

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.173.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РФ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28 декабря 2021 г. протокол №5

О присуждении Казанцеву Юрию Валентиновичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация на тему «Исследование и разработка алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности ГЭС» по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы принята к защите 22 октября 2021 г. (протокол заседания №11) диссертационным советом Д 212.173.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ, 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, приказ о создании диссертационного совета №156/нк от 01.04.2013 г.

Соискатель Казанцев Юрий Валентинович «4» апреля 1988 года рождения. В 2011 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» по направлению «Электроэнергетика», выдан диплом и присуждена степень «Магистр техники и технологии». В период подготовки диссертации соискатель Казанцев Юрий Валентинович обучался в очной аспирантуре в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре Электрических станций, нормативный период обучения с 01.09.2011 г. по 31.08.2014 г. С 2018 года соискатель работает в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на кафедре Электрических станций, где в настоящее время занимает должность

заведующего лабораторией кафедры Электрических станций, а по совместительству должность ассистента кафедры Электрических станций.

Диссертация выполнена на кафедре Электрических станций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Глазырин Глеб Владимирович, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», кафедра Электрических станций, доцент.

Официальные оппоненты:

Сацук Евгений Иванович, доктор технических наук, доцент, Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы», Служба внедрения противоаварийной и режимной автоматики, начальник.

Захарченко Виталий Евгеньевич, кандидат технических наук, ООО Научно-внедренческая фирма «Сенсоры, Модули, Системы», дирекция, заместитель технического директора по программному обеспечению и научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ) г. Томск **в своем положительном отзыве**, подписанном Василием Яковлевичем Ушаковым, доктором технических наук, профессором Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ТПУ и Андреевым Михаилом Владимировичем, кандидатом технических наук, доцентом Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ТПУ, и утвержденном Сухих Леонидом Григорьевичем, доктором физико-математических наук, проректором по науке и трансферу технологий ТПУ указала, что диссертация Ю.В. Казанцева выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 14 работ, из них: 3 опубликованы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ; 2 статьи проиндексированы в наукометрических базах данных Scopus / Web of Science. Получено 2 свидетельства на программы для ЭВМ. Недостоверные сведения об опубликованных работах отсутствуют. Авторский вклад в опубликованных в соавторстве работах составляет не менее 60%. Общий объем научных изданий – 4.5 п.л.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Научные статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Оптимальное распределение мощности между агрегатами гидроэлектростанции с учетом напора нетто / Г.В. Глазырин, Н.Н. Твердохлебов, Ю.В. Казанцев // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета, 2013. – №4(53). – С. 150-155.

2. Исследование динамических характеристик системы "регулятор-турбина" Новосибирской ГЭС / Г.В. Глазырин, Ю.В. Казанцев // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2013. – №4. – С. 16-19.

3. Опережающее регулирование частоты и мощности на гидроэлектростанциях в изолированных энергосистемах / Г.В. Глазырин, Ю.В. Казанцев // Новое в российской электроэнергетике : науч.-техн. электрон. журн., 2017. – №11. – С. 20-27.

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

1. № 2020618449 / Г.В. Глазырин, Ю.В. Казанцев. // Расчет оптимального закона регулирования открытия направляющего аппарата гидравлической турбины минимизирующего эффект гидроудара, 29.07.2020.

2. № 2020618579 / Г.В. Глазырин, Ю.В. Казанцев. // Расчет равномерного распределения реактивной мощности, учитывающего ограничения по статической устойчивости и полной мощности, 30.07.2020.

Научные статьи в изданиях, индексированных Scopus / Web of Science

1. Optimal control law for minimization of active power overshoot due to water hammer effect in a hydro unit / G. V. Glazyrin, Y.V. Kazantsev //

Proceedings of 2016 11th IEEE International forum on strategic technology – IFOST, 2016. – pp. 329-333.

2. Hydro unit active power controller minimizing water hammer effect [Electronic resource] / Y. V. Kazantsev, G. V. Glazyrin, S. M. Shayuk, D. V. Tanfilyeva, O. V. Tanfilyev, V. A. Fyodorova // Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC) Ekaterinburg, 13–15 Nov. 2020. – Ekaterinburg: IEEE, 2020. – pp. 47-50.

На диссертацию и автореферат поступило 9 отзывов, все отзывы положительные:

1. **ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»**, профессор кафедры Электроснабжение промышленных предприятий, д.т.н., доцент, Грачева Е.И. *Замечание* об отсутствии сведений о погрешности измерительных комплексов; *Вопрос* о принятых в работе критериях статической устойчивости.

2. **НОУ ДПО «Научно-образовательный центр «ЭКРА»»**, директор, к.т.н., Понамарев Е.А. *Вопрос* 1) о постоянстве потерь в обмотках при распределении реактивной мощности. *Замечания:* 2) об условиях проведения натуральных и модельных испытаний; 3) о взаимодействии ГРНРМ с автоматическим регулятором возбуждения (АРВ).

3. **ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта»**, заведующий кафедрой «Электроэнергетические системы и электротехника», д.т.н., доцент, Е.В. Иванова.

Замечание: об отсутствии в автореферате блок-схемы алгоритма распределения активной мощности.

4. **ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»**, доцент кафедры «Электроэнергетики и электротехники», к.т.н., М.П. Плотников. *Вопрос* о применимости предложенной методики при использовании сервопривода на каждую лопатку направляющего аппарата; *Замечание* об отсутствии сведений о погрешности измерительных комплексов.

5. **АО «НТЦ ЕЭС Противоаварийное управление»**, заведующий отделом электроэнергетических систем, к.т.н., Смирнов А.Н., старший научный сотрудник отдела электроэнергетических систем, Гуриков О.В. *Вопросы:* 1) О единообразии терминов, обозначающих САУ ГА; 2) О координации разработанных алгоритмов группового регулятора активной и реактивной мощности с функциями ограничения минимального возбуждения (ОМВ) и время-зависимого ограничения по току статора и току ротора, реализуемыми в АРВ; 3) О возможности потери управления в алгоритме

расчета управляющего воздействия на направляющий аппарат в САУ ГА; 4) О влиянии наличия генератора в режиме синхронного компенсатора на оптимальные законы распределения реактивной мощности; 5) Об определении термина «пространство неоднородной размерности».

6. **ОАО «НПО ЦКТИ»**, заведующий отделом 7, к.т.н., Прокопенко А.Н.
Вопросы: 1) Об отсутствии данных о влиянии гидроудара на износ сервопривода и его снижения при оптимальном изменении открытия направляющего аппарата; 2) О единообразии определения напора нетто; 3) О допустимых значениях погрешностей моделей гидроагрегатов.

7. **ООО «Ракурс-инжиниринг»**, начальник Учебно-консультационного центра, к.т.н., А.Г. Бурцев.

Замечания: 1) О переходе от методов поиска глобального экстремума к использованию метода внутренней точки; 2) Об отсутствии учёта нагонных волн и подпора воды в нижнем бьефе на напор нетто.

8. **ООО «АББ»**, руководитель учебного центра, к.т.н., доцент, М.В. Рябчицкий.

Вопросы: 1) Об увеличении износа наиболее загруженного гидроагрегата при неравномерном распределении активной мощности; 2) Об учёте наличия зоны повышенной вибрации у радиально-осевых турбин при формировании управляющего воздействия ГРАМ.

9. **ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»**, доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника», к.т.н., Шалухо А.В.

Замечание об отсутствии в автореферате результатов обзора международных стандартов и нормативных документов в области исследований.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем что, область научных интересов доктора технических наук, доцента **Сацука Евгения Ивановича** связана с задачами повышения эффективности работы режимной и противоаварийной автоматики, что включает в себя совершенствование существующих и разработку новых алгоритмов и методов настройки систем автоматического регулирования частоты и активной мощности, систем мониторинга переходных процессов электроэнергетических систем, он имеет большое количество публикаций по близкой к диссертационной работе тематике, представленной к защите; сфера научных интересов и тематика исследований кандидата технических наук **Захарченко Виталия Евгеньевича** связана в значительной степени с

повышением эффективности работы гидроэлектростанций, в том числе с рациональным управлением составом агрегатов, моделированием гидроагрегатов, а также с групповым управлением активной мощностью, он также имеет значительное количество публикаций, близких по тематике представленной к защите диссертационной работе.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (НИ ТПУ) – один из крупнейших ВУЗов России, готовящих ученых и выпускающих специалистов в области электроэнергетики и электротехники, Отделение электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики активно занимается вопросами моделирования возобновляемых источников электроэнергии и режимной автоматикой электроэнергетических систем, что подтверждается трудами ведущих ученых и специалистов отделения.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новые алгоритмы оптимального управления открытием направляющего аппарата, равномерного распределения реактивной мощности и оптимального распределения активной мощности, позволяющие повысить качество группового и индивидуального регулирования активной и реактивной мощности на ГЭС;

предложены оригинальные научные гипотезы оптимальности близкого к экспоненциальному закону изменения открытия направляющего аппарата, а также равномерного распределения реактивной мощности, позволяющая минимизировать негативное воздействие явления гидроудара, а также снизить потери в обмотках статоров генераторов и блочных трансформаторов;

доказана перспективность использования новых алгоритмов оптимального управления открытием направляющего аппарата, равномерного распределения реактивной мощности и оптимального распределения активной мощности;

введены новые понятия - не введены;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана возможность применения новых законов изменения открытия направляющего аппарата, равномерного распределения реактивной мощности и оптимального распределения активной мощности с учётом потерь напора в проточных трактах гидроагрегата и различий в расходных

характеристиках турбин, позволяющие снизить негативное воздействие явления гидроудара, потери в обмотках статоров генераторов и блочных трансформаторов, а также расход воды через гидроэлектростанцию;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы существующие модели гидроагрегатов, законы изменения открытия направляющего аппарата, математические методы оптимизации (эволюционные, роевые и др.), методы распределения активной и реактивной мощности для сравнения с разработанной универсальной математической моделью гидроагрегата, алгоритмами регулирования активной и реактивной мощности;

изложены аргументы, отражающие целесообразность применения критерия минимизации потерь в обмотках статоров генераторов и блочных трансформаторов при распределении реактивной мощности, а при распределении активной мощности целесообразность учёта потерь в проточном тракте турбины и различий в расходных характеристиках на гидроэлектростанциях с разнотипными гидравлическими турбинами;

раскрыто несовершенство имеющихся методов и алгоритмов группового и индивидуального регулирования активной и реактивной мощности, не учитывающих критерии минимизации потерь в обмотках статоров генераторов и блочных трансформаторов, потери в проточном тракте турбины, различия в типах и характеристиках турбин;

изучены переходные процессы при регулировании активной мощности гидроагрегата, проведена оценка существующих методов и алгоритмов группового и индивидуального регулирования активной и реактивной мощности;

проведена модернизация существующего метода распределения активной мощности по равенству относительного прироста расхода воды и на его основе разработан алгоритм распределения активной мощности с учётом потерь напора в проточном тракте турбины и различий в типах рабочих колёс. Также на основе существующего представления нелинейных характеристик (моментной, расходной) гидравлической турбины построена универсальная математическая модель гидроагрегата, включающая, в том числе водовод, генератор, нагрузку и системы регулирования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены в микропроцессорные системы группового регулирования активной и реактивной мощности разнонапорных гидроэлектростанций (Курейской, Усть-Хантайской и Новосибирской) алгоритмы регулирования активной и реактивной мощности гидроагрегатов; **определены** перспективы практического использования результатов диссертации для интеграции разработанных алгоритмов оптимального управления открытием направляющего аппарата, равномерного распределения реактивной мощности и оптимального распределения активной мощности;

создана универсальная математическая модель гидроагрегата с поворотной лопастью гидравлической турбиной как объекта регулирования, позволяющая производить расчёт его основных выходных параметров в режимах изменения нагрузки, пуска и останова, а также система практических рекомендаций по настройке алгоритмов управления открытием направляющего аппарата по разработанному оптимальному закону;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию алгоритмов группового и индивидуального управления активной и реактивной мощностью на ГЭС;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ показана воспроизводимость результатов по моделированию работы гидроагрегата на основе измеренных параметров в режимах изменения нагрузки, пуска и останова; снижению негативного влияния явления гидроудара и потерь в обмотках статоров генераторов и блочных трансформаторов.

теория согласуется с опубликованными данными, как в зарубежных, так и в ведущих российских изданиях;

идея базируется на анализе существующих методов и критериев оптимальности группового и индивидуального регулирования активной и реактивной мощности на ГЭС;

использованы данные, представленные в работах таких ученых, как: Г.И. Кривченко, О.А. Муравьева, V. Striter, О.И. Башнина, Ю. А. Секретарева, Т.А. Филипповой, D.J. Garcia, Q. Goor, M.R. Piekutowski, L. Wozniak, которые не противоречат полученным результатам;

установлены совпадения полученных результатов с известными данными: по осциллограммам основных выходных параметров гидроагрегата, по моделированию переходных процессов в гидроагрегате в режимах изменения нагрузки, пуска и останова;

использованы современные методы и устройства сбора исходной информации, полученной в результате физического эксперимента, в том числе программно-аппаратные комплексы АСУ ТП гидроэлектростанций, современное измерительное оборудование и специализированное математическое программное обеспечение;

Личный вклад соискателя состоит в совместной с руководителем постановке целей и задач исследования. Соискателем самостоятельно выполнен обзор существующих методов моделирования гидроагрегатов и систем регулирования, разработана и верифицирована универсальная математическая модель гидроагрегата, получено аналитическое выражение минимальной реактивной мощности явнополусного генератора по условию статической устойчивости, разработан и проверен алгоритм равномерного распределения реактивной мощности с учётом ограничений, внедрено условие учета потерь напора в алгоритм распределения активной мощности. Разработка программ для ЭВМ выполнена совместно с научным руководителем. В работах, опубликованных в соавторстве, автору принадлежит формализация поставленных задач исследований, выбор методов их решения, проведение исследований, анализ и обобщение результатов. При подготовке основных публикаций по выполненной работе вклад соискателя в статьях, выполненных в соавторстве, составляет не менее 60%.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) При неравномерном распределении активной мощности увеличивается износ наиболее загруженного гидроагрегата, что может привести к более быстрому износу оборудования; 2) При выводе оптимального закона открытия направляющего аппарата не учтены требования по участию гидроагрегата в ОПРЧ в части быстрогодействия отработки первичной мощности при изменении частоты; 3) Непонятно насколько сочетается предложенный автором учет статической устойчивости режима электростанции в групповом регуляторе активной и реактивной мощности с современными АРВ сильного действия, имеющими в своем составе ограничитель минимального возбуждения.

Соискатель Казанцев Юрий Валентинович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, сделанные замечания и привел собственную аргументацию: 1) Не у всех узлов гидроагрегата при увеличении загрузки по активной мощности возрастает износ. На износ также влияет выбор состава работающих гидроагрегатов и другие факторы, поэтому данный вопрос

требует дополнительных исследований; 2) В разработанном законе изменения открытия направляющего аппарата предусмотрена возможность задания адекватных требуемым характеристикам быстродействия настроек предельного времени изменения открытия с соответствующим пересчётом постоянных времени закона. 3) При совместной работе группового регулятора активной и реактивной мощности и АРВ приоритетом обладают управляющие сигналы АРВ, то есть алгоритмы группового регулятора не должны мешать работе функций, реализованных в АРВ, в том числе ОМВ и др.

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития систем группового регулирования активной и реактивной мощности ГЭС, и соответствует пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 27 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение за новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития энергетики страны присудить Казанцеву Ю.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенных на разовую защиту нет, проголосовали: за 14, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета

А. Г. Фишов

Ученый секретарь диссертационного

А. А. Осинцев

28 декабря 2021 г.