

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический
университет», д.т.н, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Вострецов Алексей Геннадиевич



«29» апреля 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» на диссертацию **Труфакина Сергея Сергеевича** «**Стохастическая оптимизация долгосрочных режимов работы гидроэнергетических систем и комплексов**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.14.01 – Энергетические системы и комплексы**

1. Актуальность темы диссертации

Определение оптимального режима работы гидроэнергетических систем является важной задачей для повышения экономической эффективности работы, обеспечения надежности работы энергетических систем и более рационального использования водных ресурсов. Учитывая вероятностную природу стока, система заблаговременного определения параметров водного и энергетического режима гидроэнергетических систем должна учитывать возможность наступления любого притока воды в водохранилища и вырабатывать решения на основании показателей комплексной эффективности всех зависящих от режима работы гидроэнергетических систем технологических процессов.

В связи с многообразием требований к режимам работы гидроэнергетических систем целесообразным представляется разработка методик, которые позволят оценивать стратегии различных водопользователей и сравнивать их между собой, а также разработка оптимизационных алгоритмов, обеспечивающих максимальный эффект от использования электроэнергии в энергетической системе и минимальные риски нарушения требований других водопользователей.

Всем перечисленным вопросам посвящена представленная диссертация, в которой рассматривается разработка методики расчета комплексной эффективности режимов работы гидроэнергетических систем, а также алгоритмов стохастической оптимизации, что подтверждает актуальность выполненных исследований.

2. Соответствие диссертации паспорту специальности

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы:

- разработка научных основ исследования общих свойств, создания и принципов функционирования энергетических систем и комплексов, фундаментальные и прикладные системные исследования проблем развития энергетики городов, регионов и государства, топливно-энергетического комплекса страны (пункт 1);
- использование на этапе проектирования и в период эксплуатации методов математического моделирования с целью исследования и оптимизации структуры и параметров энергетических систем и комплексов, и происходящих в системах энергетических процессов (пункт 3).

3. Структура и объем диссертации

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский федеральный университет». Общий объем работы составляет 193 страницы.

Диссертационная работа состоит введения, четырех глав, основных результатов работы, списка литературы из 109 наименований и приложений.

Во введении приведено обоснование актуальности темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, тезисы, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость результатов работы.

В первой главе представлен анализ современных задач и методов планирования режимов работы гидроэнергетических систем, а также дана общая характеристика проблемы определения эффективности гидроэнергетических систем. Отмечено, что большинство водохранилищ имеет многоцелевое назначение, а также выделены основные категории водопользователей. Проведен аналитический обзор существующих методов планирования долгосрочных режимов гидроэнергетических систем в сочетании с оптимизационными методами.

На основе проведенного анализа обоснована необходимость разработки методики оценки комплексной эффективности режимов работы гидроэнергетических систем и развития методов оптимизации долгосрочных режимов работы гидроэнергетических систем.

Вторая глава посвящена разработке методики оценки эффективности режимов работы гидроэнергетических систем. Оценка эффективности автор получает в виде показателей отклонения от идеальных значений, выраженных в относительных единицах. Показатели разделены на две группы: показатели экономической эффективности, характеризующие эффект от продажи выработанной электроэнергии, и показатели надежности, характеризующие риски нарушения требований водопользователей, включающие требования поддержания минимального и не превышения максимального расхода воды, требования поддержания минимального и не превышения максимального уровня воды на водпостах, расположенных в нижнем бьефе, требования обеспечения баланса электроэнергии в

энергосистеме, требования не превышения максимальных перетоков мощности в энергосистемы.

В третьей главе представлена разработка методики и алгоритмов стохастической оптимизации. В связи с особенностями математической модели и наличием большого количества ограничений алгоритмы построены на основании градиентных методов оптимизации. В качестве метода учитывающего ограничения исследованы метод штрафных функций и метод проекции градиента. Предложено использовать модифицированный метод проекции градиента, ускоряющий время расчета. Для учета ограничений перетоков мощности в энергосистемах предложено использовать теорию чувствительности. Алгоритмы подробно описаны в виде формул и иллюстраций.

В четвертой главе проведены имитационные расчеты оптимальных долгосрочных режимов гидроэнергетической системы, на примере Ангаро-Енисейского каскада ГЭС, функционирующего в составе объединенной энергосистемы Сибири, с последующим анализом полученных результатов. Расчеты были произведены для объемов притоков 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90% и 95% обеспеченности.

Полученные результаты имитационных расчетов режимов работы Ангаро-Енисейского каскада ГЭС доказывают адекватность предлагаемых методик и алгоритмов.

В основных результатах работы приведены основные выводы по результатам исследований.

4. Основные научные результаты и уровень их новизны

Основными результатами, составляющими научную новизну диссертации, являются:

4.1. Предложена и разработана методика оценки режимов работы гидроэнергетических систем с учетом требований энергетического и

водохозяйственного комплекса с использованием характеристики распределения вероятностей притоков воды в водохранилища ГЭС.

4.2. Разработаны алгоритмы стохастической оптимизации режимов работы гидроэнергетических систем, обеспечивающей максимальный эффект от использования электроэнергии в энергетической системе и минимальные риски нарушения требований остальных водопользователей.

4.3. Разработана методика планирования оптимальных долгосрочных режимов работы гидроэнергетических систем, функционирующих в составе энергетических систем.

5. Практическая значимость и достоверность полученных результатов

5.1 Разработанная методика оценки режимов работы гидроэнергетических систем может быть использована для согласования различных стратегий использования водных ресурсов.

5.2. Разработанная методика и алгоритмы стохастической оптимизации режимов работы гидроэнергетических систем могут быть использованы в диспетчерских центрах энергосистемы в качестве основы для планирования долгосрочных режимов энергосистем, согласования графиков ремонтов энергетического и электросетевого оборудования и решения других сопутствующих задач. На основании данной оптимизационной методики разработан программный комплекс «Программа расчета оптимальных режимов гидроэлектростанций Ангара-Енисейского каскада» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019661972 от 12.09.2019 г.).

5.3. Разработан программный комплекс «Водно-энергетический расчет ГЭС Ангара-Енисейского каскада» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017618953 от 11.08.2017 г.), который используется в Филиале АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири и Филиале АО «СО ЕЭС» Красноярское РДУ на этапах долгосрочного и краткосрочного планирования водно-энергетического 7 режима работы ГЭС Ангара-

Енисейского каскада и в целом энергетического режима работы объединенной энергосистемы Сибири.

5.4. Полученные результаты имитационных расчетов Ангаро-Енисейского каскада ГЭС, функционирующего в объединенной энергосистеме Сибири, для притоков воды различной обеспеченности позволяют определить «узкие места», которые необходимо контролировать при управлении режимом работы.

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается корректным использованием математического аппарата, а также соответствием результатов имитационного расчёта оптимальных режимов работы гидроэнергетических систем (на примере Ангаро-Енисейского каскада ГЭС) положениям нормативно-технической документации. Используемые в расчетах методы теории вероятности и математической статистики, а также оптимизационные алгоритмы хорошо изучены и неоднократно доказали правомерность своего использования. Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на различных всероссийских и международных конференциях.

6. Замечания и вопросы по работе

6.1. В главе 2 автором приводятся алгоритмы расчета рисков нарушения режимов работы различных участников ВХК (водоснабжение, навигация, максимальные попуски в нижний бьеф и т.д.). При этом в выражениях (2.8), (2.14), (2.24), (2.27), (2.29) величина риска трактуется как вероятность, хотя самой вероятности как частоты появления определенного случайного события в них нет. На самом деле риски представляют собой набор детерминированных значений параметров нарушения режимов. Единственная модель, которая имеет вероятностную сущность, это кривая обеспеченности стоков реки, которая, правда, никакого отношения к рискам не имеет, т.к. в указанных выше формулах обеспеченность не присутствует.

6.2. Вызывает серьезные сомнения введенный автором термин «идеальная ситуация», которая используется для определения отклонений в требованиях участников ВХК, как скалярных оптимизационных параметров. Она трактуется как ситуация, «...в которой плановый экономический эффект является максимально возможным, а риски нарушения требований равны нулю». Из этого следует, что вероятность выполнения требований участников ВХК равна значению вероятности достоверного события, т.е. 1. В таком случае, стохастический подход, который провозглашает автор, вырождается в чисто детерминированный. Правильнее было бы задаться каким-то уровнем значимости, обычно используемым в теории вероятностей, например, 0,99 или 0,995. Тогда данная постановка задачи была бы строгой.

6.3. Что такое имитационные расчеты, которые в работе занимают значительное место? В постановочной части не говорится о том, какие принципы положены в основу имитационных моделей. Строго говоря, приведенные расчеты представляют собой различные сценарии изменения ситуаций, которые могут возникнуть в ВХК или в ОЭС Сибири, т.е. это сценарные модели, а не имитационные.

6.4. Хотелось в такой работе, которая ориентирована на практическое использование результатов диссертации в планировании режимов АЕК, увидеть ожидаемые эффекты от решения оптимизационных задач.

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

Диссертация С.С. Труфакина является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основании выполненных автором исследований представлено решение актуальной задачи по совершенствованию системы планирования долгосрочных режимов работы гидроэнергетических систем, имеющей существенное значение для развития научных основ исследования и принципов функционирования гидроэнергетических систем и комплексов и использования методов

математического моделирования с целью исследования и оптимизации их структуры и параметров.

Диссертация соответствует п. 9 Положения о порядке присуждения учёных степеней в части, касающейся кандидатских диссертаций.

Основные выводы и положения диссертационной работы в полной мере отражены в 13 печатных публикациях автора, 3 из которых входят в списки изданий, рекомендованных ВАК. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации. Автор диссертации «Стохастическая оптимизация долгосрочных режимов работы гидроэнергетических систем и комплексов» **Труфакин Сергей Сергеевич** заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы.

Заключение принято на научно-техническом семинаре кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Новосибирского государственного технического университета, протокол № 6 от 20.04.2020 г.

Заведующий кафедрой
«Автоматизированные
электроэнергетические системы»
ФГБОУ ВО «Новосибирский
государственный технический
университет»

д-р техн. наук, доцент _____ Левин Владимир Михайлович

Адрес: 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20

Тел.: +7 (383) 346 08 43, +7 (383) 346-19-42

E-mail: rector@nstu.ru, levin@corp.nstu.ru

