

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАТКОСРОЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КАСКАДОВ ГЭС

АВТОРЫ:

АЛЯБЫШЕВА Т. М.,
К. Т. Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ЦУРЛУКОВ В. А.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ЮРКИН А. Г.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

В данной статье рассматривается компьютерное моделирование суточных режимов гидроэлектростанций (ГЭС) и оперативной коррекции текущих режимов их работы. ГЭС играют важнейшую роль в Единой энергосистеме России, участвуя в поддержании балансов мощности и энергии. Именно ГЭС сглаживают наиболее неравномерную часть на-

грузки в сети, обеспечивают резервирование мощности. Как известно, существенной особенностью ГЭС является низкая себестоимость производимой электроэнергии по сравнению с атомными и тепловыми станциями. Еще одно преимущество связано с экологичностью ГЭС, т. к. они не нуждаются в органическом топливе и не производят вредных выбросов.



Чиркейская ГЭС
в Республике Дагестан
входит в состав Сулакского
каскада ГЭС. Установленная
мощность ГЭС 1000 МВт.
Среднегодовая выработка
2,47 млрд кВт-ч. Плотина
ГЭС – самая высокая
арочная плотина России,
максимальная высота 233 м

ИНФОРМАЦИЯ

КАСКАДЫ ГЭС

По установленной мощности гидроагрегатов и по выработке Россия занимает пятое место в мире после Китая, Канады, Бразилии, США. Каскад ГЭС – это группа гидроэлектрических станций, расположенных последовательно по течению водного потока и связанных между собой общностью водохозяйственного режима.

Крупнейшие каскады на территории бывшего СССР: Енисейский каскад (8 ГЭС), Ангарский каскад (6 ГЭС), Волжский каскад (8 ГЭС), Днепровский каскад (6 ГЭС), Камский каскад (4 ГЭС).

Каскад ГЭС на реке Рейн состоит из 27 гидроэлектростанций общей мощностью почти 3000 МВт. В гидроэнергетическом отношении река начала осваиваться еще в XIX веке, пик строительства ГЭС на Рейне пришелся на 1950-е – 1970-е годы. Крупнейший в мире каскад ГЭС длиной 6300 км и общей мощностью более 64 ГВт расположен на реке Янцзы (Китай). Состоит всего из 10 ГЭС, в том числе самой крупной в мире ГЭС «Три ущелья» (в эксплуатации с 04.07.2012), из которых 7 ГЭС находятся на стадии строительства и проектирования.

всеми участниками энерго- и водохозяйственной системы.

ПО использует временную декомпозицию, которая заключается в последовательном раздельном решении задач: отдельно – долгосрочное планирование режимов работы каскадов ГЭС (многолетие, год, квартал), отдельно – среднесрочное (месяц) и отдельно – краткосрочное (неделя, сутки, часть суток). Причем режимы ГЭС моделируются взаимосвязанно, т. е. на каждом последующем временном уровне используются результаты расчета предыдущего уровня в виде заданных ресурсов (интегральных ограничений).

Расчеты недельных режимов основываются на расчетах суточных режимов с учетом дополнительных ограничений по ресурсам за расчетный период (неделя). Затем решается задача распределения ресурсов между сутками с учетом неравномерности графиков потребления по суткам недели.

Базовый период планирования краткосрочных режимов работы ГЭС – сутки. ПО планирования таких режимов работы ГЭС разработано в виде трех отдельных комплексов программ:

- блок «Расчет и анализ суточных режимов работы ГЭС»;
- блок «Оперативная коррекция текущих суточных режимов работы ГЭС»;
- блок «Информационно-справочная система по режимам ГЭС».

В состав каждого комплекса программ входят ПО формирования расчетных моделей каскадов и отдельных ГЭС, а также базы данных характеристик всех гидроагрегатов и отдельных сооружений гидроэлектростанций. На рис. 1 представлен перечень задач, решаемых при моделировании краткосрочных режимов работы ГЭС.

ГЭС представляют собой сложный водноэнергетический объект. Производство электроэнергетики – это только часть (хотя и основная) производственно-хозяйственного функционирования ГЭС. Сток реки, контролируемый любой ГЭС, используется также для водохозяйственных целей, а именно: для орошения, водоснабжения и рыбного хозяйства, судоходства, коммунального и промышленного водоснабжения и т. д. При этом водопользователи и водопотребители предъявляют ГЭС жесткие требования по поддержанию параметров водного баланса (расходы в нижнем бьефе, уровень верхнего и нижнего бьефов и др.). Эти требования формируются в виде системы ограничений, налагаемых на энергетические режимы ГЭС. В современных рыночных условиях эти требования подразумевают хозяйственно-денежные отношения, поэтому планирование и контроль режимов ГЭС имеют большое техническое и экономическое значение – это определение таких режимов работы ГЭС, при которых оптимальным образом удовлетворяются условия производства электроэнергетики и требования неэнергетических водопользователей и водопотребителей. Экономические требования – это реализация технических результатов с наилучшими экономическими показателями. Решение такой сложной многопараметрической проблемы является весьма нетривиальной задачей. Однако современное компьютерное обеспечение позволяет решить данную задачу.

Разработанное нами программное обеспечение (ПО), моделирующее режимы ГЭС, предназначено для нахождения оптимально-рационального энергетического режима с учетом совокупности всех требований, предъявляемых к воде

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРАТКОСРОЧНЫХ РЕЖИМОВ



Рис. 1

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ КАСКАДА ГЭС

Основой для расчетов режимов планирования является модель ГЭС и каскада, которая формируется с учетом индивидуальных особенностей конкретной ГЭС и условий эксплуатации. Параметры модели включают топологические, гидрологические и технологические особенности ГЭС.

Описание каскада учитывает расположение отдельных ГЭС в каскаде и их взаимосвязь по напору и расходу воды. Учет последнего определяется наличием подпора уровня нижнего бьефа ГЭС за счет верхнего бьефа нижележащей станции. Уровень верхнего бьефа определяется по статическим значениям емкости водохранилищ с учетом времени добега расходов воды от вышележащей станции.

Для расчета суточных режимов в модели задаются следующие параметры водного баланса:

- изменение напора в течение суток;
- уровень нижнего бьефа, который может выполняться с учетом неустановившегося движения воды методом экспонент;
- уровень верхнего бьефа, который может выполняться с учетом горизонтов водохранилищ и озер;
- учет изменения притока в течение суток;
- баланс воды и напора, который выполняется с учетом потерь воды из водохранилища и потеря напора.

На рис. 2 представлена диалоговая панель анализа характеристик агрегата ГЭС.

БИБЛИОТЕКА ХАРАКТЕРИСТИК ГЭС

Для формирования адекватной компьютерной модели необходима библиотека технико-экономических характеристик генерирующего оборудования, русловых характеристик верхнего и нижнего бьефов ГЭС, водопропускных сооружений и других сооружений ГЭС. В нашей модели эти характеристики представлены в виде аппроксимаций полиномами одной или двух переменных.

Описание генерирующего оборудования задается основной эксплуатационной характеристикой – зависимостью КПД от мощности (расхода) и напора. Допустимо также использование расходной характеристики агрегата, а именно, зависимости расхода от мощности и напора. На основе этих данных определяются другие параметры агрегатов, а именно: удельный расход и характеристика относительных приростов.

Разработанное таким образом ПО обеспечивает следующие функциональные возможности:

- ввод базовых характеристик в виде таблиц;
- расчет характеристик блоков и станций по характеристикам агрегатов;
- расчет обратных характеристик;
- расчет дифференциальных характеристик;
- аппроксимация характеристик полиномами;
- отображение характеристик в графическом и табличном виде;
- анализ характеристик гидросооружений, агрегатов и ГЭС в целом.

ДИАЛОГОВАЯ ПАНЕЛЬ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИКИ

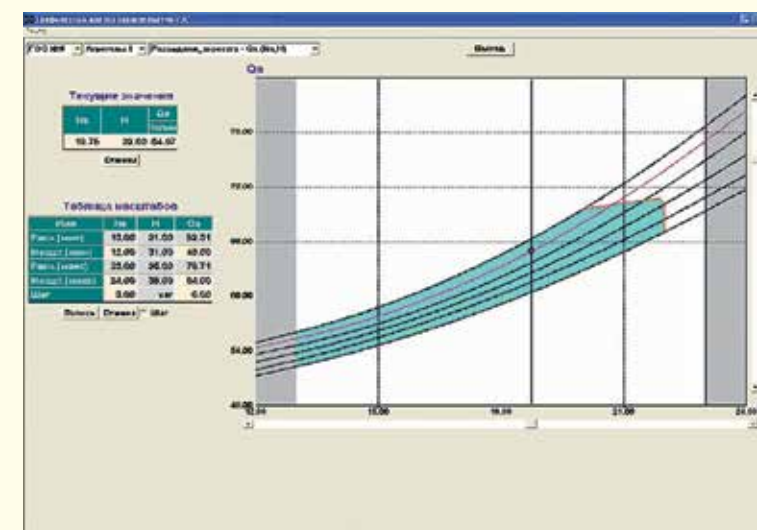


Рис. 2

РАСЧЕТ СУТОЧНЫХ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГЭС

Формирование расчетных диспетчерских графиков работы ЕЭС, включая ГЭС, состоит из ряда взаимосвязанных процедур, которые учитывают иерархию современного диспетчерского управления. На стадии предварительного планирования региональное диспетчерское управление совместно со станциями формирует режим работы каскада ГЭС, принимая во внимание требования по расходованию гидроресурсов в течение суток, ограничения по пределам рабочей мощности генерирующего оборудования и т. д. Далее на следующем уровне управления выполняются расчеты и (или) принимается режим работы ГЭС, или выдается указание на изменение режима ГЭС. Затем проводятся

торги, и график утверждается. В настоящее время такая схема принята для большинства ГЭС (за исключением ГЭС Волжско-Камского каскада и некоторых крупных станций). Наше ПО предназначено для анализа и формирования режимов на стадии предварительного планирования.

Расчет суточных режимов ГЭС заключается в определении параметров энергетических режимов каскада ГЭС, с учетом выбранного критерия оптимальности и заданных режимных условий. При этом необходимо полностью учесть энергетические и воднохозяйственные ограничения.

Эффективность использования гидроресурсов и расчет оптимального плана выполняются по стоимостному критерию (при задании ценовых характеристик) или по условию максимального КПД

работы гидроагрегатов. Могут быть использованы и другие критерии оптимальности (максимальная выработка ГЭС, минимальный расход гидроресурсов и др.).

Существенно, что расчет режимов ГЭС выполняется с учетом интегральных ограничений на суточные ресурсы ГЭС, которые задаются в виде выработок, расходов в нижний бьеф, уровней верхнего бьефа на конец суток и ограничений по минимальной и максимальной мощностям ГЭС, определяемым пределами рабочей мощности включенного в работу генерирующего оборудования и снижением по напору.

При расчете суточных режимов ГЭС могут быть также учтены и системные требования в виде заданных или предельных нагрузок на отдельные ГЭС или на каскад в целом.

В наиболее общем случае во внимание принимаются следующие системы воднохозяйственного ограничения:

- по уровням верхнего бьефа (учет требований судоходства, коммунального и промышленного водоснабжения);
- по уровням нижнего бьефа (учет требований судоходства, коммунального и промышленного водоснабжения);
- по расходам воды из водохранилища (правила безопасности гидротехнических сооружений, экологии);
- по расходам в нижний бьеф (в соответствии с санитарными нормами, требованиями сельского хозяйства);
- по амплитудам изменения расходов воды в нижнем бьефе (из-за ограничений рыбного хозяйства, экологии).

Миатлинская
ГЭС
(арочный
переход
водопада на
Махачкалу
и Каспийск)



Миатлинская ГЭС (водоприемник)



Миатлинская ГЭС
(гидрогенератор
типа ГСВ-1230-
140-48 УХЛ 4)

Причем некоторые ограничения задаются как ограничения по мощности, что существенно упрощает расчет. Это относится прежде всего к ограничениям по расходам воды и амплитудам изменения расходов воды.

При оптимизации суточных режимов работы ГЭС определяются также часовые (или получасовые) мощности ГЭС, расход воды через ГЭС, расход в нижний бьеф, холостые сбросы, уровни бьефов и другие энергетические и гидравлические показатели.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ

В реальной эксплуатации всегда и неизбежно возникают отклонения фактических водноэнергетических параметров и состава оборудования ГЭС от запланированных значений.

Более того, часто возникают изменения режима каскада ГЭС по требованию Системного оператора для выполнения системных ограничений по балансу мощности. Возникает необходимость в оперативном и качественном реагировании на все эти изменения и перераспределении нагрузки между отдельными станциями и гидроагрегатами. Необходима коррекция режима для соблюдения заданных воднохозяйственных ограничений до конца текущих суток.

Обсуждаемая компьютерная модель способна произвести перерасчет для уточнения режима ГЭС до конца текущих суток (или за отдельные часы) с учетом всех этих отклонений. Расчетная коррекция режимов ГЭС может выполняться либо в соответствии с критериями планирования суточного режима, или по критерию минимального отклонения расхода гидроресурсов каскада от прогнозируемого значения, при условии минимального расхождения энергетического режима

каскада ГЭС с плановым (скорректированным) режимом. Причем коррекция выполняется с учетом заданных режимных ограничений, включающих ограничения суточной выработки отдельных ГЭС каскада.

Основываясь на данных фактического режима с начала суток до часа коррекции модель рассчитывает оптимальный режим ГЭС/каскадов в следующей последовательности:

- сравнение энергетического режима ГЭС с фактическим режимом с учетом заданной системы ограничений;
- коррекция текущих режимов с учетом фактического режима с начала суток и задания на коррекцию режима;
- расчет оптимального распределения нагрузки станции между гидроагрегатами.

МИАТЛИНСКАЯ ГЭС (СХЕМА ПЛОТИНЫ)

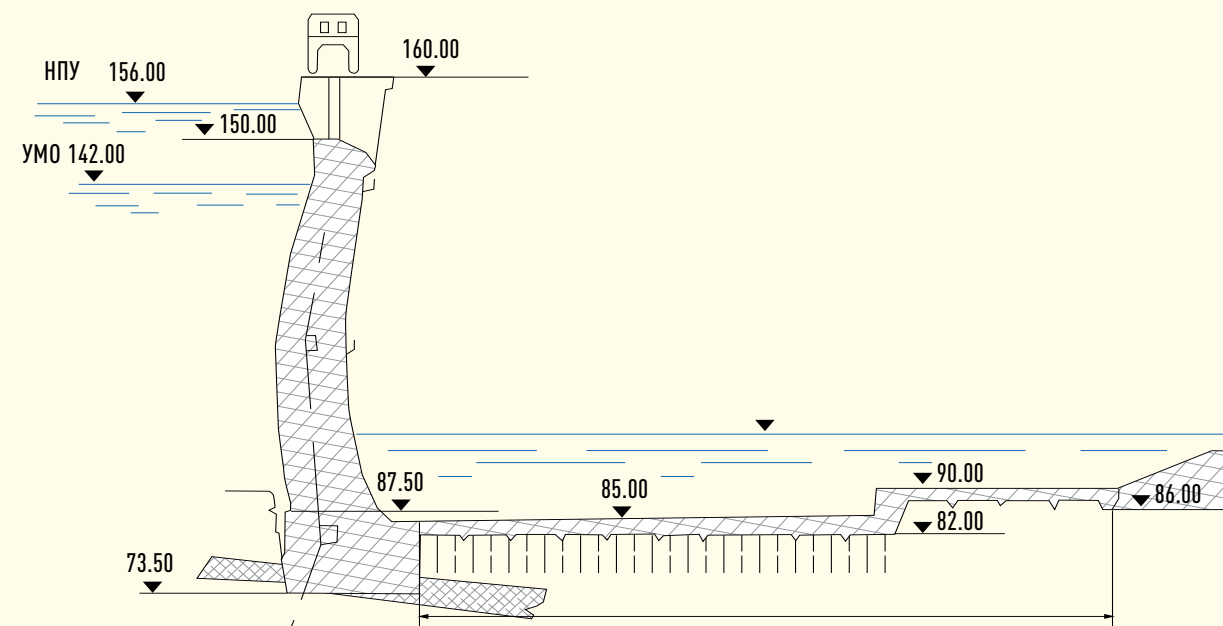


Рис. 3

Необходимо отметить, что обсуждаемое ПО предназначено для использования в качестве оперативного советчика персонала при анализе и коррекции текущих режимов ГЭС.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ГЭС МЕЖДУ АГРЕГАТАМИ

Особенность рассматриваемого ПО состоит в том, что режимы работы ГЭС рассчитываются с учетом конкретного состава гидроагрегатов и распределения активной нагрузки между ними. Причем расчет учитывает текущую оперативную коррекцию и выполняется по критерию максимизации КПД.

Для ускорения расчета суточных режимов используется упрощенная модель, основанная на упрощенном наборе характеристик агрегатов, с помощью которого определяется оптимальное количество агрегатов и рассчитывается распределение нагрузки только между выбранными агрегатами. Выбирая необходимый состав агрегатов, ПО учитывает следующие характеристики системы и агрегатов:

- допустимые предельные мощности (определяется эксплуатационными возможностями агрегатов);
- количество наличных агрегатов в работе (определяется стационарными требованиями по резерву станции);
- состав агрегатов (учет требований по изменению состава агрегатов, учет схемы подключения агрегатов);

- состояние агрегатов (учет наработки агрегата в предшествующий период эксплуатации агрегатов);
- допустимое число пусков/остановов агрегатов (определяется требованиями надежности работы гидроагрегатов).

Окончательное определение необходимого набора агрегатов выполняется с учетом ограничения по балансу мощностей станции и требований резервирования мощности станции.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ГЭС

Для анализа и сравнения различных вариантов режимов работы ГЭС разработана специальная имитационная модель, которая на основе задаваемых суточных графиков режимных параметров (мощность, расход, уровни в.б.) определяет прочие режимные водноэнергетические параметры.

Чиркейская ГЭС – 2.
Плотина ГЭС – максимальная
высота 233 м, длина по оси
гребня 338 м



Эта модель позволяет сравнивать плановые и фактические режимы работы каскадов ГЭС и водохранилищ с оптимальными режимами по заданному критерию (выработка, уровни верхнего бьефа, стоимостный критерий и др.). Модель позволяет также произвести анализ соответствия суточных графиков нагрузки ГЭС с заданной системой ограничений.

Эта модель может быть использована и при расчете параметров водного баланса по заданным графикам мощностей ГЭС.

ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЙ БЛОК

Работа любой ГЭС характеризуется множеством режимных показателей (уровни нижнего и верхнего бьефов, напор, расход через ГЭС и в нижней бьеф, притоки и т.д.). Все эти параметры необходимы для анализа эффективности использования водных ресурсов ГЭС и информационного обеспечения расчета режимов работы ГЭС. Кроме того, фактическая информация о конкретных режимах работы используется для построения (уточнения) имитационной модели каскадов и ГЭС.

Основными назначениями программного обеспечения комплекса являются сбор и анализ ежесуточной оперативной информации по фактическим режимам работы ГЭС, создание архивов текущих параметров работы ГЭС, формирование оперативных справок и справок по запросу поль-

зователей, а также отчетов, графического и табличного представления нормативно-справочной информации и режимных параметров.

Обработка и формирование архива данных выполняются по следующим разделам:

- паспортные и нормативно-справочные данные ГЭС;
- оперативная информация по текущим режимам ГЭС;
- технико-экономические показатели;
- гидрологические показатели;
- ремонт оборудования;
- рабочие мощности.

ИНТЕРФЕЙСЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕЖИМОВ ГЭС

Расчетные модели реализованы в операционной среде WINDOWS на единой информационной базе, организованной средствами MS SQL Server. Программное обеспечение информационного интерфейса для моделирования

ВАРИАНТ ДИАЛОГОВОЙ ПАНЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ГЭС ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ

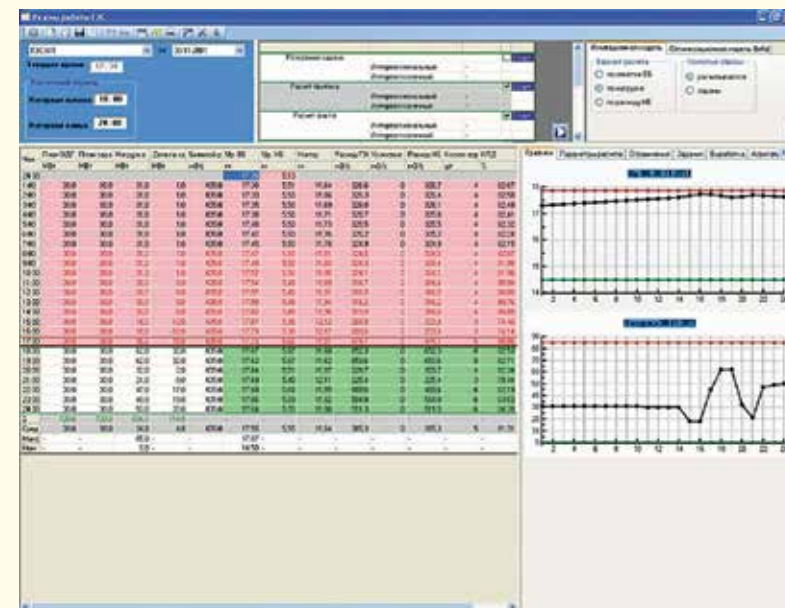


Рис. 4

ДИАЛОГОВАЯ ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ПРОГРАММ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ ЗАДАЧ

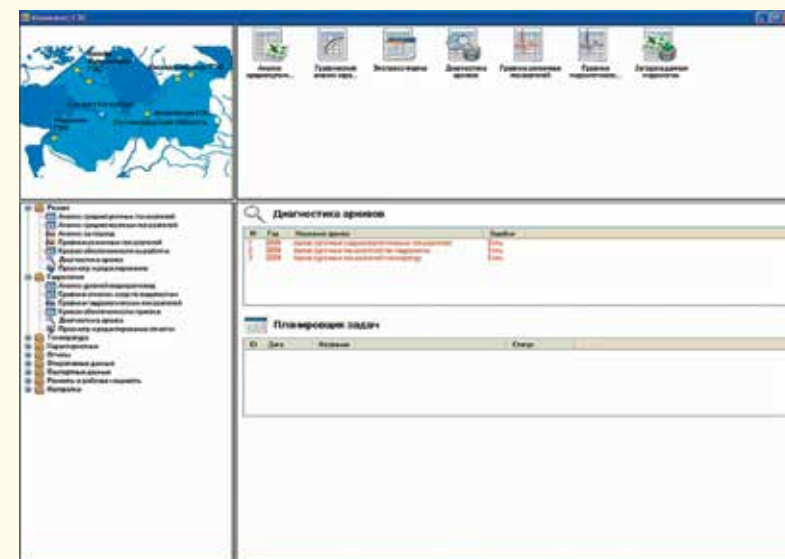


Рис. 5

краткосрочных режимов ГЭС обеспечивает интеграцию с базой данных режимов ГЭС, выполняет диагностику исходных данных.

Программное обеспечение пользовательского интерфейса предназначено для организации вычислительного процесса. С помощью пользовательского интерфейса выполняется мониторинг текущих технологических процессов, графическое и табличное отображение оперативной информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПО автоматизирует функции эксплуатационного персонала и персонала технологических служб, упрощает планирование режимов каскада ГЭС, позволяет проводить анализ режима работы при различных ограничениях с различными критериями. Блок информационно-справочных задач позволяет автоматизировать функции расчета, хранения и анализа всех основных показателей фактических и плановых режимов работы ГЭС. Настраиваемые модели ГЭС и каскада предоставляют возможность применять программное обеспечение на любых ГЭС и каскадах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков Е. В., Алябышева Т. М., Парфенов Л. Г. Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Филиппова Т. А. Оптимизация энергетических режимов гидроагрегатов гидроэлектростанций. – М.: Энергия, 1975.
3. Алябышева Т. М., Сбытов К. О., Яганов Р. М. Программное обеспечение планирования, анализа и контроля краткосрочных режимов работы каскадов ГЭС / Сборник докладов второго специализированного научно-технического семинара «Современные методы и программные средства анализа и планирования электропотребления, балансов мощности и электроэнергии». – М.: Элекс-КМ, 2004.