные ОАО «РЖД».

Использование в системе передачи данных радиоканала с выделенной частотой 868,7 МГц позволяет также решить проблему стационарного АРМ системы непрерывного мониторинга и создания мобильного приложения программного комплекса мониторинга, выводящего результаты мониторинга техническому персоналу на экраны личных смартфонов в любой точке их расположения, в том числе непосредственно у объекта диагностирования.

Список литературы

1. Долинский К.Ю., Лыков А.А., Соколов В.Б., Соколов В.А., Осадчий Г.В. Реализация системы непрерывной диагностики и мониторинга состояния путепроводов на участке высокоскоростного движения поездов // Промышленное и гражданское строительство. 2010. №11. С. 34-35.
2. Ефанов Д.В., Богданов Н.А. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты // Транспорт Урала. 2013. №1. С. 36-42.
3. Современные системы мониторинга состояния подвижного состава и инфраструктуры // Железные дороги мира. 2013. №7. С. 56-63.
4. Молодцов, В.П. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и теле-
5. механики : учеб. пособие / В. П. Молодцов, А. А. Иванов. СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения. 2010. 140 с.
6. Иванов А.А., Легоньков А.К., Молодцов В.П. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) // Автоматика на транспорте. 2015. Том 1. №3. С. 282-297.
7. Ефанов Д.В., Осадчий Г.В., Седых Д.В., Иванов В.Л. и др. Способ непрерывного мониторинга механического усилия в проводах и тросах контактной подвески // Транспорт Урала. 2016. №1. С. 9-15.
8. Ефанов Д.В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. 2016. Т. 2. №1. С. 124-148.
9. Бондарев Н.А., Чекулаев В.Е. Контактная сеть: Учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. М.: Маршрут. 2006. 590 с.
10. Park Y., Cho Y. H., Lee K., Jung H., Kim H., Kwon S., Park H. Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application // 8th World Congress on Railway Research, COEX, Seoul, Korea, 2008, 18-22 May.
11. Иванов А.А., Легоньков А.К., Молодцов В.П. Передача данных с устройств оборудования переезда аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства // Автоматика на транспорте. 2016. Т. 2. №1. С. 65-80.

Ефанов Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВО ПГУПС, инженер ООО «Мостовое бюро»,
Осадчий Герман Владимирович – ГИП, *Седых Дмитрий Владимирович* – инженер,
Пристенский Дмитрий Николаевич – ведущий инженер ООО «Мостовое бюро».
 Контактный телефон +7 (911) 709-21-64.
 E-mail: TrES-4b@yandex.ru

Гидропроект (РусГидро) и НЕОЛАНТ: многомерное моделирование - в гидроэнергетику РФ и зарубежья!

АО "Институт Гидропроект" и ГК "НЕОЛАНТ" подписали соглашение о сотрудничестве с целью продвижения и реализации проектов ПАО "РусГидро" на базе технологий многомерного моделирования при проектировании, реконструкции/строительстве и эксплуатации объектов гидроэнергетики в России и за рубежом.

Для проектирования новых гидроэнергетических и водохозяйственных сооружений АО "Институт Гидропроект" уже давно применяет технологии многомерного моделирования, результатом чего до сих пор была проектная информационная модель (ИМ) сооружения. Кроме того, на текущий момент вся группа "РусГидро" владеет более 70 действующими объектами возобновляемой энергетики, информационные модели которых не созданы. Однако именно для задач эксплуатации, а также реконструкции и модернизации существующих объектов ценность информационной модели наиболее высока, так как с ее помощью возможно достичь существенной оптимизации ресурсов.

С целью развития проектной модели в строительную и эксплуатационную совместно с АО "НЕОЛАНТ" был реализован пилотный проект на базе Волжской ГЭС, в рамках которого с помощью InterBridge, инструмента для формирования единой ИМ, модель "погрузили" в ИТ-среду НЕОСИНТЕЗ — платформу для управления жизненным циклом промышленного объекта. В результате цифровой прототип Волжской ГЭС стал обладать функционалом, необходимым для решения прикладных задач строительства, реконструкции и эксплуатации, а ценность от такой многомерной модели для непосредственного собственника, то есть "РусГидро", возрос-

ла в разы. На выходе стало возможным достичь следующих эффектов:

- повысить управляемость, прозрачность и предсказуемость производственных процессов на всех стадиях жизненного цикла объекта;
- улучшить качество принимаемых решений за счет полноценной и своевременной информационно-технологической поддержки;
- обеспечить целостность (исключение организационных, функциональных, информационных, финансовых разрывов) и согласованность информационных потоков между различными инженерными дисциплинами, подрядчиками и стадиями жизненного цикла;
- повысить культуру и качество эксплуатации актива за счет централизации и консолидации инженерно-технической информации предприятия, сокращения времени на выявление и устранение дефектов, выполнение сложных ремонтных работ.

По результатам успешно выполненного пилотного проекта АО "Институт Гидропроект" совместно со специалистами ГК "НЕОЛАНТ" предлагает реализацию всех проектов на базе технологий ИМ при реконструкции/строительстве и эксплуатации всех объектов гидроэнергетики, находящихся под контролем ПАО "РусГидро" как в России, так и за рубежом.

Надо отметить, что преимущества такого способа управления жизненным циклом объектов уже подтверждены в других отраслях российской промышленности, что выражается, например, в эффективном управлении такими параметрами, как бюджет, сроки, качество при реализации крупнейших ЕРС-проектов.

<http://www.neolant.ru>