

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«National Research Tomsk Polytechnic University» (TPU)
30, Lenin ave., Tomsk, 634050, Russia
Tel. +7-3822-606333, +7-3822-701779,
Fax +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
OKPO (National Classification of Enterprises and Organizations):
02069303,
Company Number: 027000890168,
VAT/KPP (Code of Reason for Registration)
7018007264/701701001, BIC 016902004

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (ТПУ)
Ленина, пр., д. 30, г. Томск, 634050, Россия
тел.: +7-3822-606333, +7-3822-701779,
факс +7-3822-606444, e-mail: tpu@tpu.ru, tpu.ru
ОКПО 02069303, ОГРН 1027000890168,
ИНН/КПП 7018007264/701701001, БИК 016902004

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и трансферу
и ФГАОУ ВО НИ ТПУ, д.ф.-м.н.

_____ Сухих Леонид Григорьевич

« 9 » декабря 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на диссертацию Казанцева Юрия Валентиновича «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.

1. Актуальность темы диссертации

Гидроэлектростанции – это технически сложные, уникальные инженерные объекты. Ввиду ряда конструктивных и технологических особенностей, ГЭС характеризуются целым рядом преимуществ перед станциями других типов: высокая маневренность, низкий карбоновый след и малая себестоимость производства электроэнергии. Первая особенность позволяет гидроэлектростанциям участвовать во вторичном регулировании частоты и активной мощности. При этом частая смена вырабатываемой гидроагрегатами мощности в широком диапазоне требует наличия специализированных систем управления нормальными режимами на станции, в частности, микропроцессорных систем группового регулирования активной и реактивной

мощности (МС ГРАРМ), обеспечивающих рациональное использование гидроресурсов. Одним из способов повышения эффективности использования гидроресурсов и, следовательно, работы станции, является определение оптимального распределения суммарной активной и реактивной мощности между гидроагрегатами.

Сложность задачи оптимизации распределения активной и реактивной мощности на ГЭС сводится к повышению КПД гидроагрегатов при соблюдении всех требований к надежности их функционирования и ограничений, среди которых:

- необходимость выполнения гидроэлектростанцией системных функций по поддержанию напряжения в энергосистеме и участию во вторичном регулировании частоты;
- необходимость исполнения планового диспетчерского графика;
- необходимость учёта индивидуальных ограничений каждого гидроагрегата и т.д.

В настоящее время, с ростом производительности аппаратных средств автоматизации появилась возможность повышения эффективности группового регулирования активной и реактивной мощности на абсолютном большинстве гидроэлектростанций. Кроме того, необходимость совершенствования методов и алгоритмов группового регулирования на ГЭС, к сожалению, доказывают аварии, происходящие на станциях и в энергосистемах.

Всё вышесказанное позволяет утверждать, что исследования, направленные на повышение эффективности работы алгоритмов микропроцессорных систем группового регулирования активной и реактивной мощности гидроэлектростанций актуальны и на сегодняшний день.

2. Соответствие паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы» по следующим пунктам:

– Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике (пункт 2);

– Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике (пункт 6);

– Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике (пункт 9).

3. Структура и объем диссертации

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет». Общий объем работы составляет 198 страниц. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 172 наименований и 6 приложений.

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы её цель и задачи, новизна основных научных положений, представлена теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** дана характеристика методам и системам группового и индивидуального регулирования на ГЭС и особенностям их работы, проведен обзор литературы и поставлены задачи диссертационного исследования.

Во **второй главе** рассматривается задача разработки и верификации динамической модели гидроагрегата с учётом характеристик сервомеханизмов, различных типов гидравлических турбин и систем автоматического регулирования гидроагрегатов.

В **третьей главе** рассматриваются задачи повышения эффективности алгоритмов управления активной мощностью гидравлических турбин, а именно:

- разработка и проверка алгоритма расчета оптимального управляющего воздействия на направляющий аппарат гидравлической турбины, снижающего воздействие явления гидравлического удара;

- разработка и проверка алгоритма распределения суммарной активной мощности между гидроагрегатами, позволяющего уменьшить суммарный

расход воды ГЭС и учесть различия в характеристиках рабочих колёс турбин, а также потери в проточных трактах.

В **четвертой главе** рассмотрен разработанный автором диссертации алгоритм распределения суммарной реактивной мощности ГЭС с учётом ограничений по току статора, по статической устойчивости и другие.

В **заключении** приведены основные выводы по результатам исследований.

4. Основные научные результаты диссертации

1. Разработана полная динамическая модель гидроагрегата для расчёта его выходных величин в различных режимах, проверки алгоритмов его систем регулирования.

2. Получен алгоритм расчета оптимального закона изменения открытия направляющего аппарата гидроагрегата, снижающего воздействие явления гидроудара на выдаваемую активную мощность.

3. Разработан алгоритм распределения суммарного задания ГЭС по активной мощности, позволяющий снизить суммарный расход воды гидроэлектростанцией за счёт учёта различий в расходных характеристиках гидравлических турбин и потерь напора в проточных частях.

4. Получен алгоритм равномерного распределения реактивной мощности, позволяющий снизить активные потери в обмотках блочного трансформатора и статора генератора с учётом ограничений по статической устойчивости и полной мощности.

5. Достоверность и научная новизна

Достоверность исследований подтверждается численным моделированием с применением лицензионного программного обеспечения и использованием фундаментальных законов математики, а также рядом натурных испытаний разработанных автором алгоритмов в микропроцессорных системах группового регулирования реальных гидроэлектростанций. Обоснованность выводов и рекомендаций работы подтверждена публикациями и обсуждениями результатов исследований на научно-технических семинарах и международных конференциях.

Научная новизна:

1. Впервые получен алгоритм расчета скорости изменения открытия направляющего аппарата гидроагрегата по экспоненциальному закону, учитывающий ограничения по максимальной скорости и снижающий негативное воздействие гидроудара на его элементы и выдаваемую в электрическую сеть активную мощность.

2. Разработан алгоритм равномерного распределения реактивной мощности ГЭС, позволяющий минимизировать активные потери в обмотках трансформаторов и генераторов, а также учитывающий ограничения по статической устойчивости для текущих активной мощности и напряжения и заданного коэффициента запаса.

3. Получен алгоритм оптимального распределения активной мощности между гидроагрегатами с учётом потерь напора в проточных частях гидроагрегатов и различий в расходных характеристиках и рабочих колёсах гидравлических турбин.

6. Практическая значимость

1. Получен алгоритм равномерного распределения суммарной реактивной мощности ГЭС с учётом ограничения по току статора, току ротора, и обеспечения требуемого запаса статической устойчивости, снижающий потери активной мощности.

2. Разработан 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. Получен алгоритм оптимального распределения суммарного задания по активной мощности гидроэлектростанции с учётом потерь в проточных частях гидроагрегатов, различий в расходных характеристиках и индивидуальных ограничений диапазонов регулирования, который позволяет снизить расход воды гидроэлектростанцией.

7. Замечания по работе

7.1. В таблице 1.1 приводятся несколько критериев качества переходного процесса, тогда как в главе 3 законы изменения открытия сравниваются только по одному критерию – отрицательному забросу активной мощности (P5), а остальные опущены. Также из текста диссертации неясно почему оптимальной формой кривой изменения активной мощности не может быть принята переходная функция, соответствующая апериодическому звену второго порядка. Однако не поясняется, каким образом находится эта матрица.

7.2 В формуле (1.2) открытие направляющего аппарата обозначено как U_s , тогда как в системе уравнений (3.22) оно обозначено как S . Кроме того на рисунке 3.11 на графике управляющего воздействия конечный этап кривой рассчитывается по (3.28) что не было отражено в исходной системе (3.22).

7.3. В работе рассматриваются данные трёх гидростанций Усть-Хантайской, Новосибирской и Курейской, однако не объясняется чем был обусловлен их выбор.

7.4. В разделе 3.2 проводится сравнение алгоритмов распределения суммарного задания активной мощности между тремя гидроагрегатами НГЭС, тогда как согласно Приложению А, на станции установлено 7 гидроагрегатов.

7.5. В разделе 4.1.1 рассматривается вывод уравнения минимальной реактивной мощности по условию статической устойчивости для напряжения на шинах, тогда как СУ оценивается не в рамках одной станции, а энергосистемы в целом.

7.6. В разделе 1.6 автор диссертации критически оценивает использование P-Q диаграмм как способа задания ограничений режима, однако данные диаграммы удобны в силу наглядного представления. Кроме того, на рисунке 4.1 самим автором рассчитанные по полученному выражению (4.18) кривые нанесены на P-Q диаграмму гидроагрегата НГЭС.

8. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

По п.9. Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой автором выполнено новое научно-обоснованное решение задачи повышения эффективности алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности на гидроэлектростанциях для снижения активных потерь

в обмотках блочных трансформаторов и статоров генераторов, а также суммарного расхода воды станцией.

По п.10. Диссертация написана автором самостоятельно в виде рукописи, содержит новые научные результаты и положения, заслуживающие публичной защиты. Содержание диссертации и опубликованные работы свидетельствуют о достаточном вкладе автора в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности выполненных исследований, подтвержденные актом внедрения.

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

По п.14. Диссертация соответствует указанным критериям.

9. Общее заключение о соответствии выполненной работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

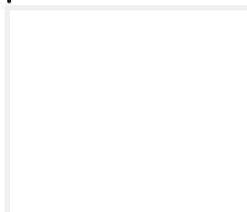
Диссертация Ю.В. Казанцева является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании выполненных автором исследований представлено решение актуальных задач по исследованию и разработке алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности ГЭС.

Содержание диссертации отражает основные идеи работы и полученные в ней результаты, а также раскрывает ее научную и практическую ценность. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Диссертация Казанцева Юрия Валентиновича «Исследование и разработка алгоритмов группового регулирования активной и реактивной мощности ГЭС» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, изложенным в п.п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 01.10.2018), а автор Казанцев Юрий Валентинович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Отзыв обсужден и утвержден на заседании электроэнергетической секции научно-технического совета Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО НИ ТПУ, протокол №34 от 09.12.2021 г.

Председатель ЭЭС НТС ИШЭ
ФГАОУ ВО НИ ТПУ, профессор

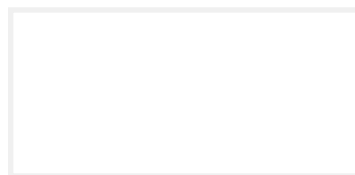


Василий Яковлевич Ушаков

Отделения электроэнергетики и
электротехники Инженерной школы
энергетики ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
д.т.н., профессор

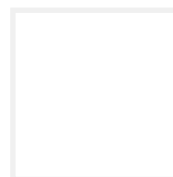
Доцент Отделения электроэнергетики
и электротехники Инженерной школы
энергетики ФГАОУ ВО НИ ТПУ,
к.т.н., доцент

Михаил Владимирович Андреев



Удостоверяю, что подписи представлены работниками ФГАОУ ВО НИ ТПУ В.Я. Ушаковым и М.В. Андреевым.

Ученый секретарь ФГАОУ ВО НИ ТПУ



Е.А. Кулинич

Сведения о ведущей организации:

Полное и сокращенное наименование организации	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)
Место нахождения	634050, Томская область, г. Томск, пр. Ленина, д. 30
Телефон	+7 (3822) 60-63-33, +7 (3822) 60-64-44
Адрес электронной почты	tpu@tpu.ru
Адрес сайта организации	http://tpu.ru

Отзыв получен 10.12.2021г. Проф. /Осипов И.В./
С отзывом ознакомлен 10.12.2021г. /Козомцев И.В. 8