

На правах рукописи

ЖДАНОВИЧ Анастасия Александровна

**КОНТРОЛЬ И МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ  
ГИДРОАГРЕГАТОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

Специальность 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические  
системы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Новосибирск – 2010

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования  
«Новосибирский государственный технический университет»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
Секретарев Юрий Анатольевич

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
Китушин Викентий Георгиевич

доктор технических наук, профессор  
Пантелеев Василий Иванович

**Ведущая организация:** ОАО "Сибирский ЭНТЦ"  
г. Новосибирск

Защита состоится: 23 декабря 2010г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.173.01 при Новосибирском  
государственном техническом университете по адресу: 630092,  
Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Новосибирского  
государственного технического университета.

Автореферат разослан «19» ноября 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент

И.П. Тимофеев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Бесспорным преимуществом гидроэлектростанций (ГЭС) в энергосистеме является их высокая маневренность. Поэтому ГЭС работают, как правило, в пике графика нагрузки системы. Непрерывный характер изменения ситуаций на ГЭС приводит к необходимости улучшения адаптационных свойств моделей управления. Вопросам повышения эффективности управления режимами работы ГЭС уделяется большое внимание.

Различные способы и средства управления основным оборудованием ГЭС, а также управление режимами работы гидроэлектростанций рассмотрены в работах Л.А. Владиславлева, В.М. Горнштейна, В.Г. Журавлева, М.Д. Кучкина, В.И. Обрезкова, Ю.А. Секретарева, В.С. Серкова, М.Г. Тягунова, В.А. Тиме, Т.А. Филипповой, Е.В. Цветкова и др. Исследования в области совершенствования контроля и систем управления основным оборудованием и режимами работы гидроэлектростанций продолжаются и в настоящее время.

Оперативное управление энергетическими объектами и, в частности, ГЭС осуществляется с участием человека (лица, принимающего решение, далее ЛПР). Поэтому, как правило, принятое решение является субъективным и опирается на опыт и интуицию ЛПР. Недооценка одних ситуаций и переоценка других ЛПР может привести к снижению уровня надежности и экономичности работающего оборудования, а в некоторых случаях, к катастрофе. *Пример Саяно-Шушенской ГЭС (СШ ГЭС) в этом случае весьма убедителен. Согласно Акту технического расследования аварии на СШ ГЭС 17 августа 2009 одной из причин аварии названа неверная оценка ситуации дежурным инженером.*

Управление режимами и составом работающего на станции оборудования является основной задачей, решаемой оперативным персоналом ГЭС и подразумевает использование комплексной оценки ситуации на гидроагрегате (ГА) в текущий момент времени. Такая оценка может быть получена на основе контроля и мониторинга оборудования и является важным, если не основным, элементом поддержки принятия решений при управлении режимом и составом оборудования (*В указанном выше Акте сформированы рекомендации и мероприятия по предупреждению подобных техногенных катастроф (аварий), а именно (п. 6.1.12): разработать проект системы мониторинга режимов работы и состояния гидроагрегата с фиксацией и сохранением параметров*).

Создание и использование в АСУТП ГЭС подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решения (ИНПОР) на основе расширения информационных возможностей и использования более гибких критериев управления позволит существенно повысить эффективность, безопасность и надежность работы ГЭС. Поэтому разработка программных средств поддержки принятия решения, которые работали бы в режиме «советчика» является актуальной задачей.

Актуальность также подтверждается развитием прикладного использования теории нечетких множеств для управляющих систем в последнее десятилетие, что позволяет сформировать подход к единому описанию информации о контролируемых параметрах.

**Целью работы** является разработка моделей описания параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов, создание на их основе

информационной базы, адекватно описывающей текущую ситуацию, и разработка принципов построения подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений оперативного персонала станции.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1. Проанализировать существующие способы контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов и разработать математическую базу для единого информационного описания многочисленных параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов на основе теории нечетких множеств.

2. Разработать модели сравнения и определения степени значимости параметров при превентивном (предупредительном) управлении гидроагрегатами на основе унифицированного подхода к описанию параметров контроля эксплуатационного состояния оборудования в форме нечетких интервалов.

3. Оценить степень взаимного влияния параметров контроля с целью определения причинно-следственной связи ухудшения эксплуатационного состояния гидроагрегатов.

4. Создать программный комплекс подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений при превентивном управлении режимами и составом оборудования ГЭС.

5. Проверить достоверность разработанных моделей на конкретных энергетических объектах.

**Объект исследования.** Система контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов. Расчеты выполнялись для ГА Новосибирской ГЭС, обладающей всеми необходимыми характеристиками.

**Предмет исследования.** Модели и методы информационного описания эксплуатационного состояния гидроагрегата, а также принципы ситуационного управления гидроагрегатами с учетом текущего состояния.

**Методы исследования.** Разработанные в диссертации научные положения основаны на принципах ситуационного управления и, в частности, рекомендованы в рамках превентивного управления гидроэлектростанцией. Решение поставленных задач базируется на выводах фундаментальных и прикладных наук, таких как математический анализ, теория надежности, математическое моделирование, теория автоматизированного управления и теория нечетких множеств.

**Достоверность и обоснованность** основных научных положений и выводов работы подтверждается теоретическими обоснованиями и совпадением результатов проведенных расчетов по оценке важности параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов с оценками, полученными от оперативного персонала Новосибирской ГЭС. Кроме того, обоснованность результатов работы подтверждает практика их успешного использования в АСУТП Новосибирской ГЭС, что нашло отображение в справке о внедрении.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Проведенный анализ существующих систем контроля эксплуатационного состояния основного оборудования ГЭС показал, что при принятии решения в оперативном управлении существуют сложности в оценке параметров

этого контроля, что связано, в частности, с различной размерностью последних. Это доказывает необходимость создания моделей, которые позволяют сформировать единое информационное пространство значений параметров контроля эксплуатационного состояния.

2. Доказана целесообразность использования подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений в контуре оперативного управления ГЭС. Сформированы принципы построения подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решения при оперативном управлении гидроагрегатами с учетом их эксплуатационного состояния.

3. Обоснована возможность и целесообразность использования теории нечетких множеств для формирования информационной базы подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений. Предложены модели представления информации о состоянии оборудования гидроагрегата в виде нечетких интервалов. Это позволяет выявить наиболее приоритетные параметры контроля эксплуатационного состояния блока с учетом текущей ситуации.

4. Предложена модель результирующей оценки текущего эксплуатационного состояния гидроагрегата, основанная на учете состояния параметров контроля. Эта модель позволяет решать задачу выбора наилучшего состава работающих агрегатов.

5. Разработана методика определения прогнозной оценки ситуации, позволяющая проследить развитие ухудшения эксплуатационного состояния гидроагрегата.

#### **Практическая ценность и реализация результатов.**

Основные практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Все рассмотренные нечеткие интервалы параметров контроля являются безразмерными и дают реальную возможность достаточно просто интерпретировать текущую ситуацию на гидроагрегате для оперативного персонала.

2. Предложенная модель сравнения параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата позволяет проранжировать их по степени важности и выявить наиболее приоритетные из них.

3. Принципы получения результирующей оценки состояния гидроагрегата на основе состояния большинства его параметров позволяют оценивать ситуацию на гидроагрегате в контуре превентивного управления станцией.

4. Впервые для целей управления реализована модель оценки степени взаимного влияния одних параметров контроля на другие, которая позволяет получать прогноз возможного ухудшения состояния гидроагрегата.

5. Разработанные модели были реализованы для параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов Новосибирской ГЭС. Результаты могут быть использованы в качестве фундамента для информационной базы данных подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений ЛППР в задачах управления режимами ГЭС.

#### **Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Основные принципы построения подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений.

2. Модель представления параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата в виде нечетких интервалов на основе реальных настроек устройств автоматики на гидроагрегате.

3. Модель определения степени значимости параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата, основанная на сравнении нечетких интервалов.

4. Модель получения результирующих оценок текущего эксплуатационного состояния, основанная на учете степени важности контролируемых параметров этого состояния.

5. Модель прогнозной оценки ухудшения состояния гидроагрегата, основанная на оценках степени взаимного влияния параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры "Системы электроснабжения предприятий" Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), на всероссийской научной конференции молодых ученых "Наука, технологии, инновации" в 2008 и 2009 гг. в г. Новосибирске, на конференции "Современные техника и технологии" (ТПУ, г.Томск, 2009 г.), на Днях Науки НГТУ в 2009, 2010 гг., «Энергетика: экология, надежность, безопасность» (ТПУ, г.Томск, 2009 г.), «Электроснабжение в сельском хозяйстве», IFOST- 2009 и др. Предложенный методический подход использован в учебном процессе: введен в качестве самостоятельного раздела в курс "Выбор и принятие решений", «Гидроэнергетика»; в магистерских диссертациях и бакалаврских работах по направлению 140200 «Электроэнергетика», что подтверждается актом о внедрении.

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 11 печатных работ, в том числе 2 научных статьи в рецензируемых изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ; 9 статей в материалах международных и всероссийских научных конференций.

**Объем и структура работы.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Основное содержание диссертации изложено на 156 страницах, содержит 28 рисунков и 6 таблиц. Список использованных источников содержит 89 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** показана актуальность проблем, возникающих при оперативном управлении ГЭС и обоснована необходимость их решения; сформулированы цель и задачи исследования, положения научной новизны, отражена практическая ценность результатов, описана структура диссертации в целом.

В **первой главе** «Принципы управления гидроэлектростанцией» рассмотрены основные задачи эксплуатации, проблемы, возникающие при реше-

нии этих задач, и пути их решения, а также структура и средства управления режимами гидроэлектростанций.

Проведенные исследования и опыт эксплуатации гидроэлектростанций доказали, что довольно высокий уровень эффективности управления достигается за счет объединения отдельных частей производства в единый управляющий комплекс с использованием программно-технических средств и развития автоматизированной системы управления и контроля технологического процесса гидроэлектростанцией — АСУ ТП ГЭС.

В главе представлены основные принципы, лежащие в основе АСУ ТП ГЭС, современные средства и способы реализации этих систем, а также структура управления ГЭС в условиях АСУ. Изучены функции и требования, предъявляемые к программно-техническому комплексу АСУ ТП (ПТК), а также схемы и новейшие разработки таких систем, применяемых в энергетике.

Большой класс задач на гидроэлектростанции решается в контуре оперативного управления. Основопологающей для оперативного управления ГЭС является методология ситуационного управления. В этой области человек принимает решения в условиях многоцелевого характера управления, учитывает не только детерминированную и вероятностную информацию, но и неточную, имеющую, как правило, расплывчатый характер, а также оперирует набором альтернатив для выбора определенного решения.

Кроме того, каждый акт процесса управления, начиная от выбора и принятия решения и заканчивая формированием управляющего воздействия на объект управления, требует своего специфического уровня (языка) описания ситуации. Это подразумевает не единый уровень описания, а некоторый кластер этих уровней (рис. 1).

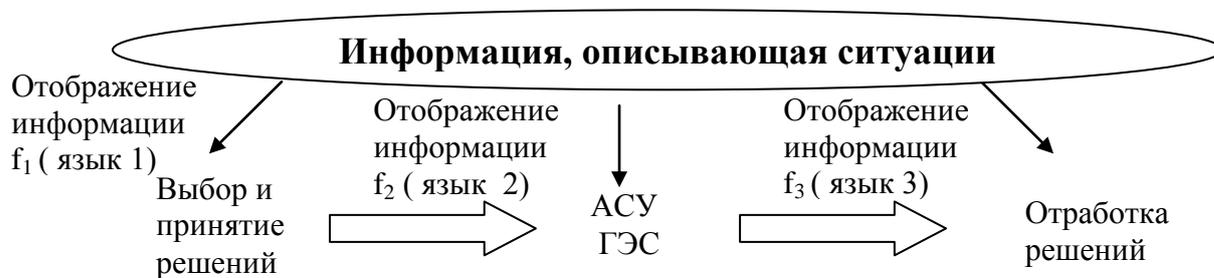


Рис.1. Информация при ситуационном управлении ГЭС

Наименее структурированным является язык 1, так как на этапе выбора и принятия решений информация обрабатывается человеком. Это определяет необходимость интерпретации и адаптации информации о текущем состоянии. Упростить решение этой задачи может подсистема интеллектуальной поддержки принятия решений (ИНПОР).

Организовать работу такой подсистемы возможно в контуре превентивного управления, являющегося одним из видов оперативного управления. Этот вид управления подразумевает принятие решения на временном отрезке, когда изменение параметра вышло из номинального диапазона, но не достигло критического значения, при котором происходит аварийное отключение гидроагрегата. В этом контуре процесс принятия и реализации прогнозируемых управ-

ленческих решений направлены на предотвращение аварийной ситуации на станции. В таком управлении важна роль человека, который должен организовать процесс принятия решений.

Основными инструментами превентивного управления являются мониторинг, диагностирование, прогнозирование изменения текущей ситуации на объекте и своевременная реализация управляющих воздействий, направленных на возвращение объекта в нормальное состояние.

Для работы в контуре превентивного управления необходима систематизация информации о показателях эксплуатационного состояния гидроагрегата и оперативная комплексная оценка всех факторов. Причем представление этой информации должно быть понятным для ЛПР. Это доказывает целесообразность создания подсистемы ИНПОР, которая могла бы на базе получаемой информации выдавать «совет» по изменению текущей ситуации на этапе выбора и принятия решений.

Неполнота информации о текущем состоянии гидроагрегата, наличии неточной информации, присутствии субъективной интерпретации информации ЛПР делает необходимым использование не только стохастических и эвристических методов прогнозирования, но и теории нечетких множеств.

На основе проведенного анализа оперативного управления ГЭС сформированы основные принципы построения подсистемы ИНПОР:

1. В основе подсистемы лежит ситуационный подход к управлению.
2. Информация, предоставляемая подсистемой, предназначена для принятия решений в контуре превентивного управления.
3. Построение подсистемы базируется на теории нечетких множеств, что даст возможность единого описания всех эксплуатационных параметров при изменении режима работы станции.
4. Информация, предоставляемая такой подсистемой, должна быть понятной ЛПР, чтобы минимизировать время принятия решения.
5. Реализация программного комплекса подсистемы ИНПОР осуществляется совместно с информационно-технологическим управлением АСУ ТП ГЭС.

Использование такой подсистемы с применением компьютерных технологий сбора и обработки информации обеспечивает непрерывность контроля и мониторинга и дает возможность анализа динамики развития процесса, а также позволяет повысить эффективность оперативного управления за счет принятия решений, полученных при анализе наиболее рациональных вариантов.

**Вторая глава** «Анализ возможности использования теории нечетких множеств для контроля и мониторинга эксплуатационного состояния гидроагрегата» посвящена способам и средствам получения информации об эксплуатационном состоянии гидроагрегата, а также исследованию применения теории нечетких множеств в системах управления крупными объектами.

Для разрабатываемой подсистемы ИНПОР информационной базой служат данные, получаемые в результате контроля и мониторинга многочисленных параметров эксплуатационного состояния гидроагрегата. По результатам этой информации можно судить о текущем состоянии всего агрегата.

Контроль и мониторинг состояния оборудования ГЭС рассматриваются как самостоятельные задачи технологического управления. Приводится классификация параметров контроля эксплуатационного состояния гидротехнических сооружений, гидроагрегата и режимов станции, обзор современных средств контроля и мониторинга.

Под гидроагрегатом в работе понимается турбина, генератор и блочный трансформатор. Количество параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата велико. Получение интегрированной оценки эксплуатационного состояния гидроагрегатов является обязательным условием для создания интеллектуальной поддержки при принятии решений ЛПР об изменении режима работы станции в контексте ситуационного управления.

*Информационное пространство параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата.* Входной информацией для подсистемы ИНПОР агрегата являются получаемые различными методами и средствами контроля данные, среди которых: данные о срабатываниях защит, данные температурного контроля, данные вибрационного контроля, данные других видов контроля, результаты осмотров и испытаний, время эксплуатации; текущий режим гидроагрегата.

Несмотря на то, что процесс контроля параметров оборудования на современных ГЭС выполняется в рамках АСУ ТП, процесс принятия решения в контуре оперативного управления все же затруднен наличием большого количества информации (около 100 параметров эксплуатационного состояния на каждый ГА), сложностью ее представления и интерпретации для ЛПР, и различной размерностью параметров.

Как правило, задачи контроля соотносят только с видом объекта управления. В этом случае возникает необходимость решения одинаковых задач для контроля состояния генератора и подпятника, подшипников и бьефов, механического оборудования и гидротехнических сооружений. При этом однотипные задачи, решаемые с использованием различных методов и технических средств, нередко дают различные результаты. Существенно правильнее после определения параметров состояния и способов их контроля найти их общность, унифицировать методы и аппаратуру, с помощью которых эти задачи решаются.

*Применение теории нечетких множеств для оценки текущего состояния гидроагрегата.* В главе проведен анализ практического опыта использования теории нечетких множеств для систем управления. Математический аппарат теории нечетких множеств в настоящее время может быть использован как основной аппарат описания многоуровневых иерархических систем и процессов принятия решений в сложных системах. Существенным недостатком при этом является отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем.

Рассмотрим возможность создания моделей формализации различных видов информации об эксплуатационном состоянии работающих на станции агрегатов (для подсистемы ИНПОР в контуре превентивного управления ГА) на основе теории нечетких множеств.

Пусть  $X$  — некоторое множество элементов (в обычном смысле). Нечетким множеством  $C$  в  $X$  называется совокупность пар вида  $(x, \mu_C(x))$ , где  $x \in X$ , а

$\mu_C(x)$  - функция, называемая *функцией принадлежности* нечеткого множества  $C$ , данная функция принимает значения из интервала  $[0,1]$ .

Функцию принадлежности часто представляют в виде нечеткого интервала. При этом появляется возможность исчислять эти величины и сравнивать их между собой. Последнее обстоятельство является особенно важным для получения оценок эксплуатационного состояния ГА, так как становится возможным проранжировать их, т.е. «взвесить» их по информационной ценности для принятия решения ЛПР.

Наиболее общим является колоколообразный вид нечеткого интервала (рис.2). Параметрическое описание такого интервала при условии его нормировки можно представить в виде четверки следующих параметров:

$$M = (\underline{m}, \overline{m}, \alpha, \beta), \quad (1)$$

где  $\underline{m}, \overline{m}$  – нижнее и верхнее модельное значение нечеткого интервала  $M$  соответственно;  $\alpha, \beta$  - левый и правый коэффициенты нечеткости соответственно.

Для представления параметров контроля текущего эксплуатационного состояния ГА в виде нечетких интервалов можно воспользоваться объективной

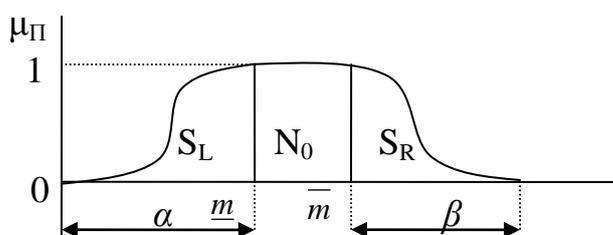


Рис.2. Графическая форма представления колоколообразного нечеткого интервала:  $N_0$  - ядро нечеткого интервала,  $S_L, S_R$  – левый и правый носители нечеткости.

информацией, которую дают срабатывания устройств релейной защиты и автоматики.

В общем случае, для учета состояния оборудования в нормальном режиме работы можно ограничиться информацией, получаемой по факту срабатывания предупредительной сигнализации на гидроагрегатах. Поскольку предупредительный сигнал не является аварийным, то управление, направленное на предотвращение возможно аварийной ситуации, является превентивным.

В третьей главе «Разработка модели оценки значимости параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегатов» предложены модели представления текущей информации о состоянии ГА в виде нечетких интервалов, а также модель оценки важности параметров контроля эксплуатационного состояния.

Текущие ситуации на станции (режим работы)  $S_t^Э$  и  $S_t^Н$  определяются рядом экономических и надежности параметров  $R_Э^*$  и  $R_Н^*$ , которые характеризуют фактическое состояние работающего оборудования в момент времени  $t$ . В связи с этим возникает закономерный вопрос о размерности режимных параметров, контроль которых позволяет определить  $R_Э$  и  $R_Н$  и на их основании получить оценки ситуаций  $S_t^Э$  и  $S_t^Н$ .

Получение экономической оценки ситуации широко описано в литературе и не рассматривается в диссертационной работе.

В отличие от экономичности режимные параметры, характеризующие эксплуатационную надежность блока, достаточно многочисленны. Они образуют многомерное пространство вида

$$R_n = (R_m, R_v, R_{эл}, R_y, R_{пр}), \quad (2)$$

где  $R_m, R_v, R_{эл}, R_y, R_{пр}$  - параметры температурного, вибрационного, электрического состояний, параметры, характеризующие отклонение уровней воды и масла, давления воздуха на контролируемых узлах блока, а также ряд прочих параметров соответственно.

Отсутствие строгих моделей расчета текущего износа энергетического блока делает необходимым косвенный учет эксплуатационной надежности на основе контроля изменения многочисленных параметров в соответствии с (2). Это требует разработки специальных процедур их получения, приведение параметров к единой размерности, а также ранжированию контролируемых параметров, так как степень их информационной ценности для принятия решения в контуре оперативного управления в общем случае различна.

Предлагается методика оценивания контролируемых параметров, характеризующих эксплуатационное состояния ГА, реализация которой подразумевает несколько этапов:

1. Оценка важности контролируемых параметров блока (с точки зрения их информационной ценности для принятия решения) вне зависимости от текущей ситуации, а определяемой только степенью ответственности контроля за отдельным узлом гидроагрегата. Такую оценку можно назвать «базовой»:

$$B(\Pi_i) = (R_n, i = 1, \dots, n), \quad (3)$$

где  $i$  - номер контролируемого параметра  $\Pi$ , определяющего эксплуатационную надежность агрегата  $R_n$ .

2. Получение «текущих» оценок, которые характеризуют степень эксплуатационной надежности агрегата в момент принятия решения  $t$ . Очевидно, что эти оценки непосредственно определяются текущей ситуацией на станции.

$$T(\Pi_j) = (R_n, j = 1, \dots, k), \quad (4)$$

где  $j$  - номер контролируемого параметра  $\Pi$ , значение которого в текущий момент времени  $t$  отклоняется (или не отклоняется) от номинального значения.

3. Определение «результатирующих» оценок эксплуатационной надежности для каждого работающего в данный момент времени гидроагрегата. Они могут быть получены путем наложения «текущих» оценок контролируемых параметров на их «базовые», в частности, в виде произведения:

$$J(\Pi_i) = (R_n, B(\Pi_i) \times T(\Pi_i), i = 1, \dots, n). \quad (5)$$

Это будет означать формирование некоторого уровня описания («языка 1» в соответствии с рис. 1), который является проекцией отображения  $f_1$  в общем информационном пространстве режимных параметров станции. На основе  $J(\Pi_i)$  ЛПР может принять решение и также оценить состояние агрегата с целью вывода или невывода его в ремонт.

Для определения этих оценок целесообразно использовать теорию нечетких множеств. Для такого утверждения есть следующие основания:

1. Единый информационный и методологический подход к определению как базовых, так и текущих оценок эксплуатационной надежности на основе теории нечетких множеств.

2. Объективность получения оценок  $V(\Pi_i)$  и  $T(\Pi_i)$ , так как построение и расчет нечетких интервалов опирается на используемые на станции способы настройки автоматических устройств контроля состояния оборудования. Перенастройка устройств контроля, связанная с изменением номинального диапазона или уставок отключения, приводит к простому пересчету параметров тех нечетких интервалов, для которых она имела место.

3. Отсутствие громоздких расчетов, связанных со статистической обработкой случайных изменений значений контролируемых параметров, простота расчета.

Существующая система контроля эксплуатационной надежности гидроагрегата позволяет получать диагностическую информацию о состоянии оборудования, которая может быть использована при превентивном управлении составом работающего на станции оборудования.

В связи с различной размерностью параметров, образующих информационное пространство контроля, что усложняет процесс адаптации информации для ЛПР, на первый план выходит задача максимального удобства моделей оценки состояния для восприятия. Это позволит сократить время принятия решений в контуре превентивного управления.

Проведенные исследования показали целесообразность использования в моделях расчета базовых показателей эксплуатационной надежности теории нечетких множеств. Это позволяет унифицировать значения параметров и создать единое информационное пространство для их представления.

*Построение функций принадлежности параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата.*

Каждый из контролируемых параметров, образующих  $R_H$ , можно представить в виде нечетких интервалов по следующим соображениям. Контроль параметра  $\Pi_i \in R_H$ , как правило, на ГЭС ведется автоматически, причем определенный диапазон изменения параметра характеризует нормальное состояние контролируемого элемента (ядро нечеткого интервала), а ухудшение его значения вплоть до уставки автоматического отключения контролируемого элемента можно интерпретировать как носитель нечеткости этого интервала. Очень важным является тот факт, что используемый при этом способ настройки автоматических датчиков позволяет представить нечеткий интервал в линеаризованном виде, что значительно упрощает расчет нечетких интервалов без снижения качества его описания.

Предупредительная сигнализация охватывает практически все элементы агрегатного блока и его вспомогательного оборудования, следовательно, возможно получить достаточный объем диагностической информации об его работоспособности.

С точки зрения информационной ценности полученных оценок для ЛПР все контролируемые параметры можно представить в виде нечетких интервалов трех типов, изображенных на рис. 3.

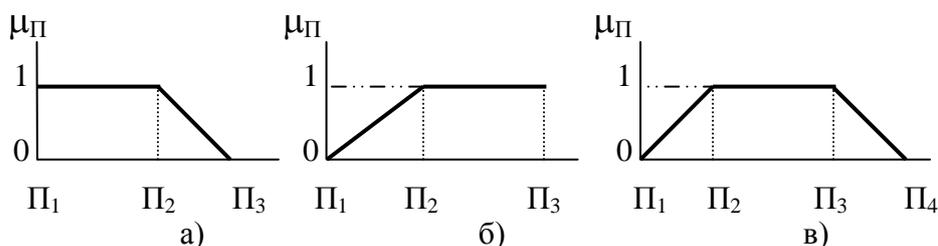


Рис.3. Виды нечетких интервалов, описывающие изменение контролируемого параметра  $P$  гидроагрегата: а)- невозрастающий интервал, б)- неубывающий интервал, в) – трапециевидный интервал

Соответствие параметра виду нечеткого интервала определяется в зависимости от того, изменение параметра относительно номинала в сторону увеличения или уменьшения приведет к ухудшению работы оборудования.

Проведенный анализ систем контроля эксплуатационного состояния ГА Новосибирской ГЭС, которые охватывают 83 основных контролируемых параметра, показывает, что процесс контроля его основных узлов можно уверенно представить одним из трех типов нечетких интервалов.

Рассмотрим нечеткий интервал с позиции управления. На рис. 4 смоделированы этапы управления в зависимости от значения функции принадлежности (для неубывающего интервала).



Рис.4. К моделированию управления процессами в виде нечетких множеств

Для реализации сравнения нечетких интервалов с целью определения их приоритетности, важное значение имеет приведение их к единой шкале, так как каждый из контролируемых параметров имеет как различную размерность, так и различный диапазон изменения значений контролируемого параметра. Для этой цели все нечеткие интервалы можно взвесить и промасштабировать унифицированным образом. Так, для интервалов первого типа (рис. 3,а) параметры его описания могут быть получены следующим образом:

$$\underline{m}^* = (P_1 / P_1) \cdot 100 \quad \bar{m}^* = (P_2 / P_1) \cdot 100 \quad \beta^* = (P_3 / P_1) \cdot 100 - \bar{m}^* \quad (6)$$

Для нечетких интервалов второго типа (рис. 3,б) его параметры рассчитываются как

$$\underline{m}^* = (P_2 / P_3) \cdot 100 \quad \bar{m}^* = (P_3 / P_3) \cdot 100 \quad \alpha^* = \underline{m}^* - (P_1 / P_3) \cdot 100 \quad (7)$$

Нечеткий интервал третьего типа (рис. 3,в) представляется как совокупность интервалов первого и второго типа. Учитывая обозначения, приведенные на рис.3, формулы унифицированного пересчета для интервала второго типа (рис. 3,б) остаются теми же самыми, а для нечеткого интервала первого типа в выражение (6) вводятся следующие коррективы:

$$P_1=P_2; P_2=P_3; P_3=P_4. \quad (8)$$

Рассмотрим пример получение нечеткого интервала и функции принадлежности параметра «Уровень масла в котле маслонапорной установки (МНУ)». При расчете использовались данные карт уставок защит Новосибирской ГЭС.

Отклонение значений этого параметра в сторону увеличения или снижения относительно допустимой величины приведет к ухудшению работы, следовательно, параметр может быть представлен трапециевидным нечетким интервалом. Трапециевидный нечеткий интервал (рис. 3,в) описывается двумя функциями принадлежности.

Номинальные данные параметра «Уровень масла в котле МНУ»: нижнее модальное значение  $\underline{m} = 3,8 \text{ м}^3$ , верхнее модальное значение  $\bar{m} = 7,2 \text{ м}^3$ , левый коэффициент нечеткости  $\alpha = 0,3 \text{ м}^3$ , правый коэффициент нечеткости  $\beta = 0,1 \text{ м}^3$ . Согласно (6)-(8) получаем приведенные безразмерные значения:

$$\underline{m}^* = 52,78; \quad \bar{m}^* = 189,4; \quad \alpha^* = 4,17; \quad \beta^* = 2,63.$$

На рис.5 представлены графическая и математическая формы функции принадлежности.

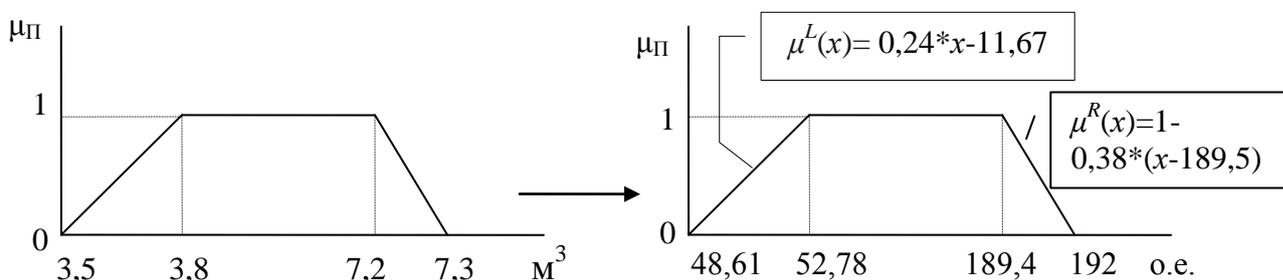


Рис.5. Получение функции принадлежности для параметра «Уровень масла в котле МНУ»

Важно, что полученные выражения являются безразмерными, что упрощает сравнение между собой для оценки их приоритета.

*Получение базовых оценок параметров эксплуатационного состояния гидроагрегата.* Базовая оценка определяет уровень значимости параметра состояния, степень его приоритетности в общем пространстве параметров контроля. Чем выше эта оценка, тем опаснее для агрегата отклонение этого параметра от номинального диапазона.

Промасштабированные унифицированным образом нечеткие интервалы позволяют произвести их упорядочение и ранжировку на основе двух численных мер:  $\text{Pos}(\bar{Y}_1 \geq \underline{Y}_2)$  – мера возможности того, что наибольшие значения параметра  $Y_1$  будут по меньшей мере равны наименьшим значениям параметра  $Y_2$  для невозрастающих нечетких интервалов;  $\text{Pos}(\bar{Y}_1 > \bar{Y}_2)$  – мера возможности того, что наибольшие значения параметра  $Y_1$  будут больше наибольших значений

параметра  $Y_2$  для неубывающих нечетких интервалов; для трапециевидного интервала рассчитываются обе численные меры. Задача непосредственного вычисления значений этих мер сводится к отысканию точек пересечения соответствующих функций принадлежности.

Базовая оценка  $i$ -го параметра определяется по выражению:

$$\text{Pos}_{\delta i} (\bar{Y}_i > \bar{Y}_j) = \max (0, \min (1, \text{Pos}_{i-1}; \text{Pos}_{i-2}; \dots; \text{Pos}_{i-j}, \dots, \text{Pos}_{i-N})), \quad (9)$$

где  $\text{Pos}_{i-j}$  определяются путем попарного сравнения параметров друг с другом,  $N$ -общее количество параметров контроля.

Определенные таким образом численные меры возможностей позволяют заведомо рассчитать шкалу приоритетности контроля эксплуатационных параметров, то есть получить *количественную* и *объективную* оценку информационной важности контролируемых параметров по каждому гидроагрегату.

Тогда множество параметров контроля можно упорядочить по значениям этих показателей:

$$B(\Pi_i) = (\text{Pos}_{\delta 1}, \text{Pos}_{\delta 2}, \dots, \text{Pos}_{\delta N}), \text{ где } i = 1, \dots, N. \quad (10)$$

*Анализ результатов.* Для 50 параметров контроля были получены базовые оценки и проведена ранжировка полученных значений. Из результатов расчета следует, что наиболее высокий приоритет имеют параметры контроля исправности работы гидротурбины (расход на смазку турбинного подшипника –  $\text{Pos}_{\delta} = 0,781$ ) и генератора. Например, бой вала нижнего генераторного подшипника, характеризующий вибрационное состояние блока имеет базовую оценку 0,657. Параметры, характеризующие температуру железа и меди статора также имеют высокий приоритет ( $\text{Pos}_{\delta} = 0,5$ ).

Среди наименее приоритетных оказались такие параметры как снижение уровней масла в ваннах генераторных подшипников и в сливном баке МНУ. Значение базовой оценки для этих параметров ниже 0,1. Действительно, снижение этих параметров (как правило, незначительное) не приводит к радикальному изменению режима работы, например, к отключению агрегата.

Результаты, полученные на Новосибирской ГЭС, и ранее на таких станциях как Красноярская и Воткинская, позволяют считать предложенную методику универсальной, т.к. она дает возможности учитывать специфические особенности каждой ГЭС.

Эта информация может быть использована ЛПР в контуре превентивного управления. Базовая оценка укажет на те параметры контроля, на которые стоит обратить внимание в первую очередь при их отклонении, потому что *чем выше базовая оценка, тем опаснее отклонение этого параметра от номинала.*

**В четвертой главе «Разработка моделей оценки текущего эксплуатационного состояния гидроагрегата»** представлены модель расчета текущих и результирующих оценок параметров ГА, модель определения наилучшего с точки зрения эксплуатационного состояния состава работающего на ГЭС оборудования, предложен подход и методика прогнозирования ухудшения состояния ГА на основе оценок степени взаимного влияния параметров.

*Моделирование текущих оценок эксплуатационного состояния оборудования гидроагрегата на станции.* Текущие оценки параметров эксплуатацион-

ного состояния ГА могут быть получены на основании расчета текущих оценок по фактическим замерам значений контролируемых параметров, представленных в виде нечетких интервалов.

Так как диапазон изменения контролируемых параметров можно представить в виде нечетких интервалов (рис. 3), то модель получения текущих оценок будут зависеть от его типа. Общим для них является то, что если значение параметра  $\Pi_i$  (фактическое значение температуры, давления, амплитуды вибрации и др.) при проведении текущего контроля (замера) находится в номинальном диапазоне, то это означает его попадание в ядро нечеткого множества и текущая оценка определяется как  $\mu_i^0 = 1$ .

Если контролируемый параметр представляется нечетким интервалом первого типа (рис.3,а), то при выходе его значения за номинальный диапазон ( $\Pi_i > \Pi_2$ ) величина фактического замера оказывается внутри правого носителя нечеткости  $S_R$ . В этом случае, текущая оценка может быть получена как

$$\mu_i^R = 1 - (\Pi_i^* - \bar{m}^*) / \beta^*, \quad (11)$$

где  $\beta^*$  и  $\bar{m}^*$  определяются по (6);  $\bar{m}^* = (\Pi_i / \Pi_1) \cdot 100$ , причем  $\Pi_i$  определяется текущим значением замера.

Если контролируемый параметр описывается нечетким интервалом второго типа (рис.3,б), то при выходе фактического замера за номинальный диапазон ( $\Pi_i < \Pi_2$ ) он оказывается внутри области левого носителя нечеткости  $S_L$  и его текущая оценка может быть рассчитана следующим образом:

$$\mu_i^L = (\Pi_i^* - \Pi_1^*) / \alpha^*, \quad (12)$$

где  $\alpha^*$  определяется по (7);  $\bar{m}^* = (\Pi_1 / \Pi_3) \cdot 100$ ;  $\underline{m}^* = (\Pi_i / \Pi_1) \cdot 100$ .

Если контролируемый параметр представляется нечетким интервалом третьего типа (рис.3,в), то фактический замер  $\Pi_i$  может оказаться либо в области левого носителя нечеткости  $S_L$ , либо внутри правого носителя нечеткости  $S_R$ , так как одновременное снижение и увеличение значения  $\Pi_i$  является событием невозможным. Тогда в первом случае текущая оценка определяется как  $\mu_i^L$  по выражению (12), а во втором случае – как  $\mu_i^R$ , которая рассчитывается по (11) с учетом корректировки обозначений, указанных в (8).

Текущие оценки  $\mu_i^L$  или  $\mu_i^R$  принимают нулевое значение в том случае, когда ухудшение контролируемого параметра  $\Pi_i$  достигает уставки отклонения агрегата, а оценка  $\mu_i^0$ , как уже отмечалось, равна 1 во всем номинальном диапазоне изменения параметра  $\Pi_i$ . Учитывая единую информационно-диагностическую ценность базовых и текущих оценок, суть которой может быть сформулирована как определение наихудшего режимного параметра с точки зрения эксплуатационной надежности работы агрегата, необходимо осуществить преобразование текущих оценок в виде  $(1 - \mu_i)$ . Имея в виду условие нормировки нечетких интервалов, это преобразование является строгим.

Для моделирования «текущих замеров» был использован датчик псевдослучайных чисел по равномерному закону распределения вероятностей случайных величин.

Множество текущих оценок на момент принятия решения ЛПР об изменении (или неизменности) режима работы станции может быть записано следующим образом:

$$T(\Pi_i) \subseteq ((1 - \mu_i^O) \cup (1 - \mu_i^R) \cup (1 - \mu_i^L)) \mid \forall i = 1, \dots, k, \quad (13)$$

где  $k$  – общее число параметров, контроль которых был осуществлен на момент принятия решения.

*Модель расчета результирующей оценки эксплуатационного состояния гидроагрегата станции.* Результирующая оценка в соответствии с (5) представляет собой произведение базовой оценки на текущую. Поэтому ее получение зависит от используемых процедур (моделей) получения базовых и текущих оценок.

Рассмотрим пример получения результирующих оценок параметра контроля эксплуатационного состояния ГА Новосибирской ГЭС «Уровень масла в котле МНУ», номинальные данные и функции принадлежности которого описаны выше.

Смоделированы шесть случайных значений фактической величины уровня в котле МНУ в м<sup>3</sup> в диапазоне, отличном от нормального, три из которых характеризуют отклонение параметра в сторону увеличения, три – в сторону уменьшения относительно номинального диапазона работы. Затем получены текущие оценки  $T_{\Pi}$  по (4) и результирующие оценки  $J_{\Pi}$  рассчитаны по (5).

Результирующие оценки по каждому параметру ГА станции в сумме образуют результирующую оценку эксплуатационного состояния всего агрегата. Выражение (14) отображает математическую модель получения результирующих оценок эксплуатационного состояния  $N$  агрегатов станции.

$$\begin{aligned} J_{\Pi_1}^{GA_1} + J_{\Pi_2}^{GA_1} + \dots + J_{\Pi_i}^{GA_1} + \dots + J_{\Pi_m}^{GA_1} &= J_{\Sigma}^{GA_1} \\ \dots\dots\dots & \\ J_{\Pi_1}^{GA_j} + J_{\Pi_2}^{GA_j} + \dots + J_{\Pi_i}^{GA_j} + \dots + J_{\Pi_y}^{GA_j} &= J_{\Sigma}^{GA_j} \\ \dots\dots\dots & \\ J_{\Pi_1}^{GA_N} + J_{\Pi_2}^{GA_N} + \dots + J_{\Pi_i}^{GA_N} + \dots + J_{\Pi_l}^{GA_N} &= J_{\Sigma}^{GA_N} \end{aligned} \quad , \quad (14)$$

где  $\Pi_i$  – контролируемый параметр на гидроагрегате,  $J_{\Pi_i}^{GA_j}$  - результирующая оценка эксплуатационной надежности параметра  $\Pi_i$ ,  $1 \dots N$  – номера гидроагрегатов на станции,  $m, k, y, l$  – количество контролируемых параметров на 1, 2,  $j$ ,  $N$  агрегатах соответственно.

Если параметр не выходит за номинальный диапазон, то результирующая оценка  $J_{\Pi_i}^{GA_N}$  будет равна 0, потому что текущая оценка  $T_{\Pi_i}^{GA_N}$  для этой ситуации будет равна 0. Если все параметры контроля эксплуатационного состоя-

ния ГА находятся в номинальном диапазоне, то результирующая оценка по блоку в целом также будет равна 0. В этом случае предпринимать каких-либо действий нет необходимости. Если текущая ситуация на станции приводит к увеличению  $J_{\Sigma}^{GA_N}$ , то она будет характеризовать ухудшение эксплуатационного состояния. Чем ближе  $J_{\Sigma}^{GA_N}$  к 1, тем быстрее необходимо выводить агрегат из работы.

Оценка  $J_{\Sigma}^{GA_N}$  показывает общее состояние гидроагрегата N в реальном масштабе времени. В контуре оперативного управления эта оценка, выдаваемая подсистемой интеллектуальной поддержки принятия решений, позволит ЛПР оценить текущую ситуацию на ГЭС и принять своевременное решение по ряду задач, например, по определению наилучшего состава работающего на станции оборудования. Состав определяется путем сравнения результирующих оценок. Так, если  $J_{\Sigma}^{GA_1} > J_{\Sigma}^{GA_2}$ , следовательно, предпочтительнее включить в работу агрегат № 2, так как его результирующая оценка, характеризующая возможность ухудшения эксплуатационного состояния ГА, ниже.

*Модель прогноза изменения состояния гидроагрегата.* Из-за технологической сложности производственного процесса на ГЭС выход одних параметров за номинальный диапазон зачастую приводит к отклонению других. Так, например, увеличение температуры подпятника генератора повлечет за собой увеличение температуры масла в ванне подпятника. Однако, развитие ситуации не всегда очевидно. Количество параметров контроля эксплуатационного состояния очень велико, и оценить повлечет ли за собой изменение того или иного параметра изменение других, и как следствие, ухудшит общую ситуацию на ГА, бывает весьма сложно. Такая информация могла бы помочь в обеспечении прогноза развития ситуации. Следовательно, при управлении режимами ГЭС в темпе процесса важен учет информации о взаимном влиянии параметров.

Интуитивно опытный специалист при управлении режимами работы ГЭС представляет последствия, которые повлечет за собой отклонение того или иного параметра ГА. Однако в оперативном режиме время на обработку информации и принятие решения ограничено. Все это снижает возможность объективной оценки ситуации и выбора наилучшего решения. Поэтому включение в функции подсистемы ИНПОР задачи учета взаимного влияния параметров и прогноза их воздействие на общую ситуацию на агрегате может предоставлять весьма ценную информацию для оперативного управления.

Для решения этой задачи необходима разработка модели учета взаимного влияния параметров, описывающая цепочку событий, которые могут произойти на ГА при отклонении от номинала значения того или иного параметра и уровня опасности в будущем. Бесспорно, что такая модель должна работать в контуре превентивного управления.

В современной науке используются различные модели и методы прогнозирования. Все они основаны на использовании статистической информации, к

которой предъявляются определенные требования по объему и по качеству данных.

В связи с отсутствием статистических данных по развитию ухудшения эксплуатационного состояния в работе предложен другой путь, а именно: получение информации от экспертов из числа разработчиков, проектировщиков и оперативного персонала гидростанции, в том числе дежурные инженеры станции, а также сотрудники службы технологического управления гидростанцией.

Хотелось бы отметить важную особенность проведения такой экспертизы. Она заключается в том, что весовые оценки, которые должны определить эксперты, представляют собой не числа, а нечеткие суждения. Например, если изменился один из контролируемых параметров, то это может: *не повлиять* на изменение других; *слабо повлиять*; *сильно повлиять* и т.д. Такой способ получения информации весьма целесообразен, т.к. он органически связан со способом человеческого мышления.

*Целью* экспертизы является выявление наличия и степени взаимовлияния параметров контроля эксплуатационного состояния гидрогенератора.

В качестве экспертов выступили сотрудники Новосибирской ГЭС в количестве 9 человек. Для проверки работоспособности предложенной модели были рассмотрены не все параметры контроля состояния ГА, а только те, которые характеризуют состояние работы гидрогенератора (18 параметров).

Чтобы оценить надежность полученных оценок, по каждому фактору рассчитывался коэффициент согласованности по выражению (14).

$$\mu_j = 1 - \sigma(x_j) / M(x_j), \quad (14)$$

где  $M(x_j) = (x_{ij}) / n$  - математическое ожидание оценки  $j$ -го фактора,  $x_{ij}$  - оценка  $i$ -го эксперта по  $j$ -му фактору,  $\sigma(x_j) = \sqrt{D(x_j)}$ .

Средневзвешенный коэффициент согласованности мнений экспертов равен 0,78. Это позволяет говорить о том, что полученные оценки являются надежными.

Эти значения могут быть использованы при моделировании прогнозной ситуации на генераторе.

*Модель определения прогнозного состояния гидроагрегата с учетом взаимного влияния параметров.* Как отмечено выше, каждый параметр контроля эксплуатационного состояния ГА характеризуется величиной базовой оценки  $B_{Pi}$  (3). Кроме этого, если происходит отклонение параметра от номинальных значений, необходимо рассчитать текущую оценку  $T_{Pi}$  (4). Таким образом, изменение ситуации будет характеризоваться результирующей оценкой  $J_{Pi}$ , определяемой по (5).

Общий вид такой модели представлен следующим образом:

$$J_{Pi} + B_1 \cdot k_{j-1} + B_2 \cdot k_{j-2} + \dots + B_i \cdot k_{j-i} + \dots + B_N \cdot k_{j-N} = F_{Pi}, \quad (15)$$

где  $J_{Pi}$  - результирующая оценка  $j$ -го параметра, значение которого вышло за нормальный диапазон, что повлекло за собой появление текущей оценки в настоящий момент времени  $t_{НАСТ}$ ;  $B_1 \dots B_N$  - базовые оценки параметров, на кото-

рые оказывает влияние отклонившийся  $j$ -й параметр;  $k_{j-i}$  - коэффициент, характеризующий степень влияния  $j$ -го параметра на  $i$ -й параметр, причем  $j \neq i$ ;  $N$  - общее число параметров;  $F_{\Pi j}$  - величина прогнозной оценки возможного ухудшения ситуации при отклонении  $j$ -го параметра в последующий момент времени  $t_{\text{посл}}$ .

Величина  $k_{j-i}$ , полученная экспертным путем, показывает, насколько повлияет изменение одного параметра на ряд других. В некотором роде его можно назвать нечетким коэффициентом корреляции.

В качестве примера работы модели (15) рассмотрим получение прогноза по изменению состояния гидрогенератора при отклонении параметра «Температура охлаждающего воздуха статора».

Базовые оценки других параметров генератора  $B_{\Pi i}$  и  $k_{j-i}$  получены согласно методикам, описанным выше. На рис. 6 отображено моделирование развития ситуации и получения прогнозной оценки.

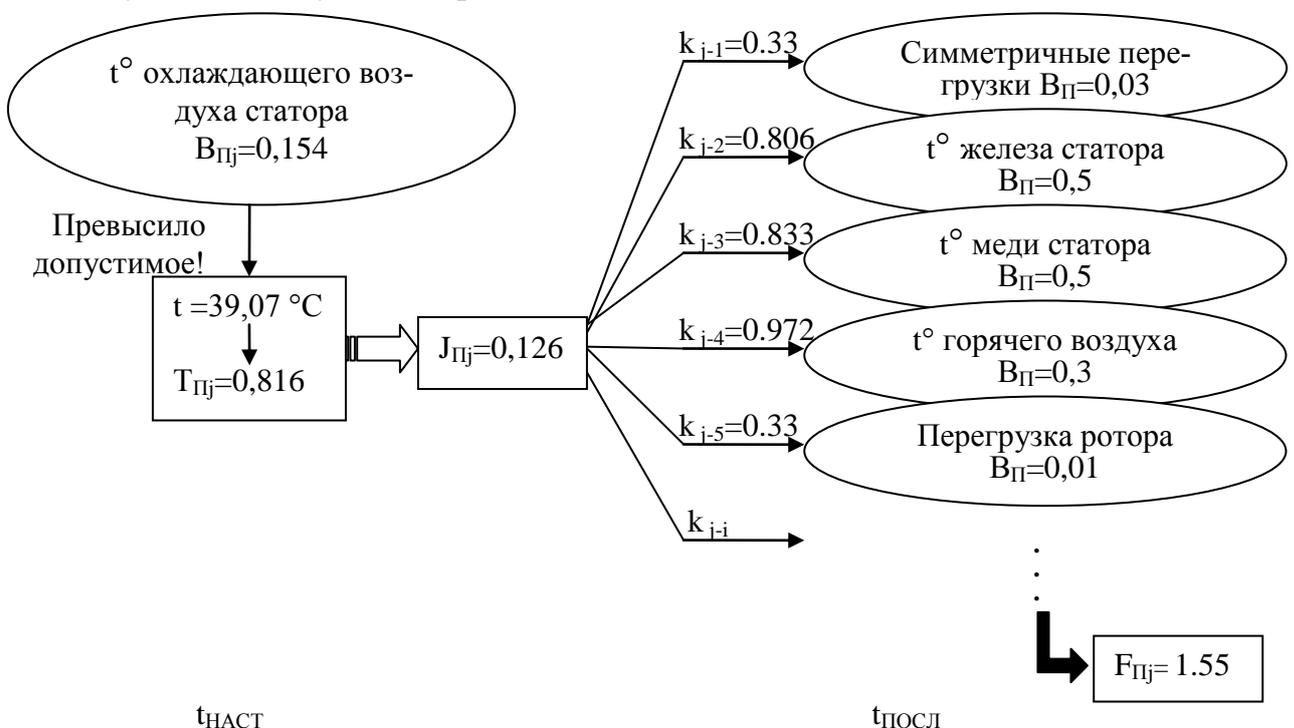


Рис.6.

Рассчитаем согласно (15) величину прогнозной оценки ситуации на генераторе при таком отклонении этого параметра в момент времени  $t_{\text{посл}}$ :

$$F_{\Pi j} = J_{\Pi j} + \sum_{i=1}^n B_{\Pi i} \cdot k_{j-i} = 1,549$$

Величина прогнозной оценки составила 1,549, что значительно превышает результирующую оценку  $J_{\Pi j}$ . Это обусловлено большим влиянием рассмотренного параметра на другие.

Приведем анализ расчетов прогноза, проведенных для 18 параметров генератора. Рассмотренные параметры условно можно разделить на 3 группы:

1. Параметры, базовая оценка которых была низкой, однако за счет сильного влияния этого параметра на другие, прогнозная оценка  $F_{\Pi}$  оказалась довольно высокой.

2. Параметры, базовая оценка которых была высокой, и за счет влияния этого параметра на многие другие, прогнозная оценка  $F_{\Pi}$  значительно возросла.

3. Параметры, базовая оценка которых была высокой, и прогнозная оценка  $F_{\Pi}$  с учетом влияния таких параметров на другие оказалась небольшой.

Рассмотрим ситуацию, когда результат прогноза относится к первой группе. Параметр «Симметричные перегрузки» имеет невысокую результирующую оценку в момент времени  $t_{\text{НАСТ}}$ , так как его базовая ценность равна 0,03. Однако ввиду значительного влияния этого параметра на другие, в момент времени  $t_{\text{ПОСЛ}}$  прогнозная оценка  $F_{\Pi}$  равна 1,795. Эта величина говорит о том, что при изменении этого параметра ситуация на генераторе может значительно ухудшиться за счет влияния других параметров на эксплуатационную надежность генератора.

Это означает, что ЛПП следует обращать внимание на изменение этих параметров, так как они могут оказать значительное влияние на общее эксплуатационное состояние гидрогенератора.

Очевидно, что такой подход справедлив также и для параметров турбины и блочного трансформатора и дает возможность получить прогноз можно ситуации на всем агрегате при отклонении одного из его параметров.

Предоставление такой информации подсистемой ИНПОР позволит ЛПП наиболее полно представить возможное развитие ухудшения ситуации на агрегате и оценить риски (приоритетность) при выборе того или иного управляющего воздействия.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

Основные выводы и результаты работы состоят в следующем.

1. Определены методологические особенности основных задач ситуационного оперативного управления ГЭС.

2. Существенными проблемами задачи контроля состояния ГА являются отсутствие необходимого количества датчиков для качественного изменения параметра, несовершенство, а иногда и отсутствие аппаратуры для сбора, обработки, идентификации и хранения информации. Исследования показывают, что определенную долю информации, необходимой для оперативного управления ГЭС, составляют вероятностно-неопределенные и неопределенные данные. Учет такой информации возможен только при применении соответствующего математического аппарата.

3. Разработаны принципы подсистемы интеллектуальной поддержки принятия решений. Применение такой подсистемы наиболее эффективно в контуре превентивного управления.

4. Доказана возможность и актуальность использования теории нечетких множеств для формализации информации об эксплуатационном состоянии гидроагрегатов. Разработаны модели представления параметров контроля в виде нечетких интервалов (функции принадлежности) на основе реальных настроек

устройств автоматики на ГЭС, предложена модель оценки степени превосходства одного параметра над другими (оценка приоритетности контроля), а также модель расчета результирующей оценки текущего эксплуатационного состояния агрегата, основанная на учете всех его параметров. Все эти модели могут служить основой для создания «принципиального ядра» подсистемы ИНПОР.

5. Решена важнейшая задача оценки наличия и степени взаимного влияния параметров контроля эксплуатационного состояния гидроагрегата. Это позволяет получить прогнозную оценку возможного ухудшения состояния агрегата при отклонении какого-либо параметра. Эта информация позволяет ЛПР оценить возможную динамику развития ситуации на агрегате.

6. Полученные модели и алгоритмы реализованы в виде программного пакета в среде Delphi и MatLab. Этот пакет может стать основой программного обеспечения для организации информационной базы подсистемы ИНПОР. Совместно с АСУ ТП такая подсистема значительно увеличит эффективность принимаемых решений как с точки зрения экономичности и надежности, так и с позиции безопасности работы станции в целом.

### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

#### Научные статьи в лицензируемых изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Жданович А.А.** Исследование параметров эксплуатационной надежности гидроагрегата с помощью теории нечетких множеств / А. А. Жданович, Ю. А. Секретарев // Научный Вестник НГТУ, Новосибирск: Издательство НГТУ, 2010. - № 1 (38) - С. 145-159
2. **Жданович А.А.** Основные принципы и модели превентивного управления гидроагрегатами с учетом их эксплуатационного состояния / А. А. Жданович, Ю. А. Секретарев // Журнал СФУ, г. Красноярск: Издательство СФУ, 2010. – Т. 3. - № 3, С. 322-334

#### Научные публикации в других изданиях:

1. **Zhdanovich A.A.** Reception of overall estimates the hydro unit`s operational reliability / A. A. Zhdanovich, U. A. Sekretarev // Energy Industry development and ecology, Ulan-Bator, Mongolia, 2010. – S. 1. - P. 181-184 [Получение результирующих оценок эксплуатационной надежности гидроагрегата]
2. **Zhdanovich A.A.** The control of an operational condition of the hydro unit on the basis of the theory of fuzzy sets / A. A. Zhdanovich, U. A. Sekretarev // INTERNATIONAL FORUM ON STRATEGIC TECHNOLOGIES (IFOST 2009) Ho Chi Minh City, Vietnam, October 21-23 2009.- S. 4.- P .14 – 17 [Контроль эксплуатационного состояния гидроагрегата с помощью теории нечетких множеств]
3. **Жданович А.А.** Применение теории возможностей в условиях превентивного управления ГЭС / А. А. Жданович, Б. Н. Мошкин, Ю. А. Секретарев // Материалы докладов XV Всероссийской научно-технической конференции "Энергетика: экология, надежность", г. Томск: Издательство ТПУ, 9 -11 декабря 2009 года. - С. 40 – 43.
4. **Жданович А.А.** Ранжировка параметров эксплуатационной надежности гидроблока при помощи теории нечетких множеств /А. А. Жданович // Ма-

териалы всероссийской научной конференции молодых ученых "НТИ-2009", Новосибирск, Издательство НГТУ, 4-5 декабря 2009 года. – Ч. 3.- С. 109 – 111.

5. **Жданович А.А.** Модель оценки и сравнения эксплуатационных параметров состояния гидроагрегата на основе показателей возможности / А. А. Жданович, Ю. А. Секретарев // Электроэнергетика в сельском хозяйстве (материалы Международной научно-практической конференции) Новосибирская обл.: ИИЦ ЦНСХБ СО Россельхозакадемии, 26-20 июня 2009 г.- С. 67 – 71.

6. **Жданович А.А.** Получение функции принадлежности базовых оценок параметров эксплуатационной надежности гидроагрегата / А. А. Жданович // Сборник трудов Международной научно-технической конференции "Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии", г.Тольятти: Изд-во ТГУ, 12-15 мая 2009 года.- Ч.2. – С. 155-159.

7. **Жданович А.А.** Построение функций принадлежности параметров эксплуатационного состояния гидроагрегата и их сравнение / А. А. Жданович // Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Современные техника и технологии - 2009", г. Томск: Издательство ТПУ, 4 - 8 мая 2009 г.- Т. 1.- С. 40-42.

8. **Жданович А.А.** Моделирование эксплуатационного состояния гидроагрегата для оперативного управления ГЭС /А. А. Жданович // Энергетика: экология, надежность, безопасность (сборник трудов XI Всероссийского студенческого научно-технического семинара) г.Томск: Издательство ТПУ, 21 - 25 апреля 2009 года.- Т. 1.- С. 153 – 157.

9. **Жданович А.А.** Представление оценок эксплуатационной надежности гидроагрегата Новосибирской ГЭС в виде нечетких интервалов / А. А. Жданович // Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых "НТИ-2008", Новосибирск: Издательство НГТУ, 2008.- Ч. 3.- С. 159-161.

Подписано в печать \_16\_.11.10 Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Тираж 100 экз. 1.5 Печ. Л.

Заказ №

---

Отпечатано в типографии  
Новосибирского государственного технического университета  
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20