

**Мониторинг технического состояния камеры судоходного шлюза**

Гарибин П. А., Ольховик Е. О., Федяшов А. В.  
ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота  
имени адмирала С. О. Макарова»  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Рассмотрены особенности эксплуатации судоходных шлюзов. Дана оценка методик проведения и результатов натурных наблюдений за техническим состоянием камер шлюзов. На основании анализа организации наблюдений обозначены основные проблемы в сфере организации и проведения мониторинга камер шлюзов с использованием технологии информационного моделирования (BIM).*

Начавшаяся в 1980-х годах и продолжающаяся в первые десятилетия XXI века цифровая революция, именуемая как концепция «Индустрия 3.0» (Third Industrial Revolution – TIR) [1], приводит к широкому внедрению информационных технологий жизненного цикла, в частности – BIM (Building information modeling).

До последнего времени в России отсутствовала новая транспортная платформа, использовались технологии 1980-х годов, снижение логистических издержек достигалось за счет организационных мер. Выход из этой ситуации во всем мире находят за счет использования новых информационных технологий. В последнее время все больший интерес вызывает концепция «Индустрия 4.0» (Industry 4.0) – совокупность технологий PLM, Big Data, Smart Factory, Cyber-physical systems, IoT (Internet of Things), Interoperability, использование которых позволяет создать эффективную бизнес-модель объекта.

Внедрение концепции «Индустрия 4.0» и, в первую очередь технологии IoT, возможно при наличии хорошо налаженных процессов получения, обмена и анализа данных. По сведениям уже работающих по рассматриваемой стратегии предприятий, даже частичное использование ими PLM приводит к уменьшению затрат на 50–80 %.

Обеспечение безопасности и надежности в процессе эксплуатации судоходных гидротехнических сооружений (СГТС) тесно связано с качеством и эффективностью их технического контроля. Особенностью большей части гидротехнических сооружений является то, что они возводятся на участках местности со сложными геологическими и гидрогеологическими показателями, подвержены воздействию напора воды, ее размывающему воздействию, действию льда и волн, фильтрационных потоков и других нагрузок, которые все являются циклическими.

Мировой опыт гидротехнической эксплуатации показывает, что ослабление контроля приводит к повреждению и разрушению гидротехнических сооружений, что для крупных объектов может быть связано с катастрофическими последствиями.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций СГТС выполняется в настоящее время преимущественно путем их визуального осмотра и локальных инструментальных измерений. В зависимости от вида объекта визуальный мониторинг выполняется по списку в соответствии с правилами нормативных документов. По результатам мониторинга разрабатывается комплекс мероприятий по ремонту, замене или усилению элементов конструкций.

В связи с совершенствованием измерительных систем, включая датчики различного назначения, в последнее время начали проводить постоянный или *непрерывный мониторинг* технического состояния строительных конструкций с контролем нормативных параметров, определяющих их прочность и деформируемость [2]. Стало возможным назначать ремонт конструкций не по списку, как в первом случае, а по их фактическому состоянию. Это приводит, как правило, к увеличению межремонтных сроков при обеспечении той же безопасности конструкций. При такой технологии стоимость затрат на обследование уменьшается, а надежность увеличивается.

Для определения необходимости ремонта используется график изменения индекса «здоровья» СГТС (прогиб лицевой стенки, прочность материала и т. д.) и характер его изменения во времени (рис.).

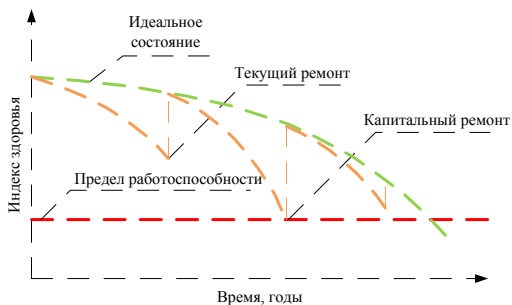


Рис. Схема оценки работоспособности конструкции

Индекс «здоровья» является комплексной характеристикой [3], значение которой зависит от конструкции, материала, вида нагрузок и цели мониторинга. С целью выполнения подобной процедуры разрабатываются автоматизированные системы мониторинга конструкций (СМК), в нашем случае камера СГТС.

Ведутся исследовательские работы по созданию макета технического паспорта с применением BIM-технологий. Технология предусматривает использование готовых BIM-проектов, построение BIM-модели сооружения на основе натуральных обмеров цифровыми геодезическими приборами, восстановление BIM-модели из архивных цифровых и бумажных документов.

Сложной является задача построения прогнозной модели [4] и определения допустимых параметров, определяющих работоспособность сооружения, а также степень его физического износа. Особо следует отметить теоретические разработки ученых ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» [5], которые внесли весомый вклад в решение проблемы определения эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений и идентификацию прогнозных моделей.

Оптимизация процесса управления жизненным циклом камеры шлюза достигается после реализации этапа внедрения непрерывного автоматизированного мониторинга, который является определяющим импульсом к развитию платформы «Индустрия 4.0».

Первоочередной задачей мониторинга технического состояния СГТС является разработка сети чувствительных элементов, которые непрерывно контролируют состояние строительной части в автоматическом режиме – обеспечение контролепригодности системы.

Организованная система расстановки контрольно-измерительной аппаратуры – не только инструмент для проведения частных измерений. Ее функционал предполагает постоянную работу, результат которой – данные, достаточные для построения пространственно-временной 3D-модели индуцированных нагрузок и ответных реакций на них.

Второй важной задачей является разработка комплексной модели оценки технического состояния ГТС, основными исходными данными для расчетов и моделирования тогда будут являться данные мониторинга и предыдущих инструментальных осмотров.

В данной постановке по результатам изучения СГТС известными являются множество переменных, по которым оценивается состояние объекта (модели), границы допустимых значений переменных, желаемые значения этих переменных. Критериальные переменные имеют допустимые границы изменения и некоторую область желаемых (оптимальных) значений. Оценочная функция выбирается таким образом, чтобы в области допустимых значений переменной ее значения принадлежали бы интервалу  $[0, 1]$ , были безразмерными, определялись однозначно, и функция была бы линейной или кусочно-линейной [10, 11].

Такой подход позволяет снизить дорогостоящие расходы на осмотры и обследования и во многих случаях может служить обоснованием для ремонта сооружения. Кроме того, использование системы непрерывного

мониторинга улучшит расследования случаев аварий, поскольку появляется объективная информация о процессах во время нарушения режима эксплуатации.

Решение поставленных задач базируется на использование аппарата математической статистики. Результатом выполненных работ будет интеллектуальный продукт в виде комплекса «автоматизированный мониторинг технического состояния» – «комплексная модель оценки технического состояния» – «прогнозная модель».

Созданная технология для каждого конкретного шлюза позволит обеспечить безопасность эксплуатации СГТС уже на принципиально новом практическом уровне и дать качественный прогноз на заданный временной период, т.е. в полном объеме реализовать концепцию анализа жизненного цикла (CALS-технология).

В качестве «ядра» комплексной модели оценки технического состояния нами предлагается использование точной трехмерной компьютерной модели СГТС, которая в дальнейшем будет использоваться как для информационного сопровождения, так и для прямых расчетов с применением метода конечных элементов.

### Литература

1. Рифкин, Дж. Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом. The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World. – М.: «Альпина Нон-фикшн», 2014. – 410 с. – ISBN 978-5-91671-332-9.

2. Гарибин, П. А. Методология организации непрерывного мониторинга технического состояния ГТС водного транспорта / П. А. Гарибин, О. Е. Ольховик, С. В. Шабанов // Известия Вузов. Строительство. – 2015. – № 2 (674). – С. 58–72.

3. Wenzel, H. Health Monitoring of Bridges / H. Wenzel. – Wiley & Sons Ltd., 2009. – 652 p.

4. Гарибин П. А. Обеспечение контролеспособности сооружений – один из этапов построения прогнозных моделей / П. А. Гарибин, В. Е. Марлей, Г. Г. Рябов // Журнал университета водных коммуникаций. – 2010. – Выпуск I (V). – 190 с.

5. Ивашинцов, Д. А., Соколов А. С., Шульман С. Г., Юделевич А. М. Параметрическая идентификация расчетных моделей гидротехнических сооружений / Д. А. Ивашинцов [и др.]. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2001. – 432 с.