

СИСТЕМА КАСКАДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АНГАРСКИХ ГЭС¹

Е.Н. Осипчук, Н.В. Абасов

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Ангарский каскад, расположенный в бассейне реки Ангара, включает 4 крупных ГЭС с водохранилищами многолетнего (Иркутское с оз. Байкал, Братское) и сезонного (Усть-Илимское, Богучанское) регулирования. Несмотря на значительные запасы водных ресурсов с суммарным полезным объемом водохранилищ около 100 км³, в настоящее время основные проблемы эффективного управления каскадом связаны со следующими факторами:

- изменением проектных ограничений в верхних и нижних бьефах гидроузлов с уменьшением полезных объемов водохранилищ и повышением рисков нарушения требований водопользователей (водозаборов, навигации, лесосплава и др.) и затопления территорий;
- переходом на особый режим регулирования уровня оз. Байкал, являющегося водохранилищем первой ступени каскада;
- значительным изменением гидрологических характеристик в бассейнах р. Ангара и оз. Байкал, связанных с глобальным и региональным изменением климата;
- изменением структуры генерирующих компаний и планов ввода крупных потребителей электроэнергии.

В связи с комплексным назначением водохранилищ Ангарского каскада и существенной доли его генерирующих мощностей в энергосистеме Сибири (около 30%), актуальными являются исследования различных режимов ГЭС каскада с оценкой эффективности их работы и определением энергетических, водохозяйственных, экологических и социальных рисков. Для этих целей в ИСЭМ СО РАН разработаны подход к исследованию режимов работы Ангарского каскада ГЭС [1–4] и специальная система каскадного моделирования. Их уникальность и особенность заключаются в следующем:

- создании множества моделей (гидрологической, гидравлической, водохозяйственной и др.), согласованных по входам, выходам и ограничениям и использующих единые базы данных и базы знаний;
- разработке среды для синтеза и управления моделями с различными водохозяйственными и энергетическими критериями опти-

¹ Работа поддержана грантом РФФИ и Правительством Иркутской области (проект №17-47-380005 p_a)

мизации на основе обработки многолетней гидрологической статистики и ее модельных вариантов;

- моделировании долгосрочных режимов работы каскада по формируемым прогностическим сценариям водности с различными вероятностями их оправдываемости;

- разработке параметризованной программной среды для синтеза, запуска и развития моделей на основе создания универсальных и специализированных библиотек программной поддержки;

- гибком сочетании использования собственных и внешних программных компонентов с возможностью их оперативной замены.

На рис. 1 представлена схема Ангарского каскада с обозначением его гидроузлов, притоков в водохранилища (P), расходов воды через створы ГЭС и гидропосты (Q). Для Братского водохранилища дополнительно выделены боковые притоки (реки Иркут, Китой, Белая), что связано с потенциальными затоплениями значительных территорий в нижнем бьефе Иркутской ГЭС. Участок, расположенный ниже Богучанской ГЭС (Нижняя Ангара), имеет большую значимость для летней навигации с требованиями по поддержанию минимальных уровней воды на гидропостах в пунктах Богучаны и Татарка.

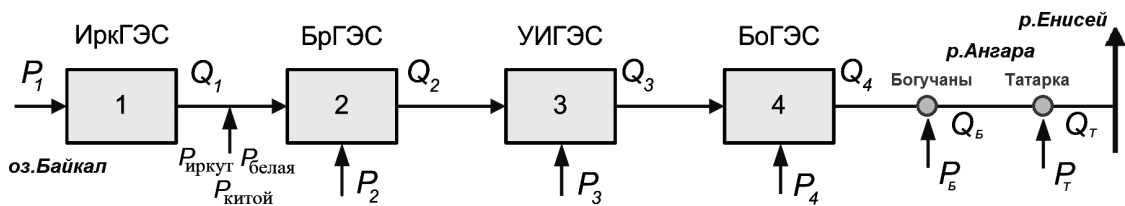


Рис. 1. Схема Ангарского каскада ГЭС

Каждый из гидроузлов имеет свои правила назначения режимов (расходов), основанные на диспетчерских графиках. Режимы Иркутской ГЭС назначаются независимо от режимов других ГЭС каскада с возможностью изменения расхода при экстремальных боковых притоках Ангары в нижнем бьефе. Для остальных ГЭС каскада используются балансовые модели, позволяющие определить необходимые объемы компенсирующего расхода через Братскую ГЭС:

- в летний период расходы Братской ГЭС определяются требованиями навигации на Нижней Ангаре с учетом наполнения Усть-Илимского и Богучанского водохранилищ, выполнением навигационных и водозаборных требований в акватории Братского водохранилища, а также лесосплава в нижнем бьефе;

- в зимний период Братская ГЭС обеспечивает гарантированную среднюю зимнюю мощность всего каскада.

Разработанная система позволяет задавать различные параметры режимов отдельных гидроузлов, включая их диспетчерские графики: для Иркутского (оз. Байкал) и Братского водохранилищ – изменять границы максимального и минимального наполнения и уровень предположительной сработки, ограничения на санитарный и максимальный водосброс; для Усть-Илимского и Богучанского – проводить летнюю навигационную сработку с увеличением запасов воды в Братском водохранилище для повышения зимней мощности каскада.

Также система содержит различные модели регулирования каскада в целом, включающие наборы ограничений гидроузлов. Например, «естественный» вариант регулирования предусматривает водный режим (расход) р. Ангара в створе Иркутской ГЭС, максимально приближенный к естественному режиму оз. Байкал, существовавшему до строительства ГЭС; расходы, поступающие в нижний бьеф, определяются естественной пропускной способностью истока р. Ангара. В систему включены также и другие варианты регулирования с обязательным выполнением минимально допустимых нормативных требований водопользователей: «базовый» – режимы регулирования Ангарского каскада ГЭС назначаются по действующим Правилам использования водных ресурсов (ПИВР) 1988 года [5]; «энергетический» – максимальное обеспечение требований гидроэнергетики; «транспортный» – максимальное обеспечение требований водного транспорта; «устойчивый» – максимальное обеспечение требований всех водопользователей для различных условий водности с учетом водохозяйственных и социально-экономических ограничений.

При анализе различных вариантов режимов каскада требуется множество итераций формирования и запуска моделей с разными наборами ограничений и критериями оптимизации. Для формирования эффективных режимов ГЭС необходимо постоянное обновление моделей, учитывая возможные изменения гидрологических и климатических характеристик, нормативных и проектных ограничений, требований водопользователей и водопотребителей. Для устранения противоречий в различных моделях и их эффективного управления разработан подход к созданию системы согласованных моделей на основе единых баз данных и знаний, используя механизм метамоделирования [6–9]. Данный подход позволяет оперативно синтезировать отдельные модели на основе описания параметризованных классов моделей (метамоделей).

С помощью разработанной системы проведено моделирование возможных сценариев притока и режимов работы ГЭС Ангарского каскада на 2019 водохозяйственный год. При расчете режимов ГЭС по

каждому месяцу определены основные показатели их работы: средний расход через створ, уровни верхнего и нижнего бьефов, брутто и нетто напоры, полезный объем водохранилища, средняя мощность, выработка электроэнергии, КПД гидроагрегатов и др. Для каждого гидроагрегата автоматически проведена оптимизация состава работы и загрузки на основе эксплуатационных характеристик для повышения энергетических показателей.

Результаты моделирования для главных водохранилищ Ангарского каскада при 3-х вариантах притоков (среднем, высоком и низком) представлены на рис. 2. При формировании сценариев притоков использовалась система ГеоГИПСАР [10], позволяющая проводить обработку множества прогностических ансамблей глобальной климатической модели CFS-2 (Climate Forecast System) [11] с дополнением статистических данных и годов-аналогов.

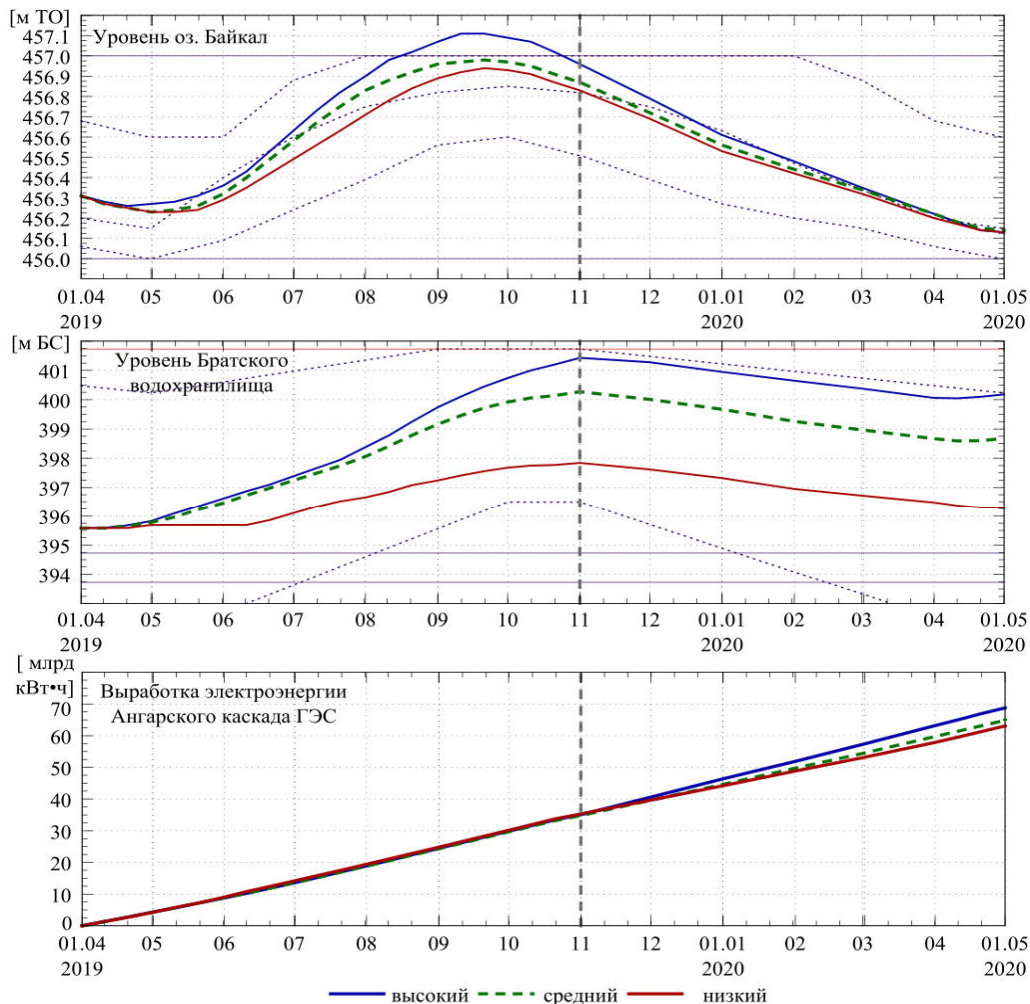


Рис. 2. Моделирование уровенных режимов оз. Байкал, Братского водохранилища и выработки электроэнергии Ангарского каскада ГЭС на 2019 водохозяйственный год при различных сценариях притока

Как видно из рис. 2, при сценарии высокой водности для оз. Байкал существует риск превышения отметки нормального подпорного уровня (НПУ) на 10 см, сопровождаемый повышенными расходами через гидроузел и холостыми водосбросами (до 500 м³/с). Для остальных ГЭС Ангарского каскада при всех сценариях водности складываются достаточно благоприятные условия функционирования, не нарушающие действующие правила регулирования. При средней водности возможно наполнение всех водохранилищ, кроме Братского, до отметок близких к НПУ. Для Братского водохранилища, впервые за последние годы, могут быть созданы запасы многолетнего регулирования каскада, позволяющие повысить общую устойчивость функционирования водохозяйственной и энергетической систем. Среднезимняя мощность каскада в условиях средней водности составит 6900 МВт, высокой – 7600 МВт, низкой – 6300 МВт, расчетная годовая выработка электроэнергии – 60.6, 63.2 и 57.9 млрд. кВт·ч соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система позволяет более обосновано планировать и уточнять работу генерирующих энергокомпаний и Системного Оператора (ОДУ Сибири) в предстоящий водохозяйственный год, в том числе в летний и зимний сезоны. Расчетные сценарии дают возможность оценить, в зависимости от долгосрочного сценария водности, ожидаемую выработку электроэнергии и среднюю мощность ГЭС, а также другие водно-энергетические показатели режимов гидроузлов, сформировать перспективные энергобалансы в энергосистеме и обосновать предполагаемую загрузку тепловых электростанций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Осипчук Е.Н. Ангаро-Енисейский каскад ГЭС в условиях изменяющегося климата // Энергетическая политика, вып. 4, 2017. С. 62–71.
2. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Никитин В.М., Осипчук Е.Н. Моделирование режимов функционирующих и проектируемых ГЭС Ангарского каскада // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление: материалы всерос. конф. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2015. С. 499-505.
3. Абасов Н.В., Бережных Т.В. Подход к анализу изменчивости притока воды Ангарского каскада ГЭС // Природные и интеллекту-

альные ресурсы Сибири: доклады межд. науч.-пр. конф. Кемерово – Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2007. – С. 23–26.

4. Абасов Н.В., Осипчук Е.Н., Никитин В.М., Бережных Т.В., Хмельнов А.Е., Гаченко А.С. Система моделей для анализа рисков экстремальной водности на реке Ангаре // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Вып.2 / Отв. ред. И.В. Бычков, А.Л. Казаков. – Иркутск: Изд-во Инст. географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017.С.5–11.

5. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского). – М: Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР, 1988. – 64 с.

6. Кларк Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. Перевод с англ. Зуева М. А., под ред. Горлина. А. И. – М.: Радио и связь, 1990. – 534 с.

7. Jeusfeld M.A., Jarke M., Mylopoulos J. Metamodeling for Method Engineering. Cambridge, MA: MIT Press, 2009. – 424 p.

8. Абасов Н.В, Осипчук Е.Н. Язык описания метамodelей задач математического программирования и его применение в гидроэнергетике // Вестник ИрГТУ, 2012. – №5(64). С.8-15.

9. Осипчук Е.Н., Абасов Н.В. Технология метамodelирования для исследования режимов ГЭС // Труды XVIII Байкальской Всероссийской конференции «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть III. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2013. С. 274–280.

10. Абасов Н.В. Система долгосрочного прогнозирования и анализа природообусловленных факторов энергетики ГеоГИПСАР // Материалы международного совещания APN (MAIRS/NEESP/SIRS) «Экстремальные проявления глобального изменения климата на территории Северной Азии», Enviromis-2012. С.63–66.

11. The NCEP Climate Forecast System [электронный ресурс]: <http://cfs.ncep.noaa.gov>.