

На правах рукописи

Хасянов Сергей Владимирович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ СКОРОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ
ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩЕ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ БЕЗОПАСНОСТЬ ГТС, НА
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГЭС**

Специальность 05.14.08

Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2013

Работа выполнена на кафедре нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Александровский Алексей Юрьевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Гидрологии,
метеорологии и регулирования стока»
ФГБОУ ВПО «Московского государственного
университета природообустройства»
Исмайлов Габил Худуш-Оглы

кандидат технических наук, директор по
направлению «Краткосрочные балансы»
«Агентства по прогнозированию балансов
в электроэнергетике»
Лелюхин Николай Владимирович

Ведущая организация:

**ФГБОУ ВПО «Московский государственный
строительный университет»**

Защита состоится «07» июня 2013 года в 16 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.157.03 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национального исследовательского университета «МЭИ» по адресу: 111250 Москва, Красноказарменная ул., д. 14, аудитория Г-200.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИУ «МЭИ»

Автореферат разослан « » 2013 г.

Председатель

диссертационного совета Д 212.157.03
доктор технических наук, профессор

Жуков В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Ввод в эксплуатацию гидроэлектростанции обычно связан с созданием водохранилища, основным назначением которого является перераспределение естественного речного стока во времени. Хозяйственная деятельность на водохранилищах осуществляется в соответствии с требованиями, согласованными со всеми участниками водохозяйственного комплекса. При этом водопользователи должны рационально использовать водные ресурсы, обеспечивать безопасность гидротехнических сооружений и не допускать возникновения аварийных ситуаций.

Безопасность гидротехнических сооружений гидроузла, населения и хозяйственных объектов, расположенных в долине реки ниже по течению, окружающей среды, а также надежность функционирования электроэнергетического объекта в значительной мере определяются режимом работы водохранилища. В процессе длительной эксплуатации водохранилища возможно возникновение явлений, не предусмотренных проектом и оказывающих негативное воздействие на надежность и безопасность функционирования гидротехнических сооружений, при появлении которых возникает необходимость наложения определенных ограничений на режим работы водохранилища.

Одним из параметров режима работы водохранилища, к которому может быть применено ограничение является характеристика динамики изменения уровня воды в водохранилище – скорость повышения или снижения горизонта в расчетном интервале времени, которая в диспетчерских графиках не учитывается, однако, она имеет важное и часто определяющее значение для безопасности и надежности гидротехнических сооружений. При наложении ограничений на скорость изменения уровня воды в водохранилище изменяется режим работы водохранилища, и как следствие, режим работы гидроэлектростанции, что может оказать влияние на эффективность использования водных ресурсов водохранилища и привести к изменению энергетических показателей работы гидроэлектростанции.

Актуальность темы диссертации заключается в исследовании вопросов обеспечения безопасности гидротехнических сооружений в процессе их эксплуатации.

Цель исследования. Исследование влияния режимов наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели ГЭС и техническое состояние гидротехнических сооружений для разработки рекомендаций по дальнейшему совершенствованию условий эксплуатации ГЭС.

В рамках сформулированной цели в диссертационной работе решены следующие задачи:

- разработана методика исследования влияния режима наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели ГЭС и техническое состояние ГЭС;
- исследовано влияние скорости наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели на примере характерного каскада ГЭС;

- разработаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию эксплуатации ГЭС.

Методика исследования. Разработана методика водноэнергетического обоснования параметров и режима работы ГЭС, позволяющая уточнить и повысить достоверность полученных результатов за счет учета ограничений режимов наполнения и сработки водохранилища.

Научная новизна заключается в разработке рекомендаций по дальнейшему совершенствованию условий эксплуатации ГЭС с учетом влияния режимов наполнения и сработки водохранилищ.

Практический выход и внедрение. Полученные результаты работы обосновывают необходимость мониторинга оценки влияния режима работы водохранилищ на надежность ГЭС и внесение в научно-техническую документацию параметра, отвечающего за ограничение режима работы водохранилища.

Достоверность полученных результатов обусловлена анализом фактических данных опыта эксплуатации гидротехнических сооружений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Необходимо уделить больше внимания изучению влияния режимов наполнения и сработки водохранилища на техническое состояние гидротехнических сооружений.
2. Необходимо вести мониторинг режимов наполнения и сработки водохранилища с целью изучения его влияния на техническое состояние гидротехнических сооружений. Изучение должно вестись на каждом конкретном объекте.
3. Включить в «Методические рекомендации по разработке правил использования водохранилищ» параметр, связанный с режимом сработки и наполнения водохранилища влияющий на техническое состояние гидротехнических сооружений.
4. Введение ограничения режимов наполнения и сработки приводит к необходимости корректировки «Правил использования водных ресурсов водохранилищ ГЭС».
5. Введение ограничения режимов наполнения и сработки может привести к изменению энергетических показателей работы ГЭС расположенных ниже по течению реки, что, в свою очередь, приводит к необходимости корректировки их «Правил использования водных ресурсов водохранилищ».

Апробация работы. Результаты исследований диссертационной работы были представлены и обсуждены на:

- всероссийской научной конференции «Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока», г. Москва, 2012 г.;
- всероссийской научной конференции «Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике» г. Цимлянск, 2012г.;

– на заседании кафедры НВИЭ НИУ «МЭИ» г. Москва, 2013г.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 101 наименование и приложения. Работа изложена на 130 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цели и задачи исследований, дана общая характеристика работы, включая практическую значимость.

Первая глава посвящена анализу методов планирования режима работы водохранилищ ГЭС и работ об исследовании влияния режима работы водохранилищ на безопасность находящихся в эксплуатации гидроэнергетических объектов. Приведено описание изменения состояния плотины за период эксплуатации на примере Саяно-Шушенской ГЭС.

Задача управления режимами работы ГЭС заключается в решении двух задач – определение долгосрочных и краткосрочных режимов работы ГЭС. Несмотря на то, что эти задачи тесно связаны между собой, алгоритмические и вычислительные трудности не позволяют рассматривать их в едином алгоритме. Также к разделению этих задач приводит существенное различие в полноте, форме и достоверности исходной информации.

Методы планирования долгосрочных режимов работы ГЭС, в зависимости от учета гидрологической информации можно разделить на следующие виды:

- 1) оптимизация по заданному гидрографу притока воды в водохранилище;
- 2) безпрогнозный метод, базирующийся на диспетчерских правилах.

Решение задачи определения долгосрочного режима работы ГЭС методом оптимизации по заданному гидрографу производится посредством проведения оптимизационных расчетов с учетом заданной в детерминированной форме системы ограничений: по уровню воды в водохранилище, по расходу воды в нижний бьеф, по заборам воды из водохранилища, по располагаемой по напору мощности ГЭС и др. Система ограничений характеризует требования неэнергетических водопотребителей и водопользователей и позволяет учесть комплексный характер использования водных ресурсов.

В качестве гидрологической информации используется математическое ожидание прогноза стока на первый расчетный интервал времени. Для всех последующих интервалов используется средний гидрограф, подсчитанный по данным натурных наблюдений за стоком в расчетных створах.

Диспетчерские правила представляют собой одну из форм планирования и управления режимом работы водохранилища для каждой конкретной ситуации. Наиболее частое представление диспетчерских правил в виде графиков, на которых в качестве управляющего фактора используется уровень воды в водохранилище к началу расчетного

интервала времени, при этом водохранилище разделяется на характерные зоны, режим работы ГЭС в каждой из которых имеет свои особенности.

Построение диспетчерских графиков ведется отдельно для каждой зоны в зависимости от ее функций с учетом требований неэнергетических водопотребителей и водопользователей. При построении диспетчерских графиков высотное положение линий и их очертания определяют подбором, по результатам водохозяйственных и водноэнергетических расчетов по многолетнему ряду наблюдений.

Задачей краткосрочного планирования является определение режима работы ГЭС, удовлетворяющему заданному критерию оптимальности, при этом, как и в задачах долгосрочного планирования, расчетный интервал делится на более короткие интервалы, от одного дня для задачи недельного регулирования до одного часа для внутрисуточной оптимизации. Для решения задач определения краткосрочных режимов работы ГЭС используются численные методы, в частности, метод покоординатного спуска, метод динамического программирования и метод проекции градиента.

Анализ влияния режима работы водохранилища на техническое состояние гидротехнических сооружений проводился по литературным источникам.

В рассмотренных материалах представлены экспериментальные данные, свидетельствующие, что в определенных инженерно-геологических условиях и режимах эксплуатации объектов такие факторы, как пригрузка локального участка земной коры и изменение гидрологических условий, возникающих вследствие создания водохранилища, могут существенно повлиять на напряженно-деформированное состояние (НДС) массива оснований плотин и значительно осложнить работу гидротехнических сооружений.

НДС массива в бортах водохранилищ и в местах примыкания плотины существенно зависит от наличия в трещинах массива фильтрующей воды. При быстром наполнении водохранилища большие аккумулируемые массы воды не успевают реализовываться в виде объемных гидродинамических сил в скальном массиве и действуют на ложе водохранилища преимущественно как поверхностная нагрузка, которая приводит к деформациям бортов каньона, что оказывает влияние на НДС плотины. При быстрой сработке водохранилища в массиве могут возникнуть зоны избыточного трещинного давления, в которых развиваются процессы разрушения массива. Также резкое изменение фильтрационного режима основания приводит к скачкообразным изменениям напоров, прорывам затампонированных скважин, появлению новых путей фильтрации, росту фильтрационных расходов.

Специалистами Центра службы геодинамических наблюдений в энергетической отрасли (ЦСГНЭО) проводились исследования по оценке опасности деструктивных явлений, вызванных режимом работы водохранилища, на основе результатов наблюдений за состоянием примыканий плотины ГЭС Ингури (Грузия). Результаты исследований показали, что наиболее значительные изменения свойств массива пород в основании плотины происходят при амплитуде колебаний уровня водохранилища более 80-100 м и скорости сработки большей, чем 0,5 – 0,6 м/сут. При превышении этих показателей

происходит уменьшение деформационных свойств пород основания до 2 раз и более, что существенно влияет на НДС сооружения.

Проведенное исследование выявило необходимость использования ограничений при назначении режимов сработки и наполнения. Так, для ГЭС Ингури безопасное изменение диапазона уровней водохранилища было ограничено 70 – 80 м, а предельные скорости сработки и наполнения водохранилища увязаны с положением горизонта воды в водохранилище. Минимальная скорость сработки соответствует максимальным уровням и не должна превышать 0,6 м/сут., по мере снижения уровня воды в водохранилище скорость сработки может повышаться до 1,5 м/сут. при низких отметках уровня воды в водохранилище.

Подобные явления также отмечены на Саяно-Шушенской ГЭС. Уже в первые годы после подъема верхнего бьефа по данным измерительной аппаратуры, установленной в ближней к плотине зоне, отмечалось повышенное трещинообразование, и увеличенные фильтрационные расходы в поверхностной части основания.

Для установления влияния, оказываемого уровнем воды в водохранилище на свойства и состояние основания, специалистами ЦСГНЭО проводились исследования в левобережном примыкании плотины, которые показали, что на изменение уровня воды в водохранилище реагирует вся часть левобережного массива. Была отмечена общая тенденция роста всех компонент напряжений с удалением от склона вглубь массива и их уменьшения в зонах тектонических нарушений. Установлено, что при повышении уровня воды в водохранилище максимальные горизонтальные напряжения увеличиваются, а вертикальные – падают.

Аналогичные исследования проводились лабораторией гидротехнических сооружений Саяно-Шушенской ГЭС, которые выявили существенное влияние колебания уровня воды в водохранилище на деформации скальных примыканий плотины. Многолетние наблюдения показали, что эти деформации берегов водохранилища непосредственно связаны с сезонными колебаниями уровня воды.

Одной из основных причин наблюдаемых изменений свойств и состояния массивов пород являются фильтрационные силы, возникающие при смене гидрологических и гидрогеологических условий, которые зависят от уровня воды в водохранилище. При наполнении водохранилища под действием фильтрационных сил и дополнительных нагрузок, передаваемых плотиной, в массиве пород основания и примыканий происходят различные деформационные процессы, вызывающие изменения его состояния и свойств. При этом с началом заполнения водохранилища и возникновением фильтрационных сил в дополнительно обводненной части массива происходит рост внутри трещинного давления, что обуславливает расклинивание проницаемых трещин. При малых техногенных нагрузках $R_T < R_{пред}$, где $R_{пред}$ — предельно допустимая нагрузка на основание, массив работает квазиупруго, то есть при подъеме уровня водохранилища существующие в нем трещины и пустоты частично закрываются, при сбросе воды вновь

открываются. В случае, когда $P_T > P_{пред}$, происходит прорастание части крупных трещин.

Из рассмотренных явлений можно выделить наиболее опасные для эксплуатируемых объектов. Это, прежде всего уменьшение при подъеме уровня верхнего бьефа деформационных и прочностных свойств пород в примыканиях при одновременном уменьшении вертикальных напряжений в массиве, что снижает устойчивость сооружения на сдвиг. Значительную опасность представляет также возможный рост крупных трещин при резких и больших подъемах уровня водохранилища, а также (и в большей степени) при быстрых и глубоких сбросках водохранилища. Очевидно, что многократное быстрое наполнение и сброска водохранилища могут вызвать неконтролируемый рост одиночных крупных трещин и в конечном итоге привести к разрыву цементационных и противofiltrационных завес, вызвать значительное увеличение водопроницаемости массива, а следовательно, и фильтрационных потерь. В худшем случае это дополнительное снижение несущей способности пород в основании сооружения, повышение опасности обрушения неустойчивых массивов и сдвига отдельных блоков по прорастающим крупным трещинам. Деформации примыканий, обусловленные разуплотнением массива под воздействием взвешивающих сил, могут исказить проектную схему напряженно-деформированного состояния объекта. Указанные явления могут существенно осложнить работу высоких плотин и, следовательно, они должны контролироваться и учитываться при проектировании и анализе работы этих сооружений.

В настоящее время при разработке «Правил использования водных ресурсов водохранилищ» учитываются ограничения по режиму наполнения водохранилища при пропуске расчетных максимальных расходов.

Помимо режима работы водохранилища на характеристики плотины также оказывают влияние такие факторы как гидростатическая нагрузка, температурное воздействие и др. При этом, конечно же, на характеристики плотины оказывает влияние не каждый фактор в отдельности, а их сочетание.

В настоящее время плотина Саяно-Шушенской ГЭС находится в работоспособном состоянии, но процесс приспособления плотины к своему скальному основанию пока еще не закончен. Под воздействием изменения уровня воды в водохранилище происходит уплотнение береговых примыканий и смещение секций плотины к берегам, что, в свою очередь, вызывает дополнительный наклон плотины в сторону нижнего бьефа. Подъемы скального основания плотины, которые сопровождаются вертикальным растяжением тела плотины, при сезонных подъемах уровня воды в верхнем бьефе наблюдаются до настоящего времени с некоторым запаздыванием. Происходящее при подъеме уровня верхнего бьефа медленное растяжение плотины в вертикальном направлении может привести к раскрытию строительных швов и горизонтальных контактов на напорной грани плотины. В настоящее время согласно «Правилам использования водных ресурсов водохранилищ СШГЭС и МГУ» на Саяно-Шушенской ГЭС назначается ограничение

режима наполнения в годы с большой приточностью и при снижении температуры наружного воздуха, с учетом текущего температурного состояния плотины.

По результатам анализа материалов предоставленных в первой главе были сделаны следующие выводы:

- 1) установлено, что режимам наполнения и сработки водохранилищ не уделено должного внимания, что может сказаться на условиях эксплуатации ГТС;
- 2) отсутствует единый параметр устанавливающий связь в системе управления режимами ГЭС в части скорости наполнения и сработки водохранилищ и характеристик ГЭС (гарантированной мощности ГЭС, годовой выработки электроэнергии и технического состояния ГТС).

Вторая глава посвящена разработке методики исследования влияния ограничения режимов наполнения и сработки на энергетические показатели ГЭС и техническое состояние ГТС. Разработка методики производилась посредством расширения возможностей программного комплекса «Каскад», разработанного в «НИУ «МЭИ».

Программный комплекс осуществляет расчет выработки электроэнергии и холостых сбросов воды из водохранилищ каскада ГЭС при известных параметрах водохранилищ (батиграфических и/или объемных кривых водохранилищ, пропускных способностей гидроузлов и др.), а также заданных гидрографов притока воды к водохранилищам, зависимостей отметок уровня воды в нижних бьефах от расходов ГЭС, диспетчерских графиков работы водохранилищ и др. Также программный комплекс осуществляет построение эмпирических кривых обеспеченностей выработки электроэнергии, холостых сбросов воды и средней мощности ГЭС. Расчетный интервал в программе равен одной декаде.

Достоверность результатов расчетов, выполняемых программным комплексом «Каскад», обеспечивается применением широко известной методикой проведения водохозяйственных и водноэнергетических расчетов.

Расширение возможностей программного комплекса «Каскад» проводилось путем введения в алгоритм расчета программы условия:

$$|z_{в.б.i}^H - z_{в.б.i}^K| \leq |dz_i| \quad (1)$$

где $z_{в.б.i}^H$ и $z_{в.б.i}^K$ – начальная и конечная отметки уровня воды в водохранилище в расчетном интервале времени; dz_i – ограничение скорости изменения уровня воды в водохранилище за расчетный интервал времени.

Ограничение режимов наполнения и сработки водохранилища в программе можно задавать как для отдельных расчетных интервалов, так и для всего гидрологического года. Также ограничение задается численно, и при этом оно может иметь разное числовое значение в каждом расчетном интервале.

Верификация условия (1) производится на основе заложенного в программу диспетчерского графика работы водохранилища. В случае если режим работы водохранилища по диспетчерскому графику нарушает условие (1), то режим работы

водохранилища корректируется в соответствии с заданными ограничениями скорости сработки и наполнения.

Так, заложенные в программном комплексе действия в случае нарушения условия (1) следующие. При сработке производится уменьшение энергоотдачи ГЭС, а при наполнении водохранилища энергоотдача увеличивается в зависимости от максимальной пропускной способности турбин, которая определяется напором на ГЭС.

На рис. 1 представлен алгоритм расчета в программном комплексе каскад до расширения его возможностей, на рис. 2 после.

В третьей главе представлены результаты исследования по определению влияния ограничений режимов наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели работы каскада ГЭС. В качестве объекта исследования был выбран Енисейский каскад ГЭС. Ограничения применялись на Саяно-Шушенской ГЭС. Также определено, какой из видов ограничений (по сработке или наполнению) оказывает наибольшее влияние.

Энергоотдача Саяно-Шушенской и Майнской ГЭС назначалась в соответствии «Правилами использования водных ресурсов водохранилищ СШГЭС и МГУ». Энергоотдача Красноярской ГЭС назначалась в соответствии с «Правилами использования водных ресурсов водохранилища Красноярской ГЭС».

Ограничение режима сработки водохранилища применялось в декабре, январе, феврале, марте и апреле. Ограничение режима наполнения применялось в мае, июне, июле. Ограничение не применялось в августе, сентябре, октябре и ноябре, поскольку колебания уровня воды в водохранилище в этот период не являются критичными.

Ограничения скорости изменения уровня воды в водохранилище приняты одинаковыми как по сработке, так и по наполнению.

В качестве энергетических показателей работы ГЭС каскада приняты:

- E_0 – среднегодовая выработка электроэнергии;
- $W_{х.сбр.}$ – среднегодовой объем холостых сбросов воды;
- $N_{гар}$ – гарантированная зимняя мощность ГЭС, обеспеченностью 90 %.

В связи с тем, что в настоящее время на Саяно-Шушенской ГЭС имеются ограничения по выдаче мощности станции, исследование проводилось для двух вариантов максимальной мощности ГЭС:

1. $N_{СШГЭС}^{max} = 4000$ МВт (соответствует работе станции в современных условиях);
2. $N_{СШГЭС}^{max} = 6400$ МВт (использование проектной мощности ГЭС).

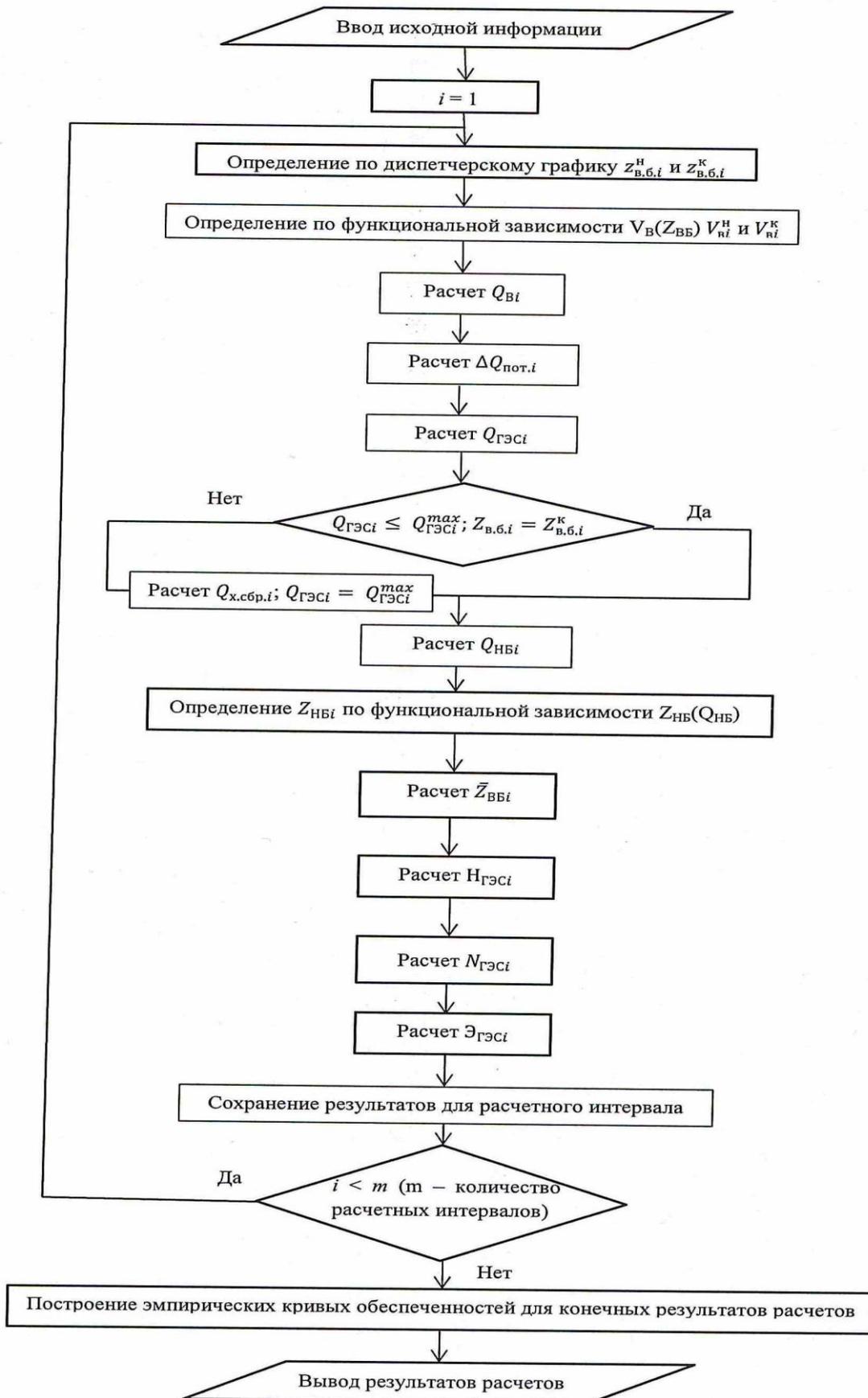


Рис. 1. Блок-схема алгоритма проведения расчетов в программном комплексе «Каскад».

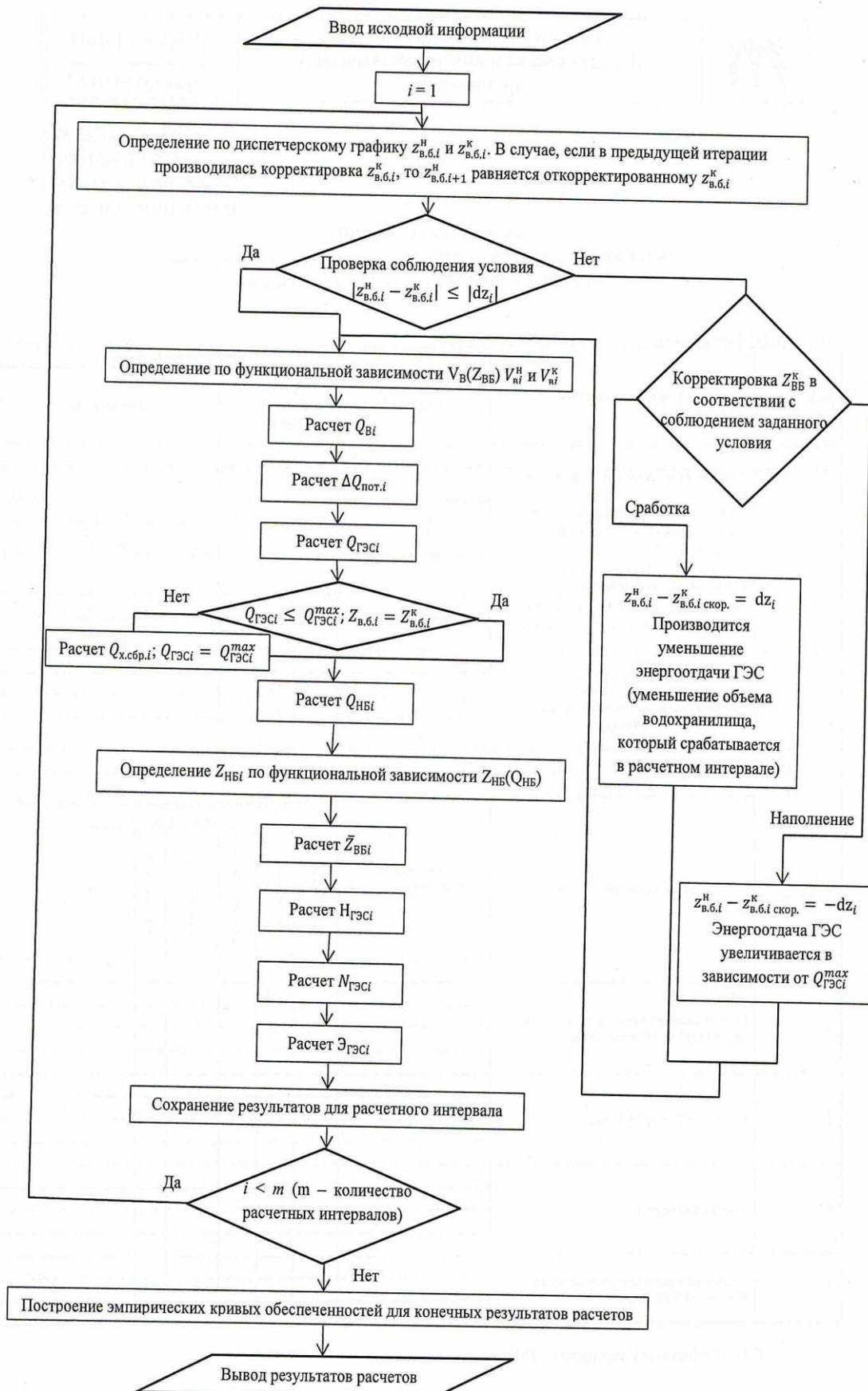


Рис. 2. Блок-схема алгоритма проведения расчетов в программном комплексе «Каскад» после расширения ее возможностей.

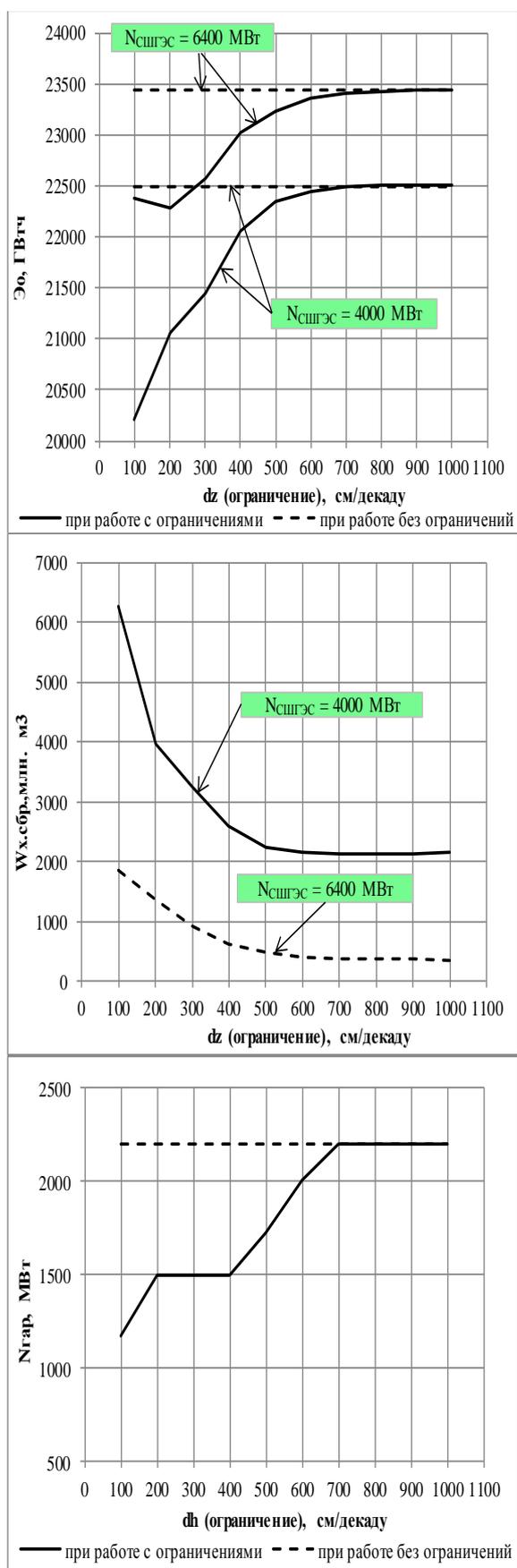


Рис. 3. Влияние режимов наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели работы Саяно-Шушенской ГЭС.

Результаты исследования по оценке влияния режимов наполнения и сработки на энергетические показатели Саяно-Шушенской ГЭС представлены на рис. 3.

Из приведенных результатов видно, что применение ограничения режимов наполнения и сработки водохранилища оказывает влияние на энергетические показатели работы Саяно-Шушенской ГЭС.

При максимальной мощности ГЭС равной 4000 МВт к уменьшению выработки электроэнергии приводят ограничения до 700 см/декаду, разница выработки электроэнергии в диапазоне ограничений от 100 до 700 см/декаду составляет 2271 млн. кВтч. Наибольшее уменьшение выработки электроэнергии наблюдается при ограничении диапазона колебаний уровня воды в водохранилище в пределе от 100 до 500 см/декаду, разница выработки электроэнергии на ГЭС в этом диапазоне составляет 2128 млн. кВтч или примерно 10 % от среднегодовой выработки Саяно-Шушенской ГЭС при работе без применения ограничений. Разница выработки электроэнергии на ГЭС при увеличении диапазона колебаний уровня воды в водохранилище с 500 см до 700 см/декаду составляет 143 млн. кВтч (менее 1% от среднегодовой выработки Саяно-Шушенской ГЭС при работе без применения ограничений).

При работе Саяно-Шушенской ГЭС с установленной мощностью расширяется диапазон ограничений режимов наполнения и сработки водохранилища, приводящий к уменьшению выработки электроэнергии, до 900 см/декаду. Разница выработки электроэнергии в диапазоне ограничений от 100 до 900 см/декаду составляет 1061 млн. кВтч. При этом наибольшее уменьшение выработки в диапазоне ограничений от 100 до 600 см/декаду, разница выработки составляет 980 млн.

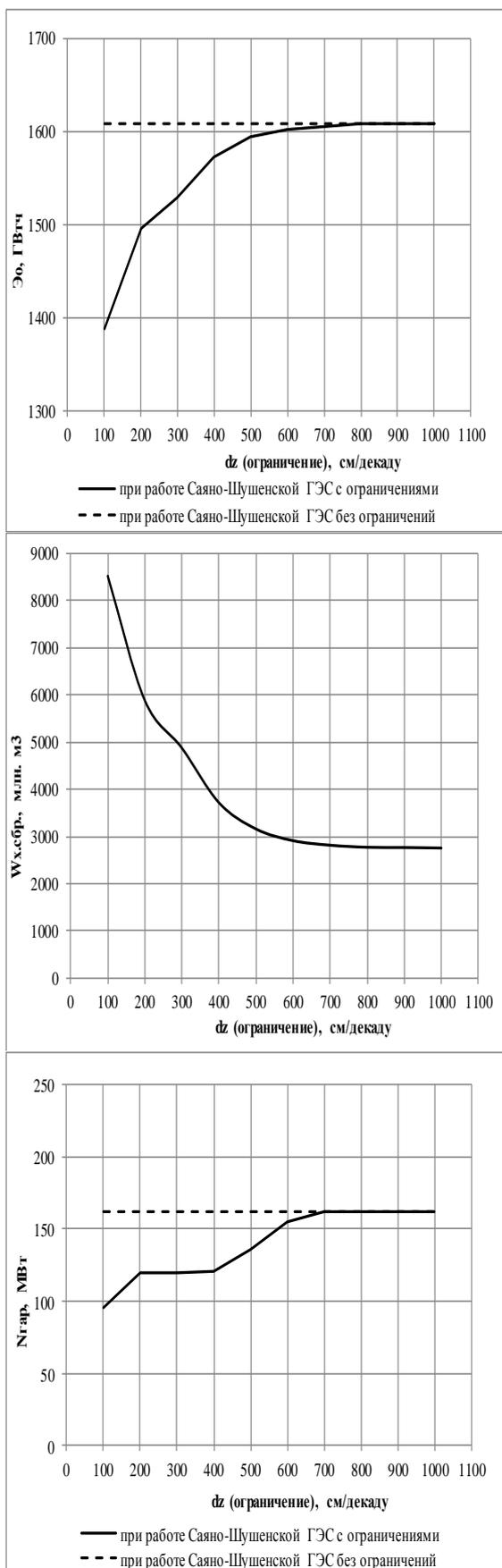


Рис. 4. Влияние режимов наполнения и сработки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС на энергетические показатели работы Майнской ГЭС.

кВтч, или около 4% от среднеегоголетней выработки ГЭС при работе без применения ограничений.

Уменьшение среднеегоголетней выработки электроэнергии Саяно-Шушенской ГЭС при применении ограничений происходит из-за уменьшения регулирующей способности водохранилища и, как следствие, приводит к увеличению среднеегоголетнего объема холостых сбросов воды.

Помимо увеличения среднеегоголетнего объема холостых сбросов, также увеличивается и частота их появления. Обеспеченность, при которой на станции начинаются холостые сбросы, при максимальной мощности ГЭС равной 4000 МВт возрастает с 70 до 98 %, а при работе станции с установленной мощностью с 30 до 70%.

На гарантированную зимнюю мощность Саяно-Шушенской ГЭС оказывают влияние ограничения режимов наполнения и сработки до 700 см/декаду, при этом гарантированная зимняя мощность ГЭС не зависит от варианта максимальной мощности ГЭС. Снижение допустимого диапазона колебаний уровня воды в водохранилище с 700 до 400 см/декаду приводит к уменьшению гарантированной мощности на 700 МВт или более чем на 30 % от гарантированной мощности станции при работе без ограничений.

В диапазоне ограничений от 200 до 400 см/декаду гарантированная зимняя мощность остается постоянной и соответствует режиму работы станции по противоперебойной линии диспетчерского графика водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС. При этом при увеличении допустимого диапазона колебаний уровня воды в водохранилище с 200 до 300 или 400 см/декаду происходит увеличение гарантированной мощности в месяцах, предшествующих январю.

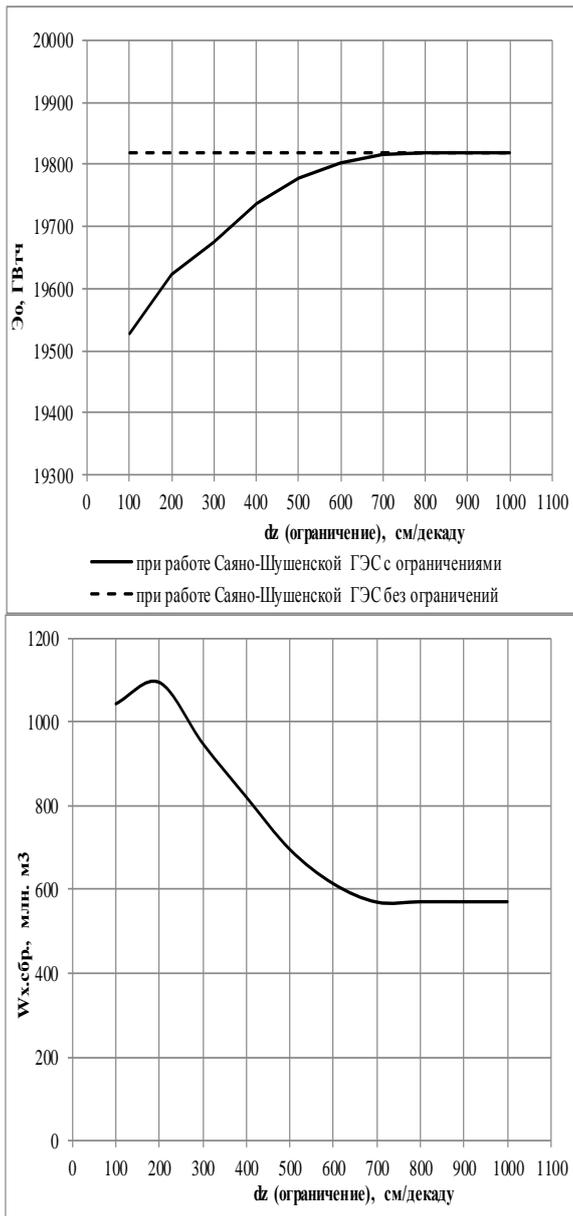


Рис. 5. Влияние режимов наполнения и сработки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС на энергетические показатели работы Красноярской ГЭС.

На рис.4 и 5 представлены результаты исследования влияния режимов наполнения и сработки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС на энергетические показатели нижерасположенных по течению реки ГЭС (Майнскую и Красноярскую ГЭС). Так как приточность к створам Майнской и Красноярской ГЭС в зависимости от варианта использования мощности Саяно-Шушенской ГЭС одинакова, то энергетические показатели работы станций соответственно не изменяются.

Расчеты показали, что к снижению выработки на Майнской и Красноярской ГЭС приводит диапазон ограничений на Саяно-Шушенской ГЭС в пределах до 700 см/декаду, а наибольшее снижение выработки происходит при ограничениях в пределе до 400 см/декаду. Уменьшение выработки на Майнской ГЭС при уменьшении допустимого диапазона колебаний уровня воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС с 700 см/декаду до 400 см/декаду составляет 33 млн. кВтч, на Красноярской ГЭС 78 млн. кВтч.

Применение ограничений на Саяно-Шушенской ГЭС достаточно сильно влияет на гарантированную зимнюю мощность Майнской ГЭС. Применение ограничений на Саяно-Шушенской ГЭС не оказывает влияние на гарантированную зимнюю мощность Красноярской ГЭС.

Если оценивать в целом по каскаду, то при используемой мощности Саяно-Шушенской ГЭС равной 4000 МВт к снижению выработки приводит уменьшение допустимого диапазона колебаний водохранилища до 700 см/декаду, а наибольшее уменьшение выработки наблюдается при ограничениях до 500 см/декаду. При используемой мощности Саяно-Шушенской ГЭС – 6400 МВт на суммарную выработку ГЭС каскада оказывает диапазон ограничений до 900 см/декаду, наибольшее влияние оказывает диапазон ограничений до 600 см/декаду.

На гарантированную зимнюю мощность Енисейского каскада ГЭС оказывает ограничение диапазона допустимых колебаний уровня воды в водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС в пределах до 700 см/декаду. При применении ограничений в пределе от 400 до 200 см/декаду гарантированная мощность ГЭС каскада практически не изменяется.

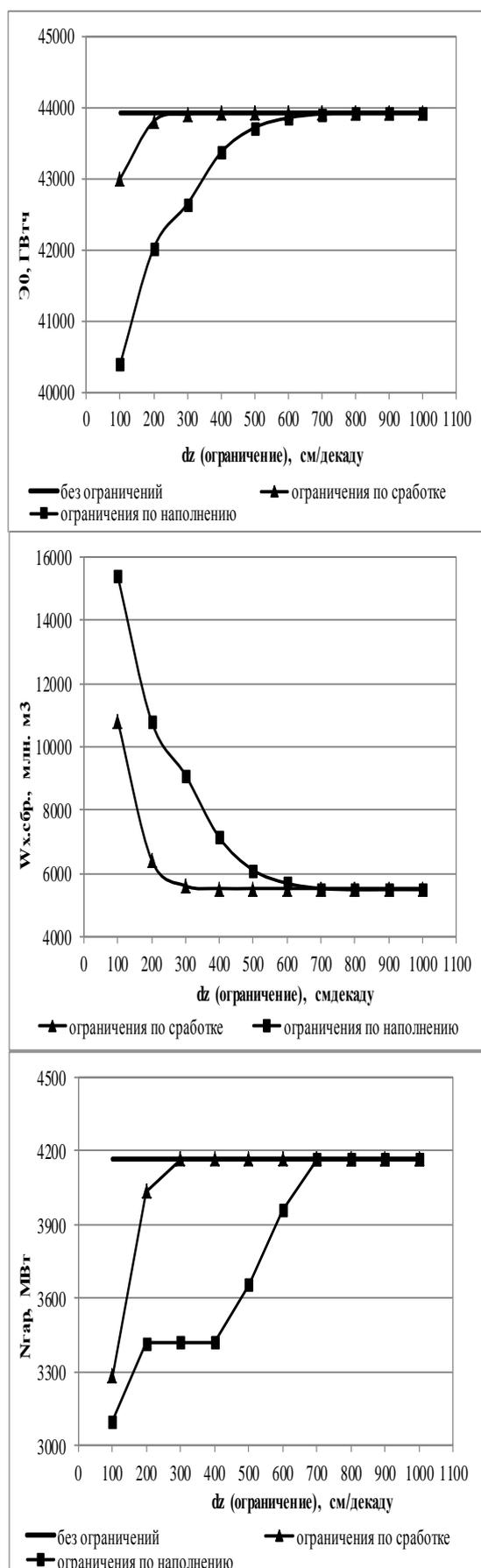


Рис. 6. Влияние ограничений на энергетические показатели работы Енисейского каскада ГЭС

На рис. 6 представлены результаты исследования при применении отдельно ограничений по режимам наполнения и сработки на энергетические показатели Енисейского каскада ГЭС.

Наибольшее влияние оказывают ограничения по наполнению. В паводок при применении ограничений на Саяно-Шушенской ГЭС увеличиваются холостые сбросы, что в свою очередь приводит и к увеличению холостых сбросов на Майнской и Красноярской ГЭС и, следовательно, к уменьшению выработки электроэнергии на всех ГЭС каскада в этот период. Также в результате применения ограничений водохранилище Саяно-Шушенской ГЭС не успевает наполниться до необходимой отметки в период половодья, что приводит к снижению энергетических показателей ГЭС каскада в период межени. Применение ограничений скорости сработки практически не оказывают влияния на показатели работы ГЭС Енисейского каскада.

Проведенное в третьей главе исследование влияния режимов наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели работы ГЭС на примере Енисейского каскада выявило следующее. При применении ограничений режимов наполнения и сработки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС ее среднегодовая выработка электроэнергии и гарантированная зимняя мощность при работе в современных условиях изменяется при ограничениях до 700 см в декаду, при работе в проектных среднегодовая выработка изменяется при ограничениях до 900 см в декаду, а влияние на гарантированную зимнюю мощность не изменяется. Также установлено, что к изменению энергетических показателей работы расположенных ниже по течению реки Майнской и Красноярской ГЭС приводят ограничения режимов наполнения и сработки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС до 700 см в декаду. При

отдельном рассмотрении ограничений режимов наполнения и сработки выявлено, что ограничение режима наполнения оказывают большее влияние, чем ограничение режима сработки.

Четвертая глава посвящена разработке рекомендации по дальнейшему совершенствованию эксплуатации ГЭС. В частности обосновывается необходимость мониторинга режимов наполнения и сработки с целью выявления их влияния на техническое состояние гидротехнических сооружений. Также приведены рекомендации по корректировке научно-технической документации.

Опыт эксплуатации гидротехнических сооружений показывает, что режим работы водохранилища может оказать существенное влияние на надежность сооружений. Помимо режима работы водохранилища на характеристики плотины также оказывают влияние такие факторы как гидростатическая нагрузка, температурное воздействие и др. При этом, конечно же, на характеристики плотины оказывает влияние не каждый фактор в отдельности, а их сочетание. Поэтому имеющееся в настоящее время в практике применение ограничения режимов работы водохранилища различны. На ГЭС Ингури ограничение режимов наполнения и сработки водохранилища увязано с отметками уровня воды в водохранилище, а на Саяно-Шушенской ГЭС они применяются в период половодья и увязаны с температурой наружного воздуха и температурного состояния бетона плотины.

Введение этих ограничений в проектах не предусматривалось, и это связано в первую очередь с тем, что определить и учесть все факторы, которые будут оказывать негативное влияние на надежность сооружений и тем более определить их сочетание на проектной стадии достаточно сложно.

В настоящее время вопросам изучения влияния режимов работы водохранилища на надежность гидротехнических сооружений не уделяется достаточного внимания, несмотря на то, что приведенные примеры ГЭС Ингури и Саяно-Шушенской ГЭС свидетельствуют об обратном. Исходя из этого, необходимо уделить больше внимания изучению влияния режимов работы водохранилища на надежность гидротехнических сооружений, а именно вести мониторинг режимов наполнения и сработки водохранилищ для оценки его влияния на показатели надежности сооружений.

Определение необходимости введения ограничения режимов наполнения и сработки водохранилища должно быть выявлено по результатам исследований на уже находящимся в эксплуатации объекте, а не на стадии проекта. Конечное решение о необходимости введения ограничения принимается в случае, если наблюдаются необратимые ухудшения прочностей пород в основании плотины, самой плотины и др. При этом, ухудшения будут иметь определенную цикличность, связанную с режимом работы водохранилища.

На новых гидротехнических сооружениях рекомендуется проводить исследования влияния режима работы водохранилища с начала эксплуатации, с целью недопущения ухудшения показателей надежности сооружений.

Регулирование отношений возникающих при осуществлении деятельности по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с федеральным законом № 117 от 21 июля 1997 г. «О безопасности гидротехнических сооружений». В данном нормативном акте установлены нормы и требования по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, ответственность за соблюдение которых несет эксплуатирующая организация. В частности эксплуатирующая организация должна обеспечивать и развивать системы контроля за состоянием гидротехнических сооружений, анализировать причины снижения безопасности сооружения и своевременно осуществлять разработку и реализацию мер по обеспечению технически исправного состояния сооружения и обеспечивать проведение регулярных обследований гидротехнического сооружения

Декларация безопасности гидротехнического сооружения, разрабатываемая в рамках данного закона, является основным и обязательным документом для получения разрешения на эксплуатацию сооружения. В данном документе обосновывается безопасность сооружения, и определяются меры по ее обеспечению.

Декларация безопасности подлежит пересмотру каждые пять лет. При этом при разработке новой декларации безопасности проводится анализ состояния сооружения и соблюдения всех требований по обеспечению безопасной эксплуатации сооружения. Если по результатам анализа состояния сооружения будет выявлено, что показатели надежности сооружения ухудшились, то проводится исследование по выявлению причины ухудшения состояния сооружения, в результате которого могут быть установлены новые требования к эксплуатации сооружения. В частности если для сооружения установлено, что для обеспечения безопасности должны соблюдаться ограничения по режиму работы водохранилища, то оно должно быть прописано в декларации безопасности сооружения и, соответственно, также должен вестись мониторинг соблюдения данного требования.

В связи с тем, что рекомендуется проводить мониторинг влияния режима работы водохранилища на техническое состояние гидротехнических сооружений, то соответственно нужно будет внести поправки в следующие нормативные документы:

- СТО 702384424.27.140.040-2010 «Гидроэлектростанции. Организация системы надзора за безопасностью гидротехнических сооружений в гидрогенерирующих компаниях. Нормы и требования»;
- СТО 70238424.27.140.035-2009 «Гидроэлектростанции. Мониторинг и оценка технического состояния гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации. Нормы и требования»;
- П 97-2001 «Рекомендации по оценке надежности гидротехнических сооружений».

Также рекомендуется внести поправку в методику составления декларации безопасности гидротехнических сооружений, связанную с режимом работы водохранилища и технической безопасностью гидротехнических сооружений и СТО

17330282.27.140.015-2008 «Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования». Корректировка последнего заключается в том, что в правилах эксплуатации гидроэлектростанции, в случае применения ограничений по режимам наполнения и сработки, должны быть прописаны и соблюдаться эти требования.

Помимо перечисленного предлагается включить в «Методические рекомендации по разработке правил использования водохранилищ» параметр, связанный с режимом наполнения и сработки водохранилищ влияющий на техническое состояние гидротехнических сооружений.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1) Установлено, что режимам наполнения и сработки водохранилищ не уделено должного внимания, что может сказаться на условиях эксплуатации ГЭС.

2) Разработана методика по исследованию влияния режимов наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели ГЭС. Проведено расширение возможностей программного комплекса «Каскад», которое позволяет исследовать влияние режимов наполнения и сработки на энергетические показатели каскада ГЭС.

3) Проведенное исследование влияния режимов наполнения и сработки водохранилища на энергетические показатели ГЭС на примере Енисейского каскада ГЭС (ограничения устанавливались на Саяно-Шушенской ГЭС) выявило:

- выработка электроэнергии на Саяно-Шушенской ГЭС уменьшается при применении ограничения режимов наполнения и сработки водохранилища до 700 см/декаду в варианте $N_{СШГЭС}^{\max} = 4000$ МВт и до 900 см/декаду при $N_{СШГЭС}^{\max} = 6400$ МВт;
- гарантированная зимняя мощность Саяно-Шушенской ГЭС уменьшается при применении ограничения режима наполнения и сработки водохранилища до 700 см/декаду;
- энергетические показатели работы всего Енисейского каскада ГЭС зависят от применения ограничения режима наполнения и сработки водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС.

4) Выявлено, что ограничение скорости наполнения водохранилища оказывает большее влияние на энергетические показатели работы ГЭС и каскада ГЭС, чем ограничение скорости сработки.

5) Введение ограничения режимов наполнения и сработки водохранилища может привести к необходимости корректировки «Правил использования водных ресурсов водохранилищ СШГЭС и МГУ», а также к необходимости корректировки «Правил ...» ГЭС, расположенных ниже по течению реки т.к. это отражается на их энергетических показателях.

6) Разработаны рекомендации по дальнейшей эксплуатации ГЭС. Обоснованы необходимость проведения мониторинга режимов наполнения и сработки

водохранилища, и исследований по оценке влияния режимов водохранилища на техническое состояние ГТС.

7) Рекомендуется включить в «Методические рекомендации по разработке правил использования водохранилищ» параметр, связанный с режимом сработки и наполнения водохранилища влияющий на техническое состояние гидротехнических сооружений.

Публикации по теме диссертации:

1. Александровский А.Ю., Хасянов С.В. Ограничения скорости изменения уровней воды водохранилищ при управлении режимами работы гидроэлектростанций в соответствии с требованиями обеспечения безопасности гидротехнических сооружений // Водное хозяйство России, №4, 2012 г., стр. 65-73;

2. Александровский А. Ю., Хасянов С. В. Оценка влияния ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище на энергетические показатели работы гидроэлектростанций // Гидротехническое строительство, №10, 2012 г., стр. 26-29;

3. Александровский А. Ю., Хасянов С. В. Оценка влияния ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище на показатели работы каскада ГЭС // Вестник МЭИ, №1, 2013г., стр. 79-83;

4. Александровский А.Ю., Хасянов С.В. Управление режимами работы водохранилище гидроэлектростанций в соответствии с требованиями по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений // Труды Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающегося ученого-гидролога, профессора А.В. Рождественского, г. Москва, 2012 г., стр. 219-228;

5. Александровский А.Ю., Дубинина В.Г., Царев А.В., Хасянов С.В. О необходимости введения показателя скорости изменения уровня воды в "Правила использования водных ресурсов водохранилищ" // Труды всероссийской научной конференции "Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике", г. Цимлянск, 2012 г., стр. 359-364;

6. Александровский А.Ю., Хасянов С.В. «Управление режимами работы водохранилищ гидроэлектростанций в соответствии с требованиями по обеспечению безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений», тезисы доклада, «XVIII международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов», НИУ «МЭИ», 2012 г.

Подписано в печать

Зак.

Тир.

П.л.

Полиграфический центр НИУ «МЭИ»

Красноказарменная ул., д. 13