

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГЭС АНГАРО-ЕНИСЕЙСКОГО КАСКАДА»**С.С. ТРУФАКИН*, Е.А. СОВБАН**,***, А.Г. РУСИНА********Филиал АО «СО ЕЭС» Красноярское РДУ, г. Красноярск******Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири, г. Кемерово*******Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск**

Структура установленной мощности Объединенной энергетической системы (ОЭС) Сибири характеризуется значительной долей гидроэлектростанций. Возникает необходимость долгосрочного прогнозирования режимов работы Ангара-Енисейского каскада ГЭС с непрерывной корректировкой на краткосрочном интервале. В современных условиях развития компьютерных технологий алгоритмизация расчетов не составляет труда. Однако довольно трудоемким является процесс описания математической модели расчетов с учетом множества ограничений, накладываемых на использование гидроресурсов. На достоверность рассчитываемых водно-энергетических параметров существенное влияние оказывает используемая статистическая база данных. Имеющееся программное обеспечение для расчета режимов ГЭС Ангара-Енисейского каскада не позволяло в полной мере удовлетворить потребность в вариантности производимых расчетов и их достоверности, при сопоставлении получаемых расчетных параметров с фактическими показателями режимов работы. С учетом актуальности планирования режимов работы ГЭС операционной зоны ОДУ Сибири принято решение о создании собственного программного обеспечения «Водно-энергетический расчет ГЭС Ангара-Енисейского каскада». В нем учтены особенности оказываемого взаимного влияния ГЭС, расположенных в каскаде, а также существует возможность расчета различных сценариев работы гидроэлектростанций. В настоящее время по представленному техническому заданию разработана первая версия программного обеспечения.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, каскад гидроэлектростанций, планирование режимов работы ГЭС, расчет водно-энергетических показателей, программное обеспечение.

Введение

В разные периоды года выработка, приходящаяся на долю гидроэлектростанций ОЭС Сибири, изменяется в диапазоне от 30 до 60% от суммарной суточной генерации электрической энергии. Значительный удельный вес ГЭС в структуре генерирующих мощностей объединения определяет необходимость непрерывного долгосрочного и краткосрочного планирования режимов работы гидроэлектростанций [1].

Качество планируемых режимов в большей степени зависит от двух факторов: достоверность прогноза притока и точность водно-энергетических расчетов. В связи с вероятностным характером наступления водности различной обеспеченности улучшение качества данной входящей информации крайне затруднительно.

Возможные пути повышения качества планирования сосредоточены на проводимых гидроэнергетических расчетах. Системным оператором осуществляется планирование режимов работы ГЭС ОЭС Сибири как на долгосрочную перспективу (от года до нескольких лет), так и на краткосрочный интервал (от суток до месяца) с

ежедневной корректировкой плана на основе фактических показателей работы прошедших суток, с учетом динамики приточности [2].

Цели создания и требования к ПО

Используемое до недавнего времени в промышленной эксплуатации программное обеспечение (ПО) не в полной мере отвечало требуемым условиям расчета. В частности, отсутствовала возможность моделирования режима с использованием холостых водосбросов до момента достижения отметки в водохранилище нормального подпорного уровня (НПУ). Однако утвержденные и разрабатываемые Правила использования водных ресурсов, согласно прилагаемым диспетчерским графикам, в соответствии с фактической гидрологической обстановкой и интенсивностью наполнения водохранилища, обязывают к пропуску половодья с использованием водосливных сооружений, не достигая отметки НПУ. При отсутствии автоматизированной возможности расчета таких режимов процесс пропуска половодья и оценка достоверности полученных результатов усложняются.

Исходя из недоработок и ограниченной функциональности описываемого ПО, было принято решение о разработке технического задания на создание нового комплекса «Водно-энергетический расчет ГЭС Ангара-Енисейского каскада» (ПО ВЭР), удовлетворяющего требованиям к проводимым расчетам. В основу алгоритма положен классический водно-энергетический расчет на основе существующих гидроэнергетических характеристик водохранилищ и основного генерирующего оборудования станций [3].

Планирование гидрорежимов на различных этапах формирования суточного диспетчерского графика осуществляется для решения нескольких задач, при анализе которых было выделено четыре основных типа расчета для их реализации, а именно: оптимизация (при необходимости минимизация) расхода в нижний бьеф, контроль наполнения в период пропуска половодья (паводков) и интенсивности сработки водохранилища в соответствии с уровнем верхнего бьефа, максимум средней мощности станции и, как производная, максимум суточной выработки электроэнергии [4]. Математически описаны четыре алгоритма расчета по указанным параметрам: по расходу, по отметке, по мощности, по выработке. На рис. 1 показан программный вид окна выбора типа расчета.

№	Дата начала интервала	Интервал, сутки	Приток, м ³ /с	Тип расчёта	ВБ, м
1	01.04.2016	1	1000	1. По расходу	455,74
2	02.04.2016	1	1000	2. По уровню верхнего бьефа	455,74
3	03.04.2016	1	1000	3. По средней мощности	455,739
4	04.04.2016	1	1000	4. По выработке электроэнергии	455,739

Рис. 1. Выбор типа расчета

Условия проведения расчетов

Особенностью ГЭС, связанных каскадом, является то, что уровень нижнего бьефа вышележащей станции зависит от кривой подпора водохранилища нижележащей станции. Исходя из этого, расчет начинается со станции, замыкающей каскад. После расчета верхнего бьефа нижележащей ГЭС по характеристикам определяется уровень нижнего бьефа вышерасположенной станции, что позволяет учесть снижение напора и, как следствие, снижение мощности. На небольшом по длительности интервале планирования величина снижения мощности вследствие подпора может не играть существенной роли, однако при планировании на долгосрочную перспективу, с целью определения суммарной энергоотдачи за осенне-зимний период или на годовом интервале, общее снижение выработки по ГЭС значительно.

Для начала расчета в ПО ВЭР необходимо ввести исходный уровень верхнего бьефа. Автоматически дорасчетом определяется соответствующий ему объем водохранилища. Далее задается один из приведенных ранее типов расчета и определяется объем необходимых исходных данных. Планирование может быть выполнено для часового и суточного интервала времени. Для задания месячного интервала необходимо указание количества суток в соответствующем столбце.

При задании исходных параметров (рис. 2) имеется возможность указать объем холостых сбросов, что позволяет смоделировать режим открытия водосбросов, не наполняясь до отметки НПУ.

При формировании режима «По отметке», при заданных исходных условиях на достижение определенной отметки водохранилища и превышении притока воды над расходом в нижний бьеф, расчет осуществляется с перераспределением избыточного стока между максимальным расходом через гидроагрегаты и расходом холостых сбросов (рис. 3). При этом суммарный максимальный расход в нижний бьеф ограничивается характеристиками гидроузла.

• соответствующий значению начального уровня верхнего бьефа (км³): 1915,537

ВБ, м	Q _{губ.} , м³/с	Q _{х.х.} , м³/с	Q _{х.сбр.} , м³/с	Q _{н.б.} , м³/с	Q _{уд.} , м³/кВтч	Р _{сред.} , МВт	Выработка эл.эн., млн.кВтч
455,74	1300	0	500	1300	3,875	335,501	8,052
455,74	1300	0	500	1300	3,875	335,499	8,052
455,739	1300	0	500	1300	3,875	335,497	8,052
455,739	1300	0	0	1300	3,875	335,495	8,052
455,739	1300	0	0	1300	3,875	335,492	8,052
455,739	1300	0	0	1300	3,875	335,49	8,052
455,739	1300	0	0	1300	3,875	335,488	8,052

Рис. 2. Ручной ввод значения холостых сбросов

Объем водохранилища, соответствующий значению начального уровня верхнего бьефа (км³): 58,218

Приток, м³/с	Тип расчёта	ВБ, м	Q _{губ.} , м³/с	Q _{х.х.} , м³/с	Q _{х.сбр.} , м³/с	Q _{н.б.} , м³/с
3110	2. По уровню верхнего бьефа	208,00	3110	0		3110
3603	2. По уровню верхнего бьефа	207,96	4667,815	0		4667,815
4117	2. По уровню верхнего бьефа	207,94	4649,407	0		4649,407
4602	2. По уровню верхнего бьефа	207,92	5000	0	134,407	5134,407
4597	2. По уровню верхнего бьефа	207,90	5000	0	129,407	5129,407
4605	2. По уровню верхнего бьефа	207,88	5000	0	137,407	5137,407
4104	2. По уровню верхнего бьефа	207,952	2190	0	0	2190

Рис. 3. Автоматический расчет холостых сбросов

Статистическая база фактических режимов работы гидроэлектростанций ОЭС Сибири ежедневно обновляется данными за прошедшие сутки, передаваемыми в макетах водно-энергетических параметров от станции. В ПО ВЭР настроена возможность загрузки фактических режимов работы из существующей базы данных. Это позволяет автоматически загружать параметры гидроэнергетических режимов для выполнения корректировок на ежедневном и месячном интервалах, а также упрощает моделирование нового режима работы на основе гидрографа выбранного года-аналога без дополнительных операций в ручном режиме.

Возможность загрузки фактических параметров доступна за одни сутки, посуточно за выбранный период или интегрально за выбранный период (рис. 4).

Загрузка данных из архива 017 макета

☐ Загрузка за дату
☒ Загрузка за период
☐ Загрузка интегральных значений за период (в одну строку)

Период с: 01.05.2016 по 24.05.2016

Тип расчёта: 1. По расходу

☒ Турбинный расход
☒ Расход холостых сбросов
☒ Отметка ВБ
☒ Приток / боковой приток

OK Отменить

Рис. 4. Пример загрузки параметров из архива базы данных

В каждом возможном варианте загрузки данных из архива определяется состав загружаемых параметров, а именно: турбинный расход, расход холостых сбросов, отметка верхнего бьефа, приток или боковой приток (в зависимости от станции и контролируемого стока). При этом при интеграции значений за период под уровнем верхнего бьефа принимается отметка на начало указанного периода, а остальные расходные параметры усредняются на заданном интервале.

При проведении каждой итерации расчетов выполняется проверка на наличие и величину необходимых введенных значений. Проверке подлежат и рассчитанные параметры: УМО, НПУ, максимальная пропускная способность станции и пр. В ПО ВЭР предусмотрены два вида результатов проверки: критические ошибки (рис. 5) и предупреждающие сообщения (рис. 6).

Приток, м³/с	Тип расчёта	ВБ, м	Q _{турб.} , м³/с	Q, м³/с
3110	2. По уровню верхнего бьефа	309,00	-2685454,8	0
3603	2. По уровню верхнего бьефа	207,96	5000	0
4117				0
4602				0
4597				0
4605				0
4104				0

Сообщение с веб-страницы

Произошла ошибка при выполнении операции:
 - Имеются некорректные значения параметров;
 - Имеются строки с ошибкой расчёта.

OK

Рис. 5. Пример проверки с результатом «критическая ошибка»

Критические ошибки (например, отсутствие необходимого параметра) не позволяют продолжать расчёт. При появлении сообщений о критических ошибках, как на рис. 5, требуется корректировка исходных данных. При формировании режима в ПО ВЭР необходимо заполнить все параметры для каждой из ГЭС каскада, поскольку учитываются зависимости кривых подпора. При отсутствии значений для нижележащих ГЭС каскада расчет всего каскада невозможен.

Предупреждающие сообщения информируют о достижении граничных условий с возможностью продолжения расчёта (например, достижение УМО на рис. 6). Данное допущение необходимо при эксплуатации станции в нехарактерных режимах работы, а также при вероятности изменения ограничений, накладываемых на параметры работы водохранилища, таких как минимально допустимая отметка сработки.

ВБ, м	$Q_{турб.}$ м ³ /с	$Q_{х.х.}$ м ³ /с	$Q_{х.сбр.}$ м ³ /с	$Q_{н.б.}$ м ³ /с
455,74	1300	0	500	1800
455,739	Значение верхнего бьефа должно быть в пределах 457 (Знпу) и 456 (Зумо)			
455,739	1300	0	500	1800
455,738	1300	0	0	1300
455,738	1300	0	0	1300
455,738	1300	0	0	1300

Рис. 6. Пример проверки с результатом «предупреждающее сообщение»

Заключение

Результаты внедрения

В настоящее время ПО ВЭР введено в промышленную эксплуатацию в филиалах АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири, Красноярское РДУ и Иркутское РДУ. Комплекс используется при планировании режимов работы ГЭС АЕК на долгосрочный и краткосрочный периоды, а также при проведении расчетов для формирования предложений Системного оператора на совещания Межведомственной рабочей группы по регулированию режимов работы водохранилищ Ангаро-Енисейского каскада и Северных ГЭС, уровня воды озера Байкал.

Функции, осуществляемые ПО ВЭР, реализованы в полном объеме, в соответствии с разработанным техническим заданием, а именно:

1. Ручное формирование исходной информации для решения задач.
2. Использование архива данных в качестве исходной информации.
3. Расчет режимов ГЭС Ангарского и Енисейского каскадов в зависимости от заданного интервала времени.
4. Расчет водно-энергетических показателей в соответствии с заданным типом расчета.
5. Проверка полученного расчета на предмет допустимости значений по отметкам верхнего бьефа и расходам через станцию.
6. Отображение информации в табличном виде.
7. Хранение информации по фактическим режимам работы и выполненным расчетам, с целью проведения оперативных корректировок режима.
8. Формирование на основе расчетов отчетных форм.

Набор рассчитываемых водно-энергетических параметров позволяет не только осуществлять планирование режимов на разные по длительности интервалы, но и анализировать удельные затраты гидроресурсов для производства электрической энергии.

Области дальнейшего развития ПО

1. За годы эксплуатации гидроузлов, как объектов комплексного водохозяйственного назначения, требования, предъявляемые к режимам работы станций водопользователями и водопотребителями, претерпели значительные изменения. Направление развития и доработки комплекса лежит в сфере учёта ограничений, накладываемых на режимы работы ГЭС операционной зоны ОДУ Сибири участниками водохозяйственных комплексов. В их числе: обеспечение гарантированного попуска на нужды коммунального хозяйства, обеспечение навигационных уровней или расходов, уровни верхнего бьефа по условию нормальной работы лесосплавного хозяйства, амплитуда колебаний уровней в нижнем бьефе станции, санитарные расходы и др. Такие ограничения, как правило, носят сезонный

характер и изменяются в течение года. В настоящее время приведенный массив водохозяйственных требований, расходные режимы работы станций задаются и контролируются непосредственно расчётчиком. Необходимо включить данные ограничения в условия проверки на предмет допустимости программным обеспечением «Водно-энергетический расчет ГЭС Ангара-Енисейского каскада». Информацию о нарушениях граничных условий необходимо представить в виде предупреждений, с возможностью продолжения расчета.

2. Значительные отличия фактического режима работы гидростанций от планируемого могут стать следствием участия ГЭС в автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. Участие в регулировании приводит к неоптимальному режиму работы станции и перерасходу гидроресурсов [5], [6]. Для улучшения качества планирования гидроэнергетических режимов, в качестве проведения тестовых расчетов, составляется расширенная база данных (с момента ввода станций в эксплуатацию) с возможностью моделирования на её основе (по существующим фактическим водно-энергетическим показателям) прогнозных режимов работы гидроэлектростанций операционной зоны ОДУ Сибири.

Summary

The structure of Siberian power system installed capacity is characterized by significant amount of hydro power stations (HPS). There is a necessity to make long-term forecasts of Angara and Yenisei series of HPS mode with constant updating for the short-term planning. Moreover, with modern IT technologies there is no difficulties to create an algorithm for such calculations. Nevertheless, the process of mathematical program description for calculations is rather complicated due to various limitations of water usage. Statistical database that is in use influences sufficiently on reliability of calculated water and energy balances. The software, which is currently in use for Angara and Yenisei series of HPS calculations of mode, does not provide the needed level of calculations variability and reliability entirely. While comparing results of simulations with statistical data of HPS mode, taking into consideration the necessity to plan HPS mode for Siberian power system, the decision was made - to develop proper software "Water and energy balances calculations for Angara and Yenisei series of HPS". It takes into account HPS interference within series. Furthermore, there is an opportunity to calculate different scenarios of HPS operations. For the current moment the first version of the program is done, according to technical specification.

Keywords: HPS, series of HPS, mode planning for HPS, water and energy figures calculations, software.

Литература

1. Филиппова Т.А., Сидоркин Ю.М., Русина А.Г. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем: Учебник. Новосибирск: НГТУ, 2007. 356 с.
2. Филиппова Т.А., Журавлев В.Г., Жирнов В.Л., Сидоркин Ю.М. Управление режимами электрических станций. Новосибирск: НГТУ, 1995. 182 с.
3. Филиппова Т.А., Мисриханов М.Ш., Сидоркин Ю.М., Русина А.Г. Гидроэнергетика: Учеб. пособие. Новосибирск: НГТУ, 2012. 620 с.
4. Щавелев Д.С. Использование водной энергии. Энергия, 1965. 599 с.
5. Филиппова Т.А. Эксплуатационные режимы гидроэлектростанций. Изд. 5. Новосибирск: Наука, 1968. 192 с.
6. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем : Учебник. Новосибирск: НГТУ, 2007. 298 с.

Труфакин Сергей Сергеевич – ведущий специалист отдела балансов мощности, электроэнергии и статистики Службы энергетических режимов и балансов филиала АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы Красноярского края и Республики Тыва» (Филиал АО «СО ЕЭС» Красноярское РДУ), г. Красноярск. Тел.: 8(391)290-43-27, 8(983)615-05-91. E-mail: tss@krsk.soups.ru.

Совбан Екатерина Андреевна – специалист 1 категории отдела оперативного планирования Службы оперативного планирования режимов филиала АО «СО ЕЭС» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемы Сибири» (Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири), г. Кемерово; аспирант кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), Тел.: 8(3842)77-81-16, 8(983)218-37-16. E-mail: sovbanEA@osib.soups.ru.

Русина Анастасия Георгиевна – д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Новосибирского государственного технического университета (НГТУ). Тел.: 8(383)346-13-34, 8(913)911-84-05. E-mail: rusina@corp.nstu.ru.