

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОГО ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ГЭС ВОЛЖСКО- КАМСКОГО КАСКАДА

АВТОРЫ:

ЕГОРОВ М.В.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ПРОТОПОПОВА Т.Н.
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Компьютерное и математическое моделирование являются одними из самых эффективных методов анализа и исследования сложных динамических систем. Особую роль они играют при оператив-

ном управлении многопараметрическими и многоцелевыми технологическими системами, каковыми являются современные электроэнергетические системы, элементами которых являются каскады ГЭС.



Рыбинская ГЭС является третьей ступенью Волжско-Камского каскада ГЭС. Уникальная особенность Рыбинской ГЭС в том, что здание водосливной плотины расположено на Волге, а здание гидроэлектростанции – на расстоянии 10 км на реке Шексне



В последние годы для анализа и расчета водноэнергетических режимов каскадов ГЭС наряду с оптимизационными моделями широкое применение нашли так называемые имитационные модели. Основой этих моделей является имитационный эксперимент, т. е. расчет характеристик изучаемого объекта при тех или иных алгоритмах управления этим объектом. Технолог, задаваясь некоторым законом управления, с помощью имитационной модели получает вероятностные характеристики при заданном законе, далее он изменяет закон, повторяет моделирование

и т. д. В результате методом проб и ошибок выявляется управление, близкое к оптимальному. Эффективность применения методов имитационного моделирования к задачам планирования водноэнергетических режимов каскадов ГЭС определяется вероятностным характером исходной информации. В первую очередь это информация о речном стоке. Применение имитационных моделей позволяет корректировать решения, полученные на основе оптимизационных моделей, с учетом практической ситуации и опыта технолога.

По существу, имитационное моделирование является основным методом решения задач многоцелевой оптимизации, позволяющим сочетать математический подход с опытом и интуицией технолога.

ВВЕДЕНИЕ

Планирование и оперативное управление водноэнергетическими режимами ГЭС Волжско-Камского каскада (ВКК) в соответствии с существующей территориальной иерархией диспетчерского управления выполняются ОАО «СО ЕЭС».

СУЩЕСТВУЮЩАЯ СХЕМА КРАТКОСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ГЭС ВКК НА УРОВНЕ ОАО «СО ЕЭС»

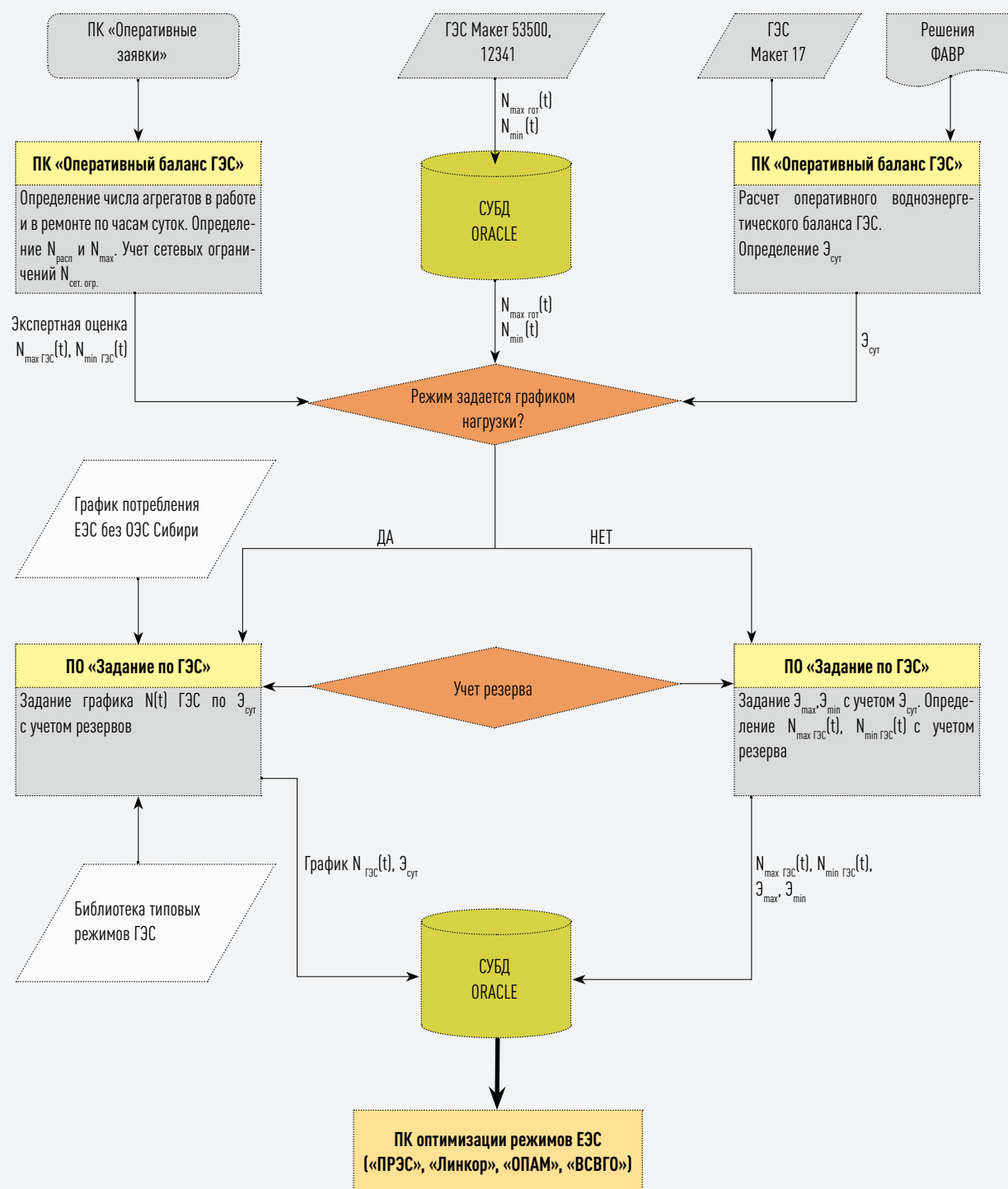


Рис. 1

Гидроэлектростанции Волжско-Камского каскада являются важными элементами Единой энергетической системы России и входят в состав трех объединенных энергосистем Урала, Средней Волги и Центра. Они выполняют ответственные функции ЕЭС, участвуя в балансах мощности и энергии, а также являясь общесистемным резервом мощности и энергии.

Кроме того, гидроузлы каскада являются частью водохозяйственного комплекса. Поэтому при использовании гидроресурсов водохранилищ должны учитываться интересы всех водопользователей: рыбного и сельского хозяйств, коммунального хозяйства, водного транспорта и т. д. В связи с комплексным использованием гидроресурсов режимы ГЭС каскада устанавливаются специально уполномоченным государственным органом – Федеральным агентством водных ресурсов (ФАВР) в виде заданных ограничений по расходам воды и уровням водохранилищ.

Планирование режимов каскадов ГЭС является важной задачей управления Единой энергетической системы России на уровне ОАО «СО ЕЭС». При этом необходимо различать краткосрочное и долгосрочное планирование таких режимов.

На рис. 1 приведена существующая технологическая схема планирования краткосрочных режимов ГЭС Волжско-Камского каскада на уровне ОАО «СО ЕЭС». В соответствии с этой схемой ежедневно выполняются расчеты водноэнергетических показателей и суточной выработки электроэнергии ГЭС ВКК на предстоящие сутки и последующие сутки недели с учетом текущей гидрологической обстановки и ограничений, задаваемых Федеральным агентством водных ресурсов; определяются предельные

значения располагаемой мощности и выработки ГЭС, почасовые графики мощностей ГЭС с учетом обеспечения требуемых резервов мощности. Полученные графики являются исходной информацией при планировании суточных и недельных режимов ЕЭС России и выборе состава включенного генерирующего оборудования (ВСВГО) в условиях функционирования оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ). В результате расчетов определяются суточная и недельная выработка электроэнергии ГЭС, а также отметки водохранилищ на конец планируемых суток и недели. Полученные таким образом параметры являются интегральными ограничениями по гидроресурсам при решении задач краткосрочного планирования суточных и недельных режимов ЕЭС России и оперативной коррекции режимов до конца суток. Такая схема взаимодействия задач долгосрочного и краткосрочного планирования режимов ГЭС позволяет учесть на этапах краткосрочного планирования так называемый эффект последствия, связанный с ограничениями по расходованию гидроресурсов в длительном цикле регулирования водохранилищ ГЭС.

Для автоматизации решения этих задач в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» была разработана система математических моделей и программное обеспечение расчета и анализа среднесуточных водноэнергетических режимов ГЭС на предстоящий период планирования – программный комплекс (ПК) «Оперативный водноэнергетический баланс ГЭС Волжско-Камского каскада». В разработанном ПК для определения показателей суточных режимов ГЭС используются две математические модели: оптимизационная модель и имитационная модель расчета по заданным параметрам. Разработанная система математических моделей и программ является дальнейшим развитием методов

ИНФОРМАЦИЯ

ВОЛЖСКО-КАМСКИЙ КАСКАД ГЭС

Комплекс гидроэлектростанций в Волжско-Камском речном бассейне. Каскад состоит из 12 крупных электростанций (Иваньковская ГЭС, Рыбинская ГЭС, Нижегородская ГЭС, Чебоксарская ГЭС, Жигулевская ГЭС, Волжская ГЭС, Саратовская ГЭС, Воткинская ГЭС, Камская ГЭС, Павловская ГЭС, Нижнекамская ГЭС) и целого ряда малых ГЭС. На начало 2010-х суммарная установленная электрическая мощность каскада превышала 13 000 МВт, а среднегодовая выработка первичной электроэнергии – 38,5 млрд кВт•ч.

и алгоритмов оптимизации режимов ГЭС, применяемых при долгосрочном и среднесрочном планировании режимов электроэнергетических систем и каскадов ГЭС [1, 2].

МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГЭС

Расчет среднесуточных показателей водноэнергетических режимов ГЭС на предстоящий период (сутки, неделя, месяц, квартал) выполняется с учетом оперативной информации о фактических

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЛОК-СХЕМА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ОПЕРАТИВНЫЙ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ГЭС ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА»

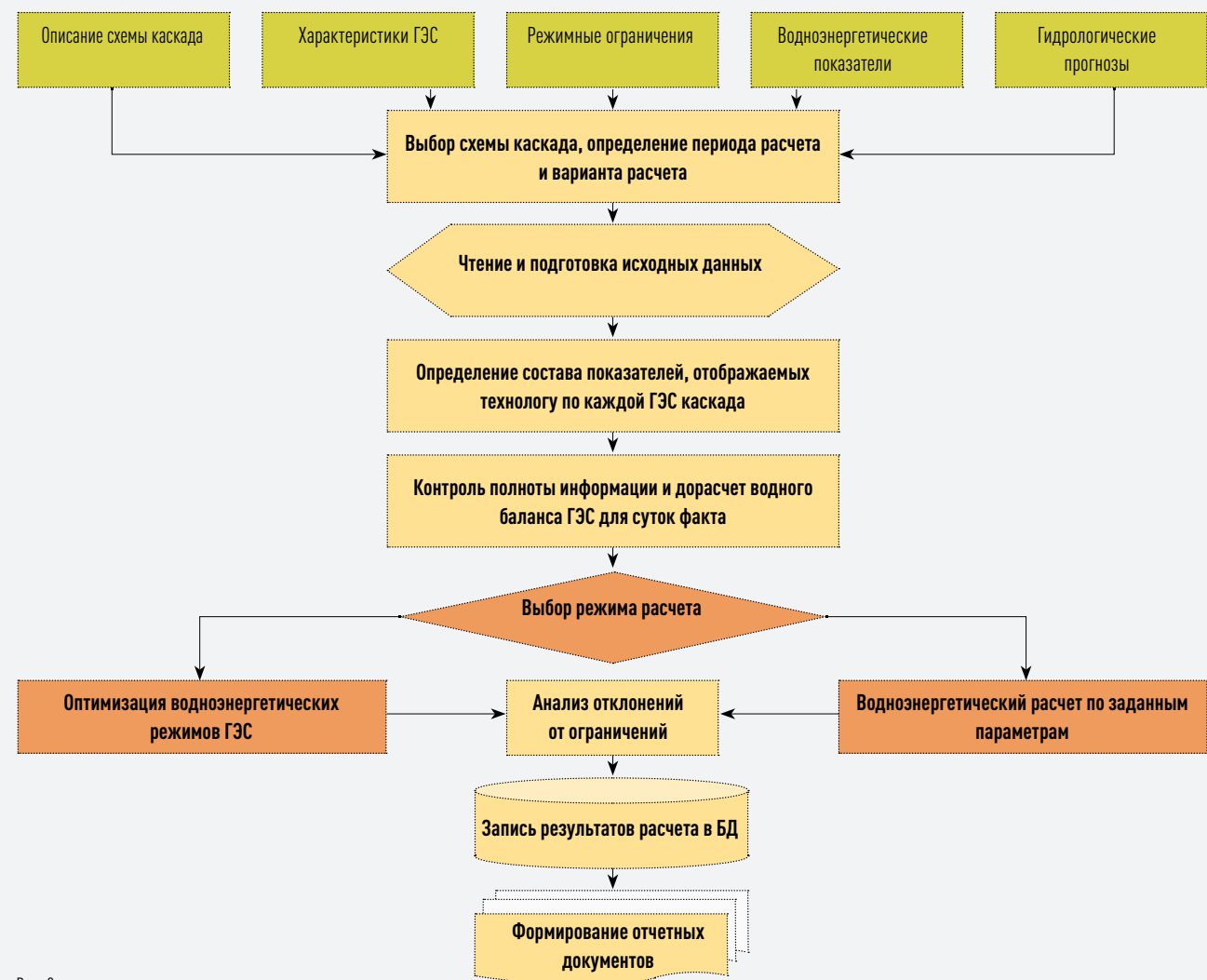


Рис. 2

режимах работы ГЭС и состоянии водохранилищ ГЭС Волжско-Камского каскада на начало планируемого периода. Расчеты выполняются на основе последовательных (ежесуточных) коррекций плановых заданий на предстоящие сутки. Расчетный период включает сутки факта (сутки прошедшего периода) и сутки плана (сутки предстоящего периода). При этом можно варьировать как количество принимаемых во внимание

фактических суток, так и количество планируемых дней. Показатели водноэнергетического баланса ГЭС в сутках факта автоматически формируются на основе базы данных фактических водноэнергетических показателей, в которую заносятся показатели, содержащиеся в макетах «Оперативной информации о работе ГЭС», поступающие в ОАО «СО ЕЭС» ежесуточно к 8:30 утра с уровня гидроэлектростанций. Как

было указано выше, эти показатели рассчитываются на основе двух алгоритмов: упрощенного алгоритма расчета водного баланса по заданным параметрам и алгоритма оптимизации среднесуточных режимов ГЭС, с учетом режимных ограничений, заданных ФАВР. Выбор конкретного алгоритма расчета осуществляет технолог отдела гидроэнергетических режимов в диалоговом режиме.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГЭС

С формально-математической точки зрения задача определения оптимальных параметров суточных режимов ГЭС представляет собой задачу поиска экстремума некоей нелинейной, выпуклой целевой функции при большом числе линейных ограничений. Последние представлены в виде неравенств (по уровням водохранилищ и расходам в нижний бьеф ГЭС), а также в форме равенства (по выходу на заданные отметки на конец периода). Наиболее сложным является учет ограничений по расходам в нижний бьеф ГЭС (средним за рассматриваемый период), которые задаются в виде директив и команд ФАВР. При решении оптимизационной задачи был использован один из методов нелинейного математического программирования, а именно, метод проекции градиента [1].

Расчетный период разбивается на n дискретных суточных интервалов. Задаются значения уровней верхнего бьефа ГЭС на начало и конец расчетного периода, гидрограф боковой приточности рек в водохранилища, а также основные характеристики ГЭС и водохранилищ. Створы ГЭС и контролируемые створы в каскаде нумеруются сверху вниз по течению реки. Везде далее индекс i – это номер расчетного интервала, j – это номер ГЭС в каскаде.

Задача оптимизации среднесуточных режимов сводится к определению таких параметров суточных режимов ГЭС и водохранилищ ГЭС, при которых реализуется принятый критерий оптимальности и соблюдаются заданные режимные

ограничения. В качестве критериев оптимизации рассматриваются критерии:

- максимум выработки электроэнергии каскада ГЭС за период планирования;
- максимум располагаемой мощности ГЭС каскада;
- максимум экономии гидроресурсов за период.

Как было указано выше, ограничения на показатели режимов ГЭС определяются Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ и решениями ФАВР. В данной задаче учитываются следующие ограничения:

- по уровням водохранилищ на начало и конец суток $Z_{вб\ i, j\ min} \leq Z_{вб\ i, j} \leq Z_{вб\ i, j\ max}$ (1)
- по интенсивности сработки-наполнения водохранилищ за сутки $\Delta Z_{вб\ i, j\ min} \leq \Delta Z_{вб\ i, j} \leq \Delta Z_{вб\ i, j\ max}$ (2)
- по среднесуточным расходам воды в нижние бьефы $Q_{нб\ i, j\ min} \leq Q_{нб\ i, j} \leq Q_{нб\ i, j\ max}$ (3)
- интегральные ограничения по средним за контрольный период расходам воды в нижний бьеф, включая факт, в том числе для расчета по заданным параметрам $Q_{нб\ средн. к, j\ min} \leq Q_{нб\ средн. к, j} \leq Q_{нб\ средн. к, j\ max}$ (4)

где $Z_{вб\ i, j\ min}$, $Z_{вб\ i, j\ max}$ – минимальный и максимальный допустимые уровни водохранилища j -й ГЭС на конец i -х суток; $\Delta Z_{вб\ i, j\ min}$, $\Delta Z_{вб\ i, j\ max}$ – минимальная и максимальная скорости изменения уровня водохранилища j -й ГЭС в i -е сутки; $Q_{нб\ i, j\ min}$, $Q_{нб\ i, j\ max}$ – минимальный и максимальный допустимые расходы в нижний бьеф j -й ГЭС в i -е сутки; $Q_{нб\ средн. к, j\ min}$

$Q_{нб\ средн. к, j\ max}$ – минимальный и максимальный допустимые расходы в нижний бьеф j -й ГЭС, средние за k -й период.

Кроме того, технолог отдела гидроэнергетических режимов может задавать дополнительные ограничения в форме равенств, в соответствии с которыми уровни водохранилищ на конец расчетного периода должны быть заданы. Например:

$$Z_{вб\ j, кон.} = Z_{вб\ j, зад.} \quad (5)$$

где $Z_{вб\ j, кон.}$, $Z_{вб\ j, зад.}$ – уровни водохранилищ j -й ГЭС на конец расчетного периода и заданный соответственно.

Для неоптимизируемых ГЭС режим работы задается технологом и в процессе оптимизации не меняется.

В соответствии с Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ максимально допустимый уровень водохранилища (правая часть неравенства 1) определяется условиями устойчивости гидротехнических сооружений и условиями предотвращения наводнений, минимальный допустимый уровень водохранилища (левая часть неравенства 1) определяется требованиями коммунального и промышленного водоснабжения, водного транспорта, рыбного хозяйства. Ограничения по интенсивности сработки-наполнения водохранилищ (2) определяются требованиями рыбного хозяйства, устойчивостью гидротехнических сооружений и береговых склонов. Минимальный допустимый расход в нижний бьеф (левая часть неравенства 3) определяется санитарными требованиями, требованиями водохозяйственного комплекса в соответствии с Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ и решениями ФАВР. Максимальный допустимый расход в нижний бьеф ГЭС (правая

ПРИМЕР ДИАЛОГОВОЙ ПАНЕЛИ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЕТОВ

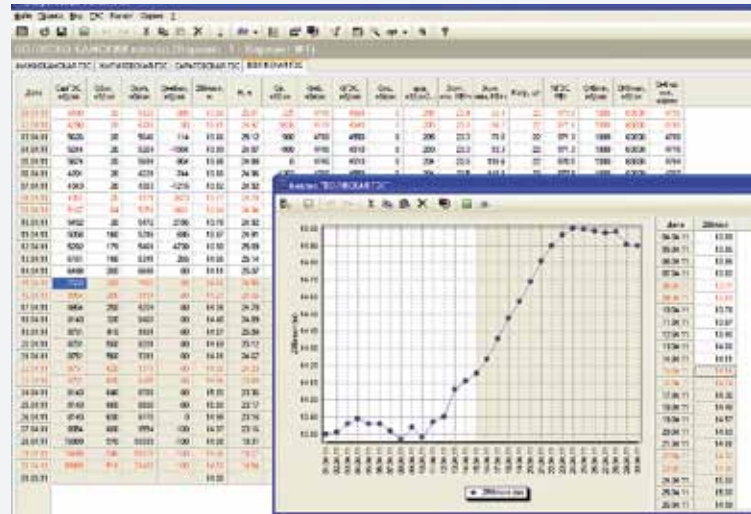


Рис. 3

часть неравенства 3) определяется решением ФАВР в зависимости от конкретной гидрологической и водохозяйственной обстановки. Интегральные ограничения по средним за контрольный период расходам воды в нижний бьеф (4) устанавливаются ФАВР в зависимости от складывающейся гидрологической и водохозяйственной обстановки или определяются Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ. При этом по каждой ГЭС может быть установлен свой период действия ограничения.

Ограничения по уровням на конец периода планирования (5) определяются требованиями ФАВР по обеспечению установленной отметки сработки-наполнения водохранилищ или Основными правилами использования водных ресурсов водохранилищ.

Если в процессе оптимизации оказывается, что заданную систему ограничений невозможно удовлетворить при данном наборе

параметров, то решается задача сведения режима ГЭС в допустимую область ограничений на основе последовательной коррекции уровней водохранилищ на конец периода и системы ограничений (1–5).

РАСЧЕТ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМА ГЭС НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПО ЗАДАННЫМ ПАРАМЕТРАМ

Для коррекции решений, полученных на основе применения оптимизационной модели, используется имитационная модель расчета среднесуточных показателей ГЭС по заданным параметрам. Эта модель позволяет оперативно корректировать принятые ранее решения по режимам ГЭС с учетом текущей практической ситуации.

Расчет выполняется в следующих режимах:

- по заданному значению выработки и удельного расхода;
- по заданному значению расхода в нижний бьеф;
- по заданным значениям уровней верхнего бьефа на 8:00 утра. Тип отметки верхнего бьефа задается технологом для каждой ГЭС. Это может быть приплотинная отметка, средняя по водохранилищу отметка у водопоста.

В случае расчета водного баланса по заданным расходам либо отметкам прогноз выработки ГЭС может выполняться в двух режимах:

- по характеристике $\Xi = f(Z_{вб}, Q_{нб})$;
- по заданным удельным расходам.

Расчет среднесуточных водноэнергетических режимов ГЭС выполняется при заданных (определенных заранее) значениях времени добегания расходов от вышележащих створов ГЭС.

В процессе решения задачи выполняется определение значений времени добегания расходов на основе архива ежесуточной информации за любой прошедший период, заданный пользователем. При необходимости уточнения значений времени добегания расходов между ступенями каскада решается задача определения оптимальных значений времени добегания, дающих минимальное значение небаланса расходов.

1. В режиме расчета по заданной выработке и удельному расходу технолог задает для каждых прогнозируемых суток значения:

- $\Xi_{(i,j)}$ (млн кВт•ч);

ФОРМА ОТЧЕТА С СУТОЧНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ГЭС

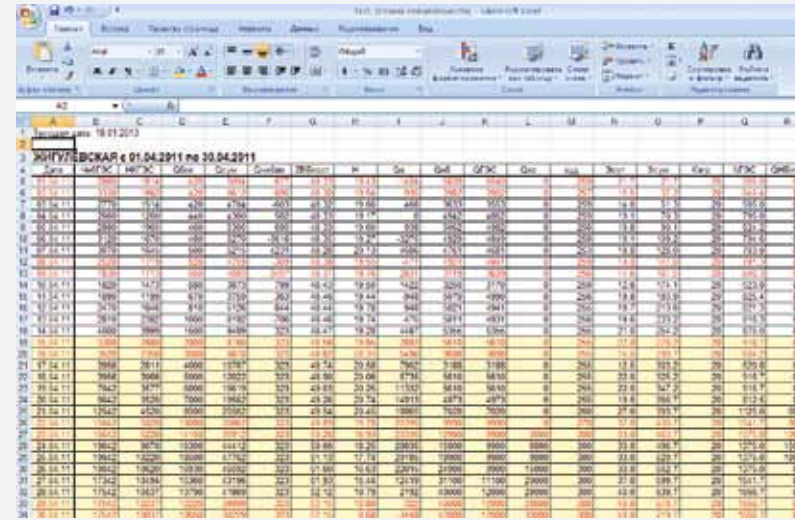


Рис. 4

- $q_{уд(i,j)}$ (м³/с/млн кВт•ч);
- отметку $Z_{вб(i,j)}$ (м) на начало периода;
- $Q_{хол(i,j)}$ (м³/с).

Выполняется расчет расхода в нижний бьеф, вычисляется расход из водохранилища на основе уравнения водного баланса ГЭС. Вычисляется объем водохранилища на конец суток.

Вычисляются по характеристике водохранилища уровни $Z_{вб(i+1)}$ на конец суток.

2. В режиме расчета по заданным расходам в нижний бьеф технолог для каждых прогнозируемых суток задает значения:

- $Q_{нб(i,j)}$;
- $q_{уд(i,j)}$;
- отметку $Z_{вб(i,j)}$ на начало периода;
- $Q_{хол(i,j)}$.

На основе уравнений водного баланса вычисляются расходы из водохранилищ.

Вычисляются объемы на конец каждых прогнозируемых суток.

Вычисляются подбором по характеристике водохранилища уровни $Z_{вб(i+1,j)}$ на конец каждых прогнозируемых суток.

Вычисляется турбинный расход ГЭС.

Выработка ГЭС вычисляется по заданному удельному расходу:

$$\Xi_{(i,j)} = Q_{гэс(i,j)} / q_{уд(i,j)}$$

3. В режиме расчета по заданным отметкам технолог задает для каждых расчетных суток отметки $Z_{вб(i,j)}$ на начало суток.

Выполняется подбор объемов водохранилища на начало и конец суток по характеристике.

Выполняется расчет расходов из водохранилища и расходов в нижний бьеф.

Вычисляется турбинный расход ГЭС.

Выработка ГЭС вычисляется по заданному удельному расходу:

$$\Xi_{(i,j)} = Q_{гэс(i,j)} / q_{уд(i,j)}$$

Для суток факта выполняется дорасчет балансового притока ГЭС ($Q_{бал}$) и небаланса расходов ($Q_{небал}$) как разность между рассчитанным балансовым притоком ($Q_{бал}$) и суммарным фактическим притоком к ГЭС ($Q_{сум}$).

Практика эксплуатации показала, что некоторые ГЭС в ряде случаев присылают показатели фактического водного баланса с нарушением установленного регламента. Поэтому возникает необходимость принятия оперативных решений по планированию и управлению режимами ГЭС Волжско-Камского каскада в условиях отсутствия отдельных видов информации по фактическому состоянию водохранилищ ГЭС.

В условиях неполноты информации по фактическим режимам ГЭС выполняется дорасчет фактического водного баланса ГЭС на основе данных, задаваемых технологом.

Далее выполняется расчет, аналогичный п. п. 3 алгоритмов расчета прогнозных показателей.

В режиме расчета по заданным параметрам реализована функция проверки выполнения заданной системы режимных ограничений с выдачей сообщения о виде показателя, календарной дате и величине нарушения ограничения.

Автоматизация вышеперечисленных алгоритмов позволит повысить эффективность и надежность принятия решений при планировании и оперативном управлении режимами ГЭС Волжско-Камского каскада.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ОПЕРАТИВНОГО ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ГЭС

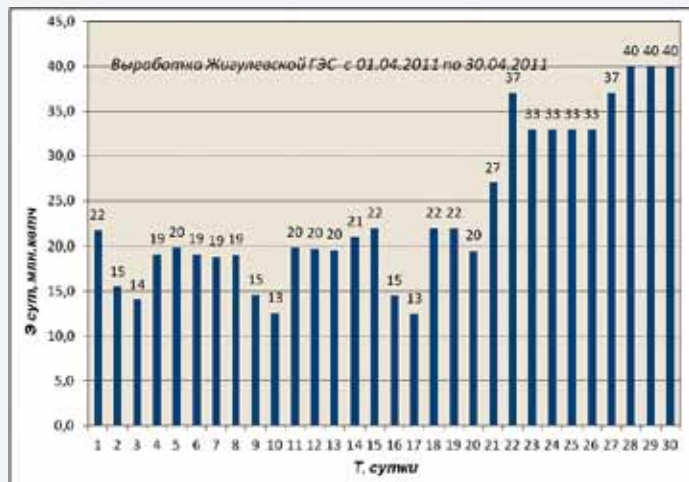


Рис. 5

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ

Разработанные методы оптимизации и имитационного моделирования суточных водноэнергетических режимов ГЭС реализованы в виде программного комплекса «Оперативный водноэнергетический баланс ГЭС», который применяется при планировании суточных режимов ГЭС Волжско-Камского каскада в ОАО «СО ЕЭС».

Логическая структура программного комплекса «Оперативный водноэнергетический баланс ГЭС Волжско-Камского каскада» может быть представлена следующими функциональными блоками:

1. Определение условий расчета: выбор каскада

2. Задание состава показателей по каждой ГЭС каскада, выдаваемых на экран для анализа.
3. Задание типа отметок (средняя по водохранилищу, приплотинная), по которым выполняется расчет водного баланса ГЭС.
4. Чтение исходных данных.
5. Проверка полноты исходной информации по фактическим режимам ГЭС.
6. Дорасчет водноэнергетического баланса ГЭС для суток фактического периода.
7. Выполнение расчета водноэнергетического баланса ГЭС для суток плана по заданной моде-

ГЭС, задание периода расчета и варианта расчета, модель расчета (оптимизация, расчет по заданным параметрам).

8. ли: оптимизация, расчет по заданным параметрам. Анализ отклонений показателей режима ГЭС от заданной системы ограничений.
9. Графический анализ результатов расчета.
10. Формирование выходных документов в Excel.

Функциональная блок-схема программного комплекса представлена на рис. 2.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСА

Программный комплекс «Оперативный водноэнергетический баланс ГЭС» предполагает следующую последовательность действий. В диалоговом режиме оператор выбирает расчетную схему каскада и задает период расчета. Расчетный период может включать суточные интервалы факта и плана. Для каждой ГЭС задается свой набор показателей для анализа и коррекции, которые включают как исходные, так и результирующие показатели водноэнергетического баланса ГЭС.

На основе заданных параметров формируется исходная информация, а именно, нормативно-справочные данные ГЭС (характеристики ГЭС, схема каскада), для суток факта – значения водноэнергетических показателей режимов работы ГЭС.

Далее выполняется проверка полноты информации и дополнительный расчет водноэнергетического баланса ГЭС для суток факта (в случае необходимости). Определяется модель расчета: либо по заданным параметрам, либо оптимизация по заданному критерию.

Для прогнозируемых суток выполняется расчет водного баланса

АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМОВ ГЭС

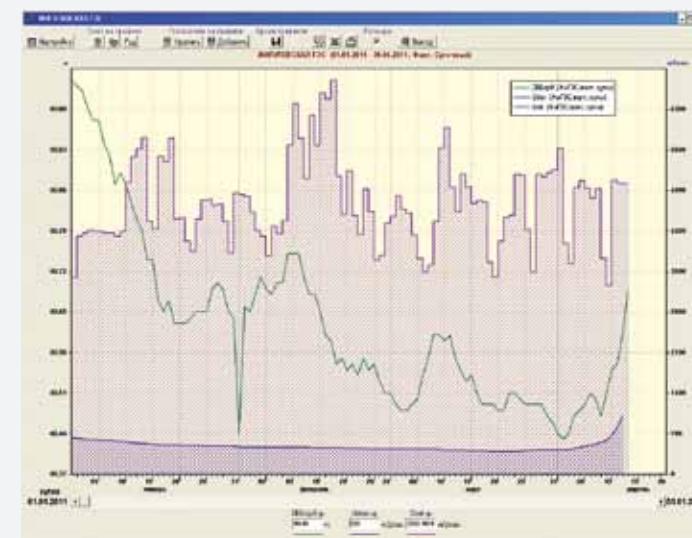


Рис. 6

с учетом каскадной связи ГЭС и времени добега расходов от верхних ступеней каскада к нижним. Такой расчет производится по выбранной модели расчета и в соответствии с алгоритмами, описанными выше. Результаты расчета выводятся на диалоговую панель в виде таблиц для анализа и последующей коррекции. Состав столбцов таблицы определяется перечнем выбранных показателей по каждой конкретной ГЭС. Окончательная форма представления результатов расчета выполняется в соответствии с выбранным вариантом и сопровождается комментариями, задаваемыми технологом в диалоговом режиме.

Результатами работы ПК являются показатели водноэнергетического баланса ГЭС Волжско-Камского каскада на планируемый период с разбивкой по суткам. Эти данные сохраняются как один из возможных вариантов расчета. Результаты этих расчетов представляются в графическом и табличном виде (рис. 3–5).

Рассматриваемый программный комплекс позволяет реализовать целый ряд сервисных функций, в том числе информационно-аналитический поиск показателей ГЭС, который выдает (в соответствии с задаваемым критерием) значения различных показателей режимов ГЭС ЕЭС России за прошедшие годы. В качестве показателей, по которым выполняется поиск, выступают суточные и среднемесячные показатели.

При использовании функции поиска необходимо задать критерии поиска. В качестве таковых могут быть использованы все значения показателя за заданный период, ближайшие к заданному значению за заданный период, меньшие его, ближайшие к заданному значению за заданный период, большие его, ближайшие к заданному значению за заданный период, не большие его и ближайшие к заданному значению за заданный период, не меньшие его,

а также минимальное и максимальное значения любого показателя.

В случае использования среднего значения показателя в качестве критерия поиска ищутся ближайшие значения к среднему значению за заданный период. Результатом поиска является набор значений показателя, соответствующих заданной функции и критерию поиска. В составе комплекса реализована также функция графического анализа ежесуточной фактической информации за любой заданный период (рис. 6).

Получаемая таким образом справочная информация о фактических режимах ГЭС позволяет технологу, учитывая показатели прошлых режимов, оперативно принимать решения по прогнозированию среднесуточных режимов ГЭС на планируемый период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый программный комплекс «Оперативный водноэнергетический баланс ГЭС» позволяет автоматизировать расчет среднесуточных водноэнергетических режимов ГЭС на основе имитационного и оптимизационного подходов, что существенно повышает эффективность и надежность принятия решений при планировании и оперативном управлении режимами ГЭС Волжско-Камского каскада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков Е. В. и др. Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах // Энергоатомиздат, 1984.
2. Цветков Е. В., Протопопова Т. Н. Метод и алгоритм расчета долгосрочного допустимого режима энергообъединения / Тр. ВНИИЭ «Оптимизация долгосрочных режимов энергосистем». – 1989.