

В диссертационный совет Д 212.099.07
на базе ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет» (СФУ)
660049, г. Красноярск, ул. Ленина, 70,
диссертационный совет Д 212.099.07
Ученому секретарю к.т.н., доценту Е.Ю. Сизгановой

Отзыв официального оппонента, доктора технических наук, профессора
Клера Александра Матвеевича
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

Актуальность темы исследований.

Производство электроэнергии на ГЭС составляет значительную часть от общего производства электроэнергии в РФ. Причем большинство крупных гидроэлектрических станций входят в каскады ГЭС, расположенных последовательно по течению одного или нескольких связанных водных потоков. Режимы работы ГЭС каскада должны согласовываться между собой и должны учитывать требования электроэнергетической системы, системы водоснабжения, системы водного транспорта и др.

Характерной особенностью функционирования каскада ГЭС является случайный характер естественных притоков воды в водохранилища и связывающие их русла рек. Причем, если в текущий момент времени объемы притоков известны, то они могут быть достаточно точно спрогнозированы на коротких временных интервалах. Однако с ростом горизонта прогнозирования точность прогнозов существенно падает. Это делает задачи оптимизации долгосрочных режимов каскадов ГЭС особенно сложными.

Следует отметить, что задачам оптимизации долгосрочных режимов гидроэнергетических систем посвящено значительное число работ, выполненных как в нашей стране, так и за рубежом. В основном, в этих работах используется следующий подход. В качестве целевой функции принимается математическое ожидание показателя экономической эффективности производства электроэнергии. При его определении учитывается случайный характер естественных притоков воды. Требования других систем, связанных с каскадом ГЭС (водного транспорта, водоснабжения и т.д.), учитываются в виде детерминированных ограничений-неравенств на уровни воды в водохранилищах и расходы воды через плотины ГЭС в различные моменты рас-

четного периода. Такой подход упрощает решения задач оптимизации долгосрочных режимов гидроэнергетических систем, но не в полной мере учитывает влияние режимов каскада на другие, указанные выше системы.

В диссертационной работе С.С.Труфакина предлагается подход к стохастической оптимизации долгосрочных режимов гидроэнергетических систем, в значительной мере свободный от указанных недостатков. Это, с учетом масштабов производства электроэнергии в РФ на каскадах ГЭС, определяет актуальность данной работы.

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа С.С.Труфакина состоит из введения, четырех глав, основных результатов работы, библиографического списка из 109 наименований и четырех приложений. Общий объем диссертации 193 стр.

Во введении отражены актуальность работы, ее цели и задачи, научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость, тезисы, выносимые на защиту, личный вклад автора, соответствие паспорту специальности.

В первой главе представлен анализ современных задач и методов планирования режимов работы гидроэнергетических систем, а также дана общая характеристика проблемы определения их эффективности. Отмечено, что большинство водохранилищ имеет многоцелевое назначение, выделены основные категории водопользователей. На основе анализа недостатков ранее выполненных работ диссертант формулирует направления совершенствования методов и алгоритмов управления режимами ГЭС.

Во второй главе представлена методика оценки эффективности режимов работы гидроэнергетических систем. Приведены алгоритмы расчетов рисков нарушения минимальных попусков для целей водоснабжения и навигации, минимальных уровней в контролируемых водопостах, рисков нарушения максимальных попусков и рисков нарушения балансов мощности в электроэнергетической системе. Рассмотренные показатели определяются как для отдельных ГЭС, так и для их каскада.

В третьей главе рассматриваются предложенные диссертантом методика и алгоритмы стохастической оптимизации долгосрочных режимов работы гидроэнергетической системы. В качестве целевой функции при такой оптимизации предлагается использовать скалярную функцию, равную сумме критериев относительной эффективности систем (электроэнергетической, водоснабжения, водного транспорта и др.), на которые оказывают влияние режимы работы каскада ГЭС. При этом в качестве критерия электроэнергетической системы принят экономический критерий, а в качестве критериев других систем приняты вероятности нарушения их требований, определенные с учетом случайного характера приточности воды. Представлены алгоритмы водно-энергетического расчета и расчета электрической сети.

В четвертой главе представлены имитационные расчеты режимов работы ГЭС Ангаро-Енисейского каскада, функционирующих в Объединенной

энергосистеме Сибири. Проведены оптимизационные расчеты с естественными притоками воды, имеющими различный уровень обеспеченности от 5% до 95%.

В основных результатах работы представлены задачи, решенные в диссертационной работе С.С.Труфакина.

Научная новизна выносимых на защиту положений, выводов и рекомендаций.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Предложена методика оценки влияния режимов работы каскада ГЭС на эффективность связанных с каскадом систем (энергетической, водоснабжения, водного транспорта и др.). За критерии такой эффективности приняты вероятности нарушения требований соответствующих систем, обусловленных случайным характером естественной приточности воды (чем ниже вероятность нарушения требований, тем эффективнее функционирование соответствующей системы при данном режиме).

2. Предложена оригинальная постановка задачи стохастической оптимизации долгосрочных режимов гидроэнергетической системы, где в качестве целевой функции выступает сумма относительных критериев удовлетворения требований различных систем, связанных с каскадом ГЭС. При этом учитывается система уравнений водных балансов и система уравнений электрического режима электроэнергетической системы.

3. Разработаны оригинальные алгоритмы оценки эффективности режимов каскада ГЭС и стохастической оптимизации долгосрочных режимов гидроэнергетических систем, основанные на оценке обеспеченности минимальных значений естественных притоков, позволяющих удовлетворить требования соответствующих систем.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость диссертационной работы С.С.Труфакина состоит в разработке нового подхода к оптимизации долгосрочных режимов каскадов ГЭС, основанного на учете влияния режимов на эффективность всех систем, связанных с каскадом.

Практическая значимость работы состоит в создании алгоритмов и программного комплекса стохастической оптимизации долгосрочных режимов каскада ГЭС.

Достоверность выводов и результатов.

Достоверность полученных результатов и выводов диссертационной работы С.С.Труфакина обусловлена корректным использованием методов системного анализа в энергетике, апробированных математических моделей объектов гидроэнергетики и электроэнергетики, положений теории вероятностей и математической статистики, методов нелинейной оптимизации.

Публикации основных результатов диссертационной работы.

По результатам выполненных исследований опубликовано 13 печатных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, 3 в рецензируемых изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ по специальности 05.14.01, 7 публикаций в прочих изданиях и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы.

Диссертационная работа С.С.Труфакина соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

1. 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;

3. 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.

Автореферат в должной мере отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе.

1. Постановка задачи стохастической оптимизации долгосрочных режимов каскада ГЭС не представлена в одном месте, а рассредоточена по тексту диссертации, что сильно затрудняет понимание того, что же предлагает диссертант.

2. В диссертации в качестве целевой функции используется сумма критериев относительной эффективности электроэнергетической системы, системы водоснабжения, системы водного транспорта и др. Причем в качестве критерия относительной эффективности функционирования каскада ГЭС в составе электроэнергетической системы рассматривается разность максимального и фактического доходов от продажи электроэнергии, деленная на максимальный доход. Для остальных систем в качестве критериев относительной эффективности приняты вероятности нарушений их требований, обусловленных случайным характером приточности. Следует отметить, что указанные системы могут иметь несопоставимые масштабы. Например, водный транспорт для некоторых водохранилищ рассмотренного в диссертации каскада имеет незначительный объем перевозок. В связи с этим представляется целесообразным каждый коэффициент относительной эффективности умножить на весовой коэффициент, учитывающий масштаб соответствующей системы.

3. В Ангаро-Енисейском каскаде имеются ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования. Для них нет момента времени расчетного периода, для которого уровни в водохранилищах заранее известны. Это отличает указанные ГЭС от гидроэлектростанций с водохранилищами годового и сезон-

ного регулирования, для которых перед началом весеннего паводка всегда устанавливается уровень мертвого объема. Однако особенности ГЭС с водохранилищами многолетнего регулирования в диссертации не учитываются.

4. Поскольку выработка электроэнергии каскадом ГЭС зависит от случайных естественных притоков воды в водохранилища, то в качестве критерия эффективности гидроэнергетической системы следовало бы принять математическое ожидание дохода от продажи электроэнергии. При этом необходимо иметь в виду, что цены электроэнергии на различных интервалах расчетного периода могут быть различными.

5. Предлагаемый подход к оптимизации долгосрочных режимов каскада ГЭС не учитывает того, что краткосрочная оптимизация режимов каскада ГЭС будет проводиться в условиях гораздо большей определенности в отношении текущих запасов воды и ожидаемых на интервале краткосрочной оптимизации притоков. Например, в конце расчетного периода, равного водохозяйственному году, автор рассматривает один вариант работы ГЭС. Более правильно было бы рассматривать несколько вариантов, соответствующих различным притокам.

6. Метод наискорейшего спуска не предназначен для решения задач нелинейной оптимизации с ограничениями-неравенствами. Используемый автором прием ввода в допустимую область теоретически не гарантирует улучшения целевой функции на каждом шаге процесса оптимизации. Для обоснования эффективности данного подхода к решаемой задаче следовало бы продемонстрировать итерационный процесс оптимизации хотя бы для одного из приведенных в диссертации примеров.

7. Автор не всегда указывает используемые размерности переменных, из-за чего трудно понять смысл некоторых выражений. В частности, это относится к выражению (2.40) для определения выработки электроэнергии ГЭС. Возможно, в этом выражении имеются опечатки.

Общее заключение.

Несмотря на сделанные замечания, следует отметить, что диссертационная работа С.С.Труфакина является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная проблема повышения эффективности функционирования гидроэнергетических систем, имеющая существенное значение для электроэнергетики РФ. Диссертационная работа удовлетворяет критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции Постановлений Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 № 355, от 02.08.2016 № 748, от 29.05.2017 № 650, от 28.08.2017 № 1024).

Автор диссертационной работы Сергей Сергеевич Труфакин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент,
заведующий отделом теплосиловых систем
ФГБУН Институт систем энергетики
им.Л.А.Мелентьева Сибирского отделения
Российской академии наук,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ



Клер Александр Матвеевич

Адрес: 664033, Иркутск,
ул. Лермонтова, 130
тел. +7(3952)42-30-03
e-mail: kler@isem.irk.ru

