

## МЕТОДИКА СОПРОВОЖДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕЧЕНИЕ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

**Фотин С.В., Дикарев К.И., Фотина Н.В.** (ОАО «НИИЭС» г. Москва, Россия)  
Тел./Факс: +7 (964) 5890414; E-mail: [Fotin.sv@niies.ru](mailto:Fotin.sv@niies.ru)

***Abstract:** A plenty of hydraulic structures all over the World have been operating for more than forty years. The prolongation of a duty time for such objects requires the technical state detailed estimation. There is no multipurpose tool for hydraulic structures equipment technical state estimation and monitoring. At the same time, that equipment operates under essential operational loading. The traditional methods of actual strength analysis for such hydraulic structures equipment don't always meet the requirements of residual life prediction estimations. In the view of aforesaid, the unique scientifically-based approach has been developed that allows performing the equipment stress-strain state, strength, and residual life monitoring.*

***Key words:** hydropower plant, hydraulic structures equipment, technical state estimation, stress-strain state, residual life.*

Большое количество гидротехнических сооружений (ГТС) в России находятся в эксплуатации более 40 лет. Аварии на эксплуатируемых объектах ГТС наносят ощутимый ущерб отрасли [1]. Возросший уровень ответственности с точки зрения стратегической безопасности энергетической отрасли РФ, а также острая необходимость в обеспечении устойчивой и безопасной работы основного и вспомогательного оборудования ГЭС требуют привлечения современных средств технической диагностики и трехмерного математического моделирования, основанных на последних достижениях механики деформируемого твердого тела и суперкомпьютерных вычислениях. Надежная и достоверная оценка технического состояния несущего элемента оборудования может быть выполнена только на основе совместного применения средств диагностического выявления повреждений оборудования, контроля напряженно-деформированного состояния, и надежных методов диагностической оценки степени деградации металла элементов, причем на протяжении всего жизненного цикла. Учитывая указанные обстоятельства, актуальной является разработка и внедрение автоматизированных рабочих мест по мониторингу технического состояния основного гидроэнергетического оборудования и его сопровождения в течение жизненного цикла. Это даст возможность эффективного прогнозирования остаточного рабочего ресурса элементов оборудования, и составления научно-обоснованных графиков его ремонта и/или замены.

Предлагаемая методика выполнения мониторинга жизненного цикла элементов гидрооборудования содержит 12 основных этапов.

На первом этапе выполняется исследование изготовленного элемента гидротехнического оборудования на предмет наличия зон концентрации напряжений, и значений напряжений в нем магнитными методами контроля. В частности, такое исследование может быть выполнено с применением методов магнитной памяти металла (МПМ).

На втором этапе проводится идентификация значений заводских паспортных характеристик механических свойств материала исследуемого элемента оборудования.

Третий этап служит для получения и обработки электронной трехмерной модели исследуемого элемента по чертежам завода-изготовителя. При этом применяется специализированное программное обеспечение, реализующее необходимый набор функций по импорту и прямому редактированию геометрии, интергации с комплексами

МКЭ-анализа, соответствия нормам ЕСКД.

На четвертом этапе выполняется высокоточное лазерное сканирование элемента гидрооборудования (рис.1), что позволяет представлять сведения о геометрической конфигурации поверхности элемента в форме, пригодной для сохранения и обработки в среде инженерных программно-математических комплексов. Результаты лазерного сканирования элементов оборудования могут быть использованы для детализации особенностей их геометрии, фиксирования отклонений фактической геометрии от проектной и характера деформирования, путем совместного анализа сканированной и конструкторской компьютерных 3D-моделей. Также может быть выполнена идентификация неперехватных технологических производственных дефектов, таких как литейные поры и расслоения, что выполняется путем расчетного определения веса исследуемого элемента.



Рис. 1. Лазерный сканер - оборудование для выполнения высокоточного лазерного сканирования

На пятом этапе выполняется оценка фактического напряженно-деформированного состояния на основании поверочного расчета с учетом зон концентрации напряжений. Фактический анализ НДС нового элемента гидроэнергетического оборудования выполняется с применением численных методов механики деформированного твердого тела, на основе выполненного заводом-изготовителем проектного прочностного расчета, с учетом данных по остаточным напряжениям, полученных методом МПМ. При выполнении анализа НДС и оценке прочности только что изготовленного элемента оборудования следует руководствоваться требованием соблюдения проектного коэффициента запаса прочности.

Вышеуказанные этапы предлагаемой системной методики целесообразно выполнять на этапе изготовления или ввода исследуемого элемента в эксплуатацию.

На шестом этапе выполняется исследование изменения зон концентрации напряжений магнитными методами контроля по истечении межремонтного периода эксплуатации (который составляет 4-5 лет), а также оценка соответствующего изменения фактического напряженно-деформированного состояния.

На седьмом этапе следует выполнение технического дефектоскопического контроля для материала элемента оборудования по прошествии заданного межремонтного периода. В результате становится доступной информация о распределении и конфигурации, размерах дефектов (пор, интерметаллических включений, трещин, расслоений, вмятин, сколов, коррозионных, эрозионных и кавитационных каверн) в металле исследуемого элемента.

На восьмом этапе выполняются металлографические исследования для металла элемента оборудования по прошествии заданного межремонтного периода. Металлографические исследования выполняются в рамках специализированных испытательных лабораторий. Результатом являются фактические значения механических свойств конструкционных материалов на рассматриваемый временной период.

Очередная оценка фактического напряженно-деформированного состояния элемента оборудования, с учетом результатов технической диагностики и деградации свойств материала выполняется на девятом этапе.

На десятом этапе проводится моделирование процесса сварочно-ремонтных работ узлов оборудования. Численное моделирование процесса выполнения сварочно-ремонтных работ на поврежденных участках оборудования выполняется на базе анализа сопряженной термомеханической задачи механики деформируемого твердого тела. По результатам моделирования определяются режимы работы сварочного оборудования и параметров сварочной дуги, выбор типов, размеров и характеристик используемых электродов, обоснование мероприятий по предварительному нагреву элемента, или выбору температурно-временных режимов охлаждения по окончании ремонтных работ. Пример распределения остаточных напряжений в металле лопасти рабочего колеса гидротурбины после выполнения сварочно-ремонтных работ показан на рис.2.

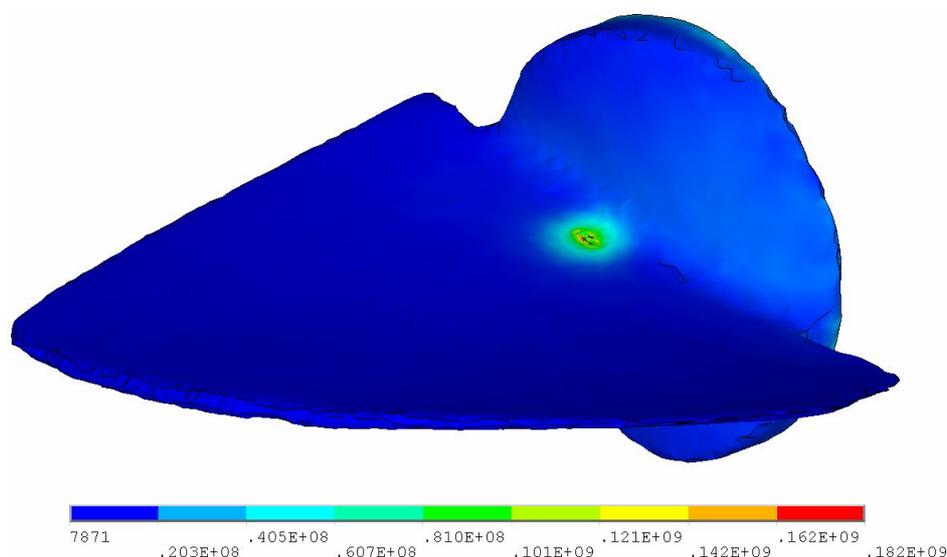


Рис. 2. Распределение остаточных эквивалентных напряжений в лопасти рабочего колеса гидротурбины после выполнения комплекса сварочно-ремонтных работ

На одиннадцатом этапе выполняется обновление данных кривой жизненного цикла оборудования. После моделирования процесса сварочно-ремонтных работ, следует выполнить анализ НДС и численную оценку прочности элемента гидроэнергетического оборудования с учетом полученных термических напряжений. Результаты численного анализа проверяются на удовлетворение требуемым нормативами коэффициентам запасов по прочности, и на основании результатов принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации элемента. Пример фактической кривой жизненного цикла элемента гидроэнергетического оборудования по коэффициенту запаса прочности, полученной с учетом износа и ремонтных мероприятий, а также теоретической кривой жизненного цикла, полученной без учета ремонтов, представлены на рис.3.

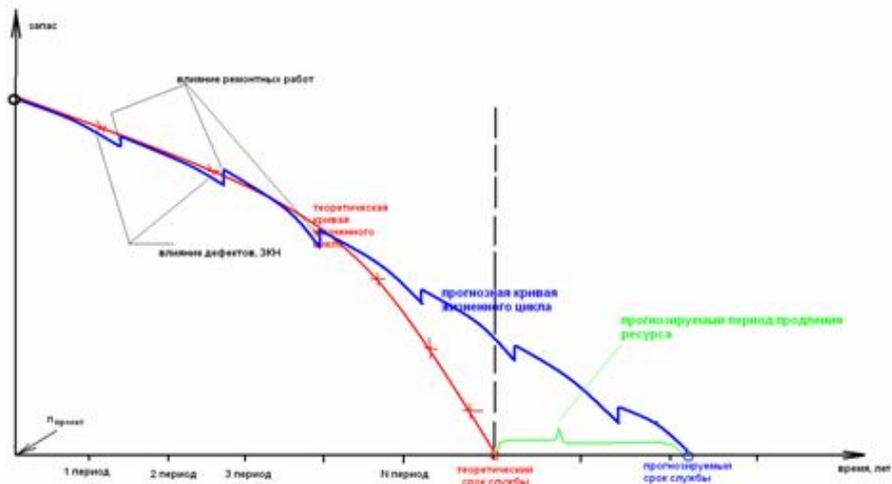


Рис. 3. Теоретическая и фактическая кривые жизненного цикла гидроэнергетического оборудования

Результаты применения указанной методики для расчетной оценки остаточного ресурса лопасти рабочего колеса гидротурбины Нижегородской ГЭС, подверженной эрозионному износу, без учета ремонтных мероприятий, приведены на рис. 4. Из анализа результатов можно сделать вывод, что остаточный ресурс лопасти при эксплуатационных нагрузках составляет 10.2 лет.

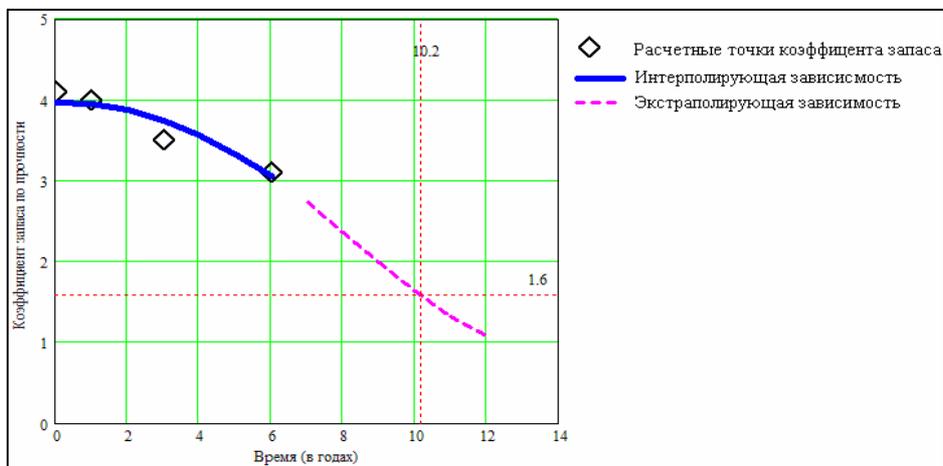


Рис. 4. Диаграмма оценки остаточного ресурса лопасти рабочего колеса гидротурбины

**Выводы:**

Предложена методика выполнения мониторинга жизненного цикла для элементов гидрооборудования, основанная на применении средств диагностического контроля, современных достижениях механики деформируемого твердого тела и высокоточных вычислениях. Ее применение даст возможность эффективного прогнозирования остаточного рабочего ресурса элементов оборудования.

**Список литературы:** 1. Матюшечкин К.С., Матюшечкин С.Н., Фотин С.В. Дикарев К.И. Оценка фактического напряженно-деформированного состояния колонн статора гидротурбины Сборник докладов седьмой научно-технической конференции «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии». ВНИИГ им Б.Е. Веденеева ОАО «РусГидро». – С-Петербург., 25-27 октября 2012г., стр. 13.