

ОТЗЫВ

официального оппонента Сацука Евгения Ивановича на диссертацию Казанцева Юрия Валентиновича на тему: «Исследование и разработка алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности ГЭС», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Основная цель диссертационной работы заключается в исследовании и разработке новых алгоритмов группового и индивидуального управления активной и реактивной мощностью гидроагрегатов с использованием неучтенных ранее дополнительных критериев и ограничений, а также современных подходов теории автоматического регулирования.

Актуальность диссертационной работы.

Согласно Федеральному закону №35 от 26.03.2003 «Об электроэнергетике» одной из основных задач Системного оператора является обеспечение соблюдения установленных параметров надежности функционирования ЕЭС России и качества электрической энергии. Параметры качества электроэнергии в части частоты электрического тока нормируются в «Правилах технологического функционирования электроэнергетических систем», утвержденных Постановлением Правительства РФ № 937 от 13.08.2018. Там также определены основные требования к режимной автоматике, осуществляющей регулирование частоты, напряжения и потоков активной мощности, и к гидроэлектростанциям, участвующим в регулировании. Таким образом, актуальность вопросов обеспечения наиболее точного, экономичного и надежного регулирования параметров электрического режима, в том числе, с использованием групповых регуляторов активной и реактивной мощности на гидроэлектростанциях подтверждена нормативными документами самого высокого уровня. Это как раз те задачи, на решение которых направлено диссертационное исследование Казанцева Ю. В. При этом актуальными являются как вопросы создания более эффективных и экономичных алгоритмов устройств режимной автоматики, так и вопросы выбора параметров настройки таких устройств, обеспечивающих нормированный уровень качества регулирования параметров режима с одной стороны, и максимальную сохранность генерирующего оборудования при достаточном уровне надежности работы энергосистемы с другой стороны.

Научная новизна и практическая ценность диссертационной работы.

Научная новизна диссертации состоит в том, что:

1. Разработана полная нелинейная динамическая модель гидроагрегата (в том числе двойного регулирования). Модель учитывает динамические характеристики сервоприводов гидроагрегата, комбинатора, регуляторов скорости вращения и вращающихся частей гидроагрегата.

2. Впервые получен экспоненциальный закон управления открытием направляющего аппарата гидроагрегата, учитывающий ограничения по скорости движения сервоприводов и минимизирующий воздействие гидроудара на его элементы и выдаваемую в сеть активную мощность.

3. Получен алгоритм равномерного распределения суммарного задания по реактивной мощности гидроэлектростанции, повышающий эффективность минимизации активных потерь в обмотках блочного трансформатора и статора генератора, а также учитывающий ограничения минимальной реактивной мощности гидрогенератора по условию обеспечения статической устойчивости для заданного коэффициента запаса, текущих измеряемых активной мощности и напряжения.

4. Разработан алгоритм оптимального распределения суммарной активной мощности гидроэлектростанции с учётом потерь напора в проточных трактах гидроагрегатов и различий в расходных характеристиках.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что:

1. Разработана полная нелинейная динамическая модель гидроагрегата, которая позволяет рассчитывать его основные выходные величины (выдаваемую активную мощность, скорость вращения, и т.д.) в различных режимах работы, и оценивать работу алгоритмов и настроек систем автоматики.

2. Получен алгоритм экспоненциального закона управления открытием направляющего аппарата с учётом ограничения по скорости, который позволяет минимизировать воздействие гидроудара, и в том числе может применяться в регуляторах скорости турбин и групповых регуляторах.

3. Разработан алгоритм оптимального распределения суммарного задания по активной мощности гидроэлектростанции с учётом потерь напора в проточных трактах гидроагрегатов и различий в расходных характеристиках. Алгоритм позволяет снизить расход воды гидроэлектростанцией, учитывает потерю напора в проточном тракте (в том числе на сороудерживающих решетках) каждого гидроагрегата, индивидуальные ограничения диапазонов регулирования и обладает требуемым для внедрения в микропроцессорные системы группового регулирования быстродействием.

4. Получен алгоритм равномерного распределения суммарного задания гидроэлектростанции по реактивной мощности, учитывающий ограничения по полной мощности, току ротора, условие обеспечения требуемого запаса статической устойчивости и критерий минимизации потерь активной мощности. Полученное автором и используемое в алгоритме распределения аналитическое выражение ограничения минимальной реактивной мощности явнополюсного генератора по условию обеспечения статической устойчивости, помимо внедрения в системы группового регулирования, может применяться проектными и исследовательскими организациями для задания ограничений режима работы гидрогенераторов в программных комплексах расчёта режимов работы электроэнергетических систем.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы подтверждена тем, что результаты диссертационной работы получены при корректном использовании математического аппарата, с соответствием результатов моделирования экспериментальным данным, полученным при натурных испытаниях. Применяемые в расчетах методы численного решения нелинейных уравнений, теории автоматического регулирования, а также оптимизационные алгоритмы хорошо изучены и неоднократно доказали правомерность своего использования.

Общая характеристика диссертации и личный вклад автора.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Общий объем – 198 страниц, в т.ч. 12 таблиц, 82 рисунков. Список литературы содержит 172 наименования.

Большинство представленных в работе материалов получено лично автором.

Во введении отражены актуальность темы, основные положения, выносимые на защиту, их научная и практическая ценность, структура работы.

Первая глава посвящена описанию задач исследования и обзору литературы по теме диссертации.

Рассматривается задача моделирования процессов управления гидроагрегатами с учётом динамических характеристик первичного двигателя, сервоприводов направляющего аппарата, рабочего колеса и систем регулирования. Также выполнен анализ применяемых в системах регулирования подходов к управлению гидроагрегатами, выбору оптимального состава гидроагрегатов, определению их загрузки. Приведен обзор международных стандартов и нормативных документов, регламентирующих основные технические требования к системам регулирования гидроэлектростанций и их участие в регулировании частоты и активной мощности.

Во второй главе представлено описание разработанной универсальной нелинейной модели гидроагрегата, содержащей математические модели следующих динамических элементов: водовод, турбина, генератор, электрическая нагрузка, САУ ГА, ГРАМ. Приведены результаты верификации модели гидроагрегата с использованием реальных опытных данных с гидроагрегатов Курейской ГЭС и Новосибирской ГЭС.

В третьей главе приводятся результаты разработки алгоритмов группового и индивидуального регулирования активной мощности гидроагрегатов. В главе решены задачи синтеза оптимального закона управления открытием гидроагрегата, а также совершенствования алгоритмов распределения активной мощности между гидроагрегатами ГЭС.

В четвертой главе рассмотрены вопросы совершенствования управления реактивной мощностью гидроагрегатов ГЭС от группового регулятора. В главе показано, что метод равномерного распределения реактивной мощности между гидроагрегатами ГЭС является наиболее оптимальным, а также на основе него создан алгоритм равномерного распределения, учитывающий ограничения по статической устойчивости и полной мощности гидроагрегата. Представлены результаты экспериментальной проверки работы реализованного в ГРАМ Новосибирской ГЭС алгоритма распределения реактивной мощности между гидроагрегатами.

В заключении содержатся основные выводы, сформулированные по результатам исследований. Они обобщают теоретические, методические и практические результаты, подчеркивают научную и практическую значимость работы.

Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Материалы диссертации и автореферата соответствуют пунктам 2, 6 и 9 области исследования паспорта научной специальности 05.14.02 по техническим наукам.

Апробация диссертационной работы и публикации

Основные положения работы докладывались на девяти международных и российских научно-технических конференциях и научных семинарах.

Результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 16 работах, из них 3 публикации вышли в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 публикации в изданиях, входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science, и 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

По диссертации имеются следующие замечания и вопросы:

1. На стр.18 указано, что ЦС АРЧМ формирует управляющие воздействия на изменение состава генерирующего оборудования. Это не так, АРЧМ действует только на изменение нагрузки станций. Состав оборудования на ГЭС изменяется персоналом с целью поддержания заданного резерва вторичной мощности.

2. Рис 1.1. на стр.23 и его описание не точно отражают взаимосвязи между различными системами, установленными на ГЭС. В частности, ПА (это более общепризнанное обозначение, чем ПАА) как правило не действует на регуляторы возбуждения, в тоже время обязательно должна быть показана связь между ПА и ГРАМ, так как, во-первых, в большинстве случаев реализация управляющих воздействий от ПА на длительную разгрузку турбин (ДРТ) или на автоматическую загрузку генераторов (АЗГ) выполняется через ГРАМ, во-вторых, если ПА действует на отключение генераторов, то по сигналу от Па действие ГРАМ должно блокироваться. САОН и АОСН обычно не устанавливаются на электрических станциях, их задача отключение нагрузки потребителей или действие на системы компенсации реактивной мощности (ШР, БСК) для АОСН.

3. Нет единого подхода к обозначению систем управления гидроагрегатом на ГЭС. Например, на рис. 1.1 показан регулятор скорости (РС), на рис.1.2 система автоматического управления гидроагрегатом (САУ ГА), на рис.2.8 – регулятор турбины (РТ), на стр.62 пункт 2.3.3 называется регулятор скорости, при этом здесь же на рис.2.15 описан регулятор турбины, а в п.3.1.6 просто – цифровой регулятор. Необходимо придерживаться единых наименований. В настоящее время в нормативной документации принято обозначать САУ ГА, которая может выполнять функции регулирования частоты, регулирования активной мощности с коррекцией по частоте, технологической автоматики и т.д.

4. На рис.1.2, стр.26, показан ротор генератора, но нет статора, вследствие чего модель оказывается неполной, так как непонятно к чему оказывается подключенной нагрузка и также отсутствует обратная связь по активной мощности, которая присутствует во всех современных САУ ГА для реализации функции первичного регулирования частоты (регулирования активной мощности ГА с коррекцией по частоте). В настоящее время, в большинстве случаев общее первичное регулирование частоты (ОПРЧ) осуществляется на уровне ГА, а ГРАМ должен учитывать изменение частоты при распределении задания.

5. В п.1.5 необходимо было бы разделить две задачи астатическое регулирование частоты в изолированной энергосистеме и участие ГЭС в

ОПРЧ, так как это разные задачи и решаются они по-разному. При этом в контексте этой главы правильнее сослаться не на ГОСТ, а на документы более высокого уровня, например, на «Требования к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты», утвержденные приказом Минэнерго в 2019 году.

6. На стр. 39 написано, что скорость изменения частоты в рассматриваемой энергосистеме составляет 0,1 Гц/с. Это неправильно, необходимо указывать диапазон скорости изменения частоты, так как этот параметр зависит от многих факторов (величина нагрузки системы, частотные характеристики нагрузки, состав и загрузка генераторов, величина небаланса в энергосистеме) и может значительно изменяться в разных режимах работы.

7. В гл.3 при выводе оптимального закона открытия направляющего аппарата в качестве ограничения необходимо обязательно учитывать требования по участию гидроагрегата в ОПРЧ, так как применение нелинейного закона открытия направляющего аппарата приводит к замедлению отработки первичной мощности при изменении частоты. Закон должен быть такой, чтобы обеспечить требуемую динамику отработки первичной мощности.

8. В п.3.3. необходимо обозначить область применения методики выбора оптимальных настроек, так как она применима только для станции, работающей на изолированную нагрузку и при этом, величина нагрузки не зависит от изменения частоты. Можно говорить о том, что для других случаев данная методика может применяться для получения начальных значений настроек, которые должны потом уточняться или на более полной модели, или в результате эксперимента.

9. В 4 главе также необходимо обозначить область применения разработанного алгоритма распределения реактивной мощности между генераторами, так как непонятно насколько сочетается учет статической устойчивости в ГРАРМ, предложенный автором, с современными АРВ сильного действия, которые имеют в своем составе ограничитель минимального возбуждения, характеристика которого настраивается по специальной методике.

Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

По п.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автор получил новое научное решение задачи совершенствования алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности на ГЭС для снижения активных потерь и суммарного расхода воды.

По п.10. Диссертация подготовлена в виде рукописи, написана автором самостоятельно, структурирована, содержит положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы

позволяют отметить достаточный вклад автора в науку. Обоснована практическая полезность выполненных исследований.

По п.11-13. Основные научные результаты достаточно полно отражены в 16 публикациях, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

По п.14. В диссертации сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов.

Заключение

Приведенные замечания не снижают актуальности и значимости научно-квалификационной работы Ю.В. Казанцева. В ней на основании выполненных автором исследований разработаны методы и алгоритмы, совокупность которых можно квалифицировать как решение задачи, имеющей существенное значение для электроэнергетики. Работа выполнена с учетом передовых позиций научно-технического прогресса в сфере и отражает современные тенденции их развития.

Диссертация написана понятным языком, автореферат и публикации автора полностью раскрывают ее содержание. Она прошла широкую апробацию на всероссийских и международных конференциях.

Считаю, что представленная работа «Исследование и разработка алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности ГЭС» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы», а ее автор Юрий Валентинович Казанцев заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по названной специальности.

Официальный оппонент

Доктор технических наук,
доцент,
Начальник Службы внедрения
противоаварийной и режимной
автоматики АО «СО ЕЭС»

Сацук Евгений Иванович

«09» декабря 2021 г.

Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы», сайт: <https://www.so-ups.ru/>
109074, Россия г. Москва, Китайгородский проезд, д. 7, стр. 3.
Тел: +7-499-218-88-88; факс +7-495-627-95-15; e-mail: secr@so-ups.ru

Подпись Е.И. Сацука заверяю

Е.И. Сацук

*Отзыв получен 10.12.2021 г.
С отзывом ознакомлен 10.12.2021 г.*

Восинев А.А.
Казанцев Ю.В.