

УДК 621.224

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ГИДРОСИЛОВОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ ГЭС**

А.А. Новкунский

ОАО Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидротехники им. Б.Е. Веденеева, г. Санкт-Петербург  
E-mail: NovkunskiyAA@vniig.ru

**Новкунский Алексей Алексан-  
дрович**, канд. техн. наук,  
главный специалист, испол-  
няющий обязанности заве-  
дующего отделом сопровож-  
дения проектов ОАО «Все-  
российский научно-  
исследовательский институт  
гидротехники им. Б.Е. Веду-  
неева», г. Санкт-Петербург.  
E-mail:  
NovkunskiyAA@vniig.ru  
Область научных интересов:  
гидроэнергетика, энергетиче-  
ское машиностроение, ресурс  
оборудования, САПР

Обслуживание гидросилового оборудования гидроэлектростанций по его фактическому состоянию позволит повысить эффективность эксплуатации, увеличить его ресурс, уменьшить объемы обслуживания и ремонтов, снизить риск аварий и отказов. Ключевым в этом вопросе является оснащение гидроэлектростанций и энергосистем эффективными средствами для оперативной оценки и прогнозирования технического состояния основного технологического оборудования с применением современных информационных технологий. Для нужд крупных гидрогенерирующих компаний в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева»

ведется разработка информационно-аналитической системы оценки и прогнозирования технического состояния гидросилового оборудования гидроэлектростанций. Предлагаемая система относится к новым методам в области эксплуатации сложного и ответственного гидросилового оборудования, учитывает всю специфику конструкции и режимов работы оцениваемых энергетических машин, обладает максимальной информативностью и удобством использования. Разработка направлена на обеспечение и повышение надежности, готовности и безопасности гидроагрегатов на протяжении всего жизненного цикла. В рамках информационно-аналитической системы для прогнозирования технического состояния оборудования и его узлов с учетом режимов эксплуатации разрабатывается соответствующая методика. Проект проработан на уровне концептуальных решений и прототипов, и подразумевается его дальнейшая разработка, верификация и пилотное внедрение на гидроэлектростанциях.

**Ключевые слова:**

Гидроагрегат, оценка и прогнозирование, техническое состояние, режим эксплуатации, узлы гидросилового оборудования, информационная система.

В настоящее время устойчивой мировой тенденцией в области эксплуатации любого технологического оборудования является его обслуживание по фактическому состоянию (ОФС). Данный метод позволяет повысить эффективность эксплуатации оборудования, увеличить его ресурс, уменьшить объемы обслуживания и ремонтов, снизить риск аварий и отказов оборудования.

В гидроэнергетике обслуживание основного оборудования ГЭС осуществляется преимущественно по регламенту проведения планово-предупредительных ремонтов, четко установленному нормативными актами. Однако существует значительный потенциал по увеличению эффективности планирования и проведения ремонтов даже в рамках существующих норм, но с учетом реального состояния машин и постепенного, но методичного перевода действующих гидроагрегатов на ОФС в целях повышения экономичности эксплуатации и одновременного увеличения их ресурса, а значит, и надежности.

Ключевым вопросом, необходимым для успешного выполнения обозначенной задачи, является оснащение ГЭС и энергосистем средствами эффективной и достоверной оценки технического состояния оборудования.

Особо стоит отметить необходимость учета неблагоприятных режимов работы гидроагрегатов и важность диагностики соответствующих дефектов эксплуатации. Опыт показывает,

что значительная часть отказов и даже аварий на оборудовании приходится на режимы с повышенными пульсациями водяного потока, развитой кавитацией или вихревым жгутом за рабочим колесом [1]. Даже кратковременное, но относительно частое пребывание машины в подобных условиях способствует накоплению усталостных напряжений в конструкциях и может приводить к необратимым изменениям технического состояния узлов с неизбежным снижением их ресурса.

В современных системах мониторинга и технической диагностики гидроагрегатов – электромеханического оборудования роторного типа – наиболее значимая роль отводится вибрационному методу [2, 3] как наиболее информативному и эффективному по соотношению затраты/результаты. Безусловно, информация о вибрационном состоянии агрегата должна дополняться применением и других методов неразрушающего контроля, включая мониторинг температурного и электромагнитного состояния, контроль параметров смазки, параметров рабочего процесса машины и др.

Кроме того, для формирования наиболее полной и достоверной картины о реальном техническом состоянии сложного и ответственного гидросилового оборудования необходимо располагать не только оперативными данными мониторинга, но и исчерпывающей ретроспективной информацией с результатами всех ремонтов, обследований и испытаний, проводимых на гидроагрегате.

Большой парк различного по типу и конструкции гидросилового оборудования, находящегося в эксплуатации у генерирующих компаний, высокая стоимость и ответственность активов, подлежащих контролю и оценке состояния, огромные объемы различной информации, характеризующей техническое состояние машин, динамичность рабочих процессов, а значит, и высокая скорость развития возможных дефектов – все это существенно усложняет задачу повышения надежности, безопасности и эффективности эксплуатации гидроагрегатов и требует разработки и внедрения соответствующих современных информационных систем.

Решение этих вопросов для крупных гидрогенерирующих компаний предлагается реализовать с помощью информационно-аналитической системы (ИАС) оценки и прогнозирования технического состояния гидросилового оборудования ГЭС, разрабатываемой в ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

Проект проработан на уровне концептуальных решений и прототипов, подразумевается его дальнейшая разработка и пилотное внедрение на ГЭС [4]. Предлагаемая система относится к новым методам в области эксплуатации сложного и ответственного гидроэнергетического оборудования и направлена на обеспечение и повышение надежности, готовности и безопасности эксплуатации гидроагрегатов.

В разрабатываемой системе оценка технического состояния оборудования формируется на основе расчетно-экспертного анализа сочетания следующей информации по активам:

- а) исходных данных, отражающих конструктивные и эксплуатационные особенности и параметры оборудования;
- б) фактических данных о состоянии оборудования, регистрируемых по результатам испытаний, обследований и ремонтов;
- в) оперативных данных мониторинга и диагностики состояния оборудования;
- г) прогнозных данных об уровне износа узлов и деталей оборудования.

Система оценки и прогнозирования является информационно-аналитической и не предполагает использование для управления оборудованием в оперативном режиме.

На основании данных, предоставляемых пользователю системой, анализируется и оценивается техническое состояние основного оборудования, формируются заключения о надежности его функционирования и оптимизируются решения по срокам и объемам технического обслуживания, ремонтов, реконструкций и технического перевооружения оборудования на протяжении его жизненного цикла в целях обеспечения надежного и безопасного функционирования с одновременным повышением технико-экономической эффективности эксплуатации.

Одна из особенностей предлагаемой системы заключается в степени детализации объектов оценки и подразумевает анализ технического состояния не только крупных ресурсоопределяющих узлов гидроагрегата, но и более мелких составляющих элементов и технических систем, которые тем не менее являются ответственными и необходимыми для нормального

функционирования оборудования.

В этих целях для каждого объекта разрабатывается подробная иерархическая структура элементов, которая служит основой для построения информационной модели оборудования. Она, в свою очередь, включает в себя как математическую модель гидроагрегата и его элементов, отражающую функциональные взаимосвязи и влияние различных факторов на надежность узлов, необходимую для диагностики и прогнозирования износа оборудования, так и компьютерную 3D-модель агрегата, дающую пользователю ИАС наглядное представление об оцениваемом оборудовании.



Рис. 1. Фрагмент разработанной иерархической структуры гидроагрегата

Для обеспечения оперативного удаленного доступа к техническим данным, представляемым с помощью информационных моделей оцениваемого гидросилового оборудования компании, разрабатывается специальный программный комплекс системы. Он будет выполнять обработку поступающих данных и расчеты прогнозов, отображать, сохранять и передавать необходимую информацию в числовом, текстовом и графическом виде, обеспечивая ее удобный поиск и консолидацию.

Подразумевается использование как собственных технических и информационных ресурсов разрабатываемой системы, так и ресурсов других применяемых в компании информационных систем, с которыми она будет интегрироваться. При этом все технические данные, необходимые для анализа, будут поступать в программный комплекс ИАС в автоматическом, полуавтоматическом или ручном режиме и накапливаться в ее базах данных.

В информационно-аналитической системе техническое состояние гидроагрегата в целом и его составляющих узлов предполагается оценивать по условной величине износа, эквивалентной деградации оборудования от его простоя или от работы на самом благоприятном режиме, выраженной в часах наработки или в процентах доли фактической наработки от общего первоначального ресурса, задаваемого для данного вида оборудования.

При этом под износом понимается не только изменение размеров, формы, массы технического объекта или состояния его поверхности, но и потеря первоначальных качеств объекта, постепенное разрушение конструкций, старение оборудования в процессе производственного использования, т. е. его деградация.

Структурно ИАС будет состоять из четырех основных информационных блоков, на основе которых выполняется расчетно-экспертный анализ данных и формируется оценка техни-

ческого состояния оборудования.

*Первый информационный блок* – исходная конструкторская документация по оцениваемому основному оборудованию ГЭС. Включает подробные чертежи, паспорта, формуляры, характеристики и т. д. оборудования и его узлов (рис. 2). Данная информация необходима для формирования целостного представления о конструкции и особенностях рассматриваемого оборудования и является основой для анализа технического состояния оборудования.

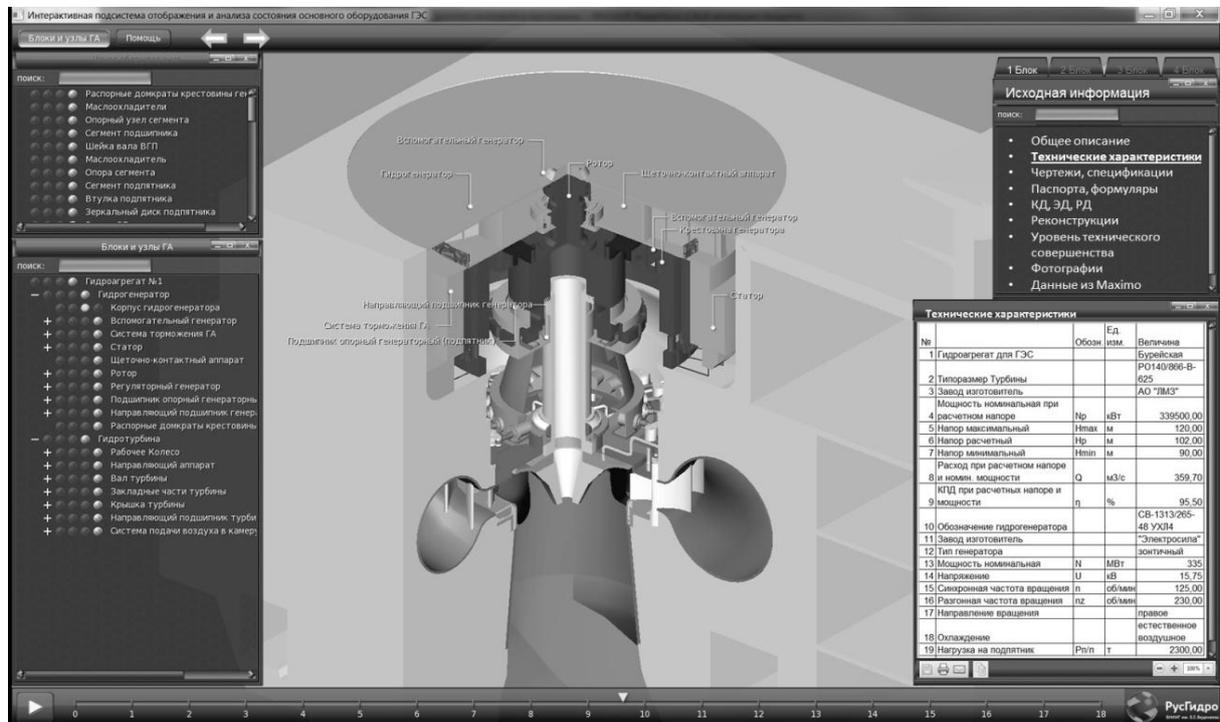


Рис. 2. Прототип интерфейса ИАС с отображением 3D-модели гидроагрегата

*Второй информационный блок* – данные о ремонтах или реконструкциях оборудования, наладочных и экспериментальных работах, инструментальных обследованиях. На основе имеющейся в базе данных отчетной документации, применяя набор критериев и показателей, разработанный в соответствии с действующими нормативами и стандартами [5], формируется оценка технического состояния деталей и узлов оборудования, актуальная и достоверная на момент проведения соответствующих ремонтов или обследований.

Система может предоставлять пользователю как развернутую и подробную информацию о техническом состоянии объектов оценки, с указанием всех доступных параметров и данных по узлам и деталям, так и интегральную оценку. Для наглядности и удобства использования предлагается использовать цветовую интерпретацию оценок состояния оборудования и его узлов – так называемую семафорную модель.

*Третий информационный блок* – оперативные данные о состоянии оборудования. Блок содержит данные мониторинга, информацию по отказам и дефектам, внеплановым обследованиям, регулярным обходам и осмотрам основного оборудования. Включает информацию из суточных ведомостей ГЭС, характеризующую режимы работы оборудования.

Если оборудование оснащено системами мониторинга или диагностики, то в ИАС в автоматическом режиме должны регулярно поступать и обрабатываться данные, содержащие так называемые диагностические параметры, которые формируются на основе измеренных данных состояния (температура, вибрация и др.) оборудования, получаемых от автоматизированных систем в одностороннем порядке.

*Четвертый информационный блок* – прогнозная информация по уровню износа узлов и деталей оборудования, формируемая расчетным путем по специально разработанной методике. Учитывая ряд обстоятельств и трудностей, связанных с непосредственным визуально-

инструментальным контролем и оценкой технического состояния гидроэнергетического оборудования, разрабатывается и предлагается к внедрению расчетный способ прогнозирования состояния оборудования, который бы связывал износ всех ответственных узлов и деталей гидроагрегата с его наработкой на различных режимах эксплуатации.

Для учета влияния режимов работы оборудования в каждом конкретном случае анализируются возможные процессы разрушающего действия, рабочие и эксплуатационные характеристики гидроагрегата, а также данные вибрационных измерений и выделяются рабочие зоны с различной степенью воздействия на износ узлов и деталей. Каждому разрушающему процессу в зависимости от режима работы агрегата присваиваются определенные коэффициенты, характеризующие интенсивность износа оборудования, а затем эти показатели корректируются для каждого узла агрегата с учетом различной степени влияния процессов на составляющие элементы оборудования. Подобный подход с использованием величин интенсивности сработки ресурса рассматривался в работе [6].

Исходной для расчетов является информация из трех вышеперечисленных блоков данных, включая прежде всего данные об условиях эксплуатации оборудования и режимах его работы. Результатом расчета является прогнозная величина уровня износа узлов и деталей оборудования, полученного от работы на определенных режимах – как фактических, так и предполагаемых в будущем (рис. 3).

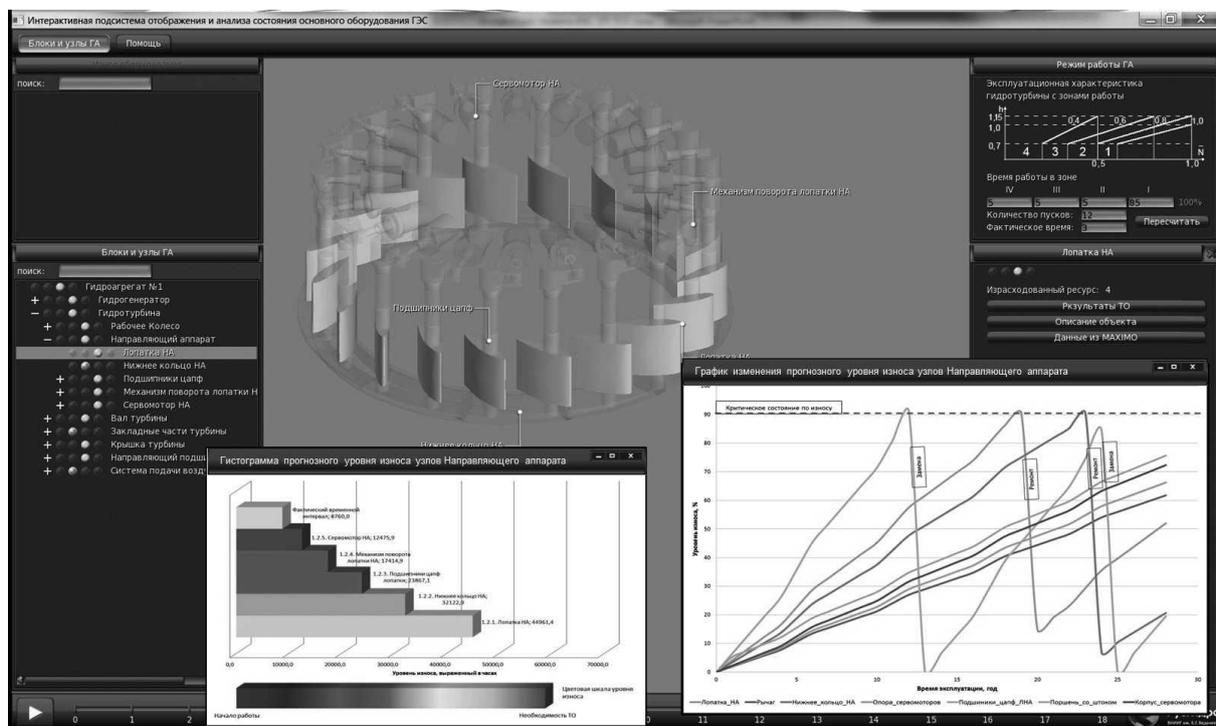


Рис. 3. Информационная модель направляющего аппарата турбины с отображением прогнозного уровня износа его элементов

### Заключение

Выполнен значительный задел по разработке информационно-аналитической системы оценки и прогнозирования технического состояния гидросилового оборудования ГЭС и ГАЭС, создаваемой в целях обеспечения надежности, готовности и безопасности эксплуатации гидроагрегатов с одновременным повышением технико-экономической эффективности их обслуживания.

Предусматриваемый функционал системы может использоваться для решения целого ряда актуальных задач эксплуатации и обслуживания гидросилового оборудования ГЭС. Однако для возможности промышленного использования системы необходима дальнейшая

ее разработка с учетом требований и пожеланий заказчика, последующее пилотное внедрение, верификация методики и отладка ИАС на конкретном объекте гидроэнергетики.

*Статья рекомендована к публикации по итогам работы V Международной молодежной конференции "Электроэнергетика глазами молодежи 2014".*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по гидротурбинам / В.Б. Андреев и др.; под общ. ред. Н.Н. Ковалева. – Ленинград: Машиностроение, 1984. – 495 с.
2. Баркова Н.А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования: учеб. пособие. – СПб.: СЕВЗАПУЦЕНТР, 2013. – 160 с.
3. Владиславлев Л.А. Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций. – М.: Энергия, 1972. – 175 с.
4. Новкунский А.А. Концепция информационно-аналитической системы оценки и прогнозирования технического состояния гидросилового оборудования ГЭС // Пятое совещание гидроэнергетиков. «Сильной России – мощную обновленную гидроэнергетику!» Расширенные тезисы докладов. – М., 2013. – С. 238–243.
5. СТО 17330282.27.140.001-2006. Стандарт организации ОАО РАО «ЕЭС России». Методики оценки технического состояния основного оборудования гидроэлектростанций.
6. Григорьев В.И. Определение ресурса работы гидроагрегатов и интенсивности его сработки на различных режимах эксплуатации гидроэнергетических установок / Гидротехническое строительство: ежемес. науч.-техн. журн. – М. – 2003. – № 6. – С. 12–16.

Поступила 12.02.2015 г.