

ОБУЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ГЭС НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ РАЦИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТАВОМ АГРЕГАТОВ

В.Е. Захарченко, И.А. Дубов (ООО НВФ "Сенсоры. Модули. Системы")

Описывается система для обучения персонала ГЭС, которая моделирует работу агрегатов, систем регулирования активной мощностью и рационального управления составом агрегатов ГЭС. Система оценивает эффективность управления гидроэлектростанцией за период, позволяет моделировать различные режимы ГЭС и обрабатывать их с наивысшим КПД.

Ключевые слова: интерактивное обучение, повышение эффективности ГЭС, моделирование, гидроагрегат, ГЭС, групповое управление активной мощностью.

Одной из самых важных повседневных задач оперативного персонала ГЭС является ведение оптимального режима работы гидроэлектростанции с учетом их работы в энергосистеме [1]. Под оптимальным режимом понимается поддержание безаварийного состояния оборудования и исполнение плановых показателей мощности: контроль за частотой и напряжением в электрической сети, соответствие суточному графику, установленному Системным оператором единой энергосистемы РФ, и заданной выработке. Пример суточного диспетчерского графика представлен на рис. 1. По оси абсцисс откладывается время, по оси ординат — мощность ГЭС, которая должна быть достигнута в соответствующий момент времени. График поступает на ГЭС в автоматическом режиме и может уточняться, кардинально изменяться каждые 30 мин.

На ГЭС функционирует несколько гидроагрегатов, и задание в каждый момент времени может быть выполнено различным набором агрегатов. Задача оперативного персонала заключается в определении наилучшего состава агрегатов для выполнения заданий, выборе правильного времени для изменения состава агрегатов, при этом эффективность работающих агрегатов должна быть максимальной, а число изменений состава — минимально. Кроме того, необходимо равномерно распределять время работы, число изменений состояний среди всех агрегатов, принимая во внимания их техническое состояние, индивидуальные ограничения по вибрациям, режимам работы и т. д. Таким образом, оперативный персонал должен делать все то, что реализует система рационального управления составом агрегатов (РУСА) ГЭС [2, 3]. В настоящее время система РУСА не очень распространена, она несет функции советчика, подсказывающего оперативному персоналу, когда пустить и когда остановить агрегат.

РУСА реализована на основе системы АСОКУ производства компании ООО НВФ "Сенсоры,

модули, системы". АСОКУ включена в реестр Российского ПО как платформа для создания гибких масштабируемых диспетчерских систем (<https://sms-a.ru/solutions/asoku/>).

В перспективе, когда будут утверждены и согласованы все уставки вновь создаваемой системы, РУСА может стать управляющей системой и снять с оперативного персонала эти функции. Однако до этого она может служить системой для интерактивных тренировок и повышения квалификации персонала ГЭС.

В основе оценки квалификации лежит основной критерий эффективности ГЭС [4], состоящий из суммы значений эффективности гидроагрегатов, определяемой разницей произведенной энергии и потенциально возможной энергией при максимальном КПД на одинаковом объеме воды с фиксированным напором (1):

$$E_{\text{эс}} = \sum_{i=1}^N (\mathcal{E}_{\text{ГЭ}i} - \mathcal{E}_{\text{ГЭ}i}^{\text{omn}}), \text{ где } \mathcal{E}_{\text{ГЭ}i} = \int P_{\text{ГЭ}i} dt, \quad (1)$$

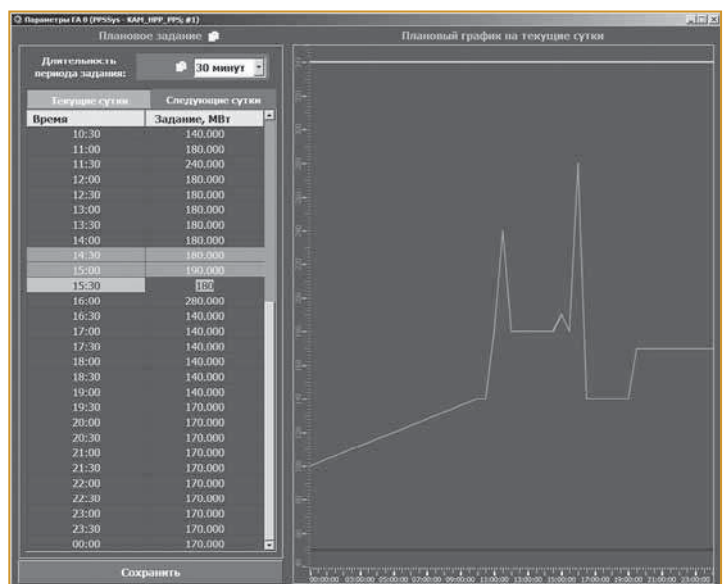


Рис. 1. Пример суточного диспетчерского графика ГЭС

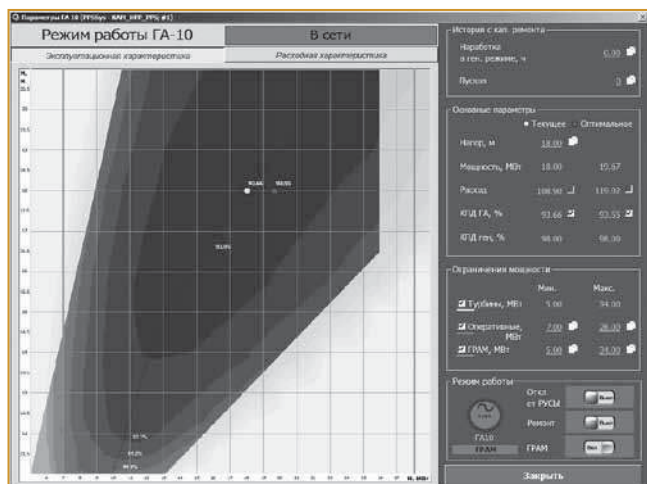


Рис. 2. Параметры гидроагрегата

где dt — время, в течение которого оценивается эффективность, N — число агрегатов на ГЭС, $P_{ГAi}$ — текущая мощность i -го агрегата в момент времени dt , $\mathcal{E}_{ГAi}^{opt}$ — оптимальная энергия i -го агрегата, произведенная на том же объеме воды при максимальном КПД для данного напора.

Традиционно обучение предполагает наличие инструктора (руководителя обучения) и обучаемого.

В сценарии обучения оперативного персонала инструктор формирует контрольный отрезок планового графика (например, 3 часа) с использованием экранной формы, представленной выше, определяет начальный состав агрегатов, и задает ограничения по каждому агрегату. Обучаемый в режиме моделируемого времени на модели осуществляет выбор состава агрегата, при этом системой автоматически ведется подсчет эффективности ГЭС от выбранного состава. На результирующую оценку оказывает влияние несколько факторов: суммарная эффективность ГЭС за заданное время, число изменений состава агрегатов, отклонение по выработке, сумма отклонений от планового задания. Для ускорения прохождения задания обучаемый имеет возможность ускорить темп модельного времени. В режиме экзамена инструктор, экзаменатор дает контрольное задание и получает отчет о выполнении задания обучаемым. В режиме самообучения оператор может самостоятельно выбирать состав и правила поддержания необходимой мощности, более того, оператор имеет возможность видеть рекомендации, выдаваемые системой рационального управления составом агрегатов, и воспроизводить различные ситуации. Режим самообучения полезен не только для оперативного персонала, но и для служб эксплуатации, которые имеют возможность исследовать алгоритмы системы группового регулирования активной мощности ГРАМ ГЭС в различных модельных ситуациях, а не только на реальном оборудовании.

Моделирование гидроагрегата

Для моделирования каждого гидроагрегата используются функции, описывающие его расходную

и эксплуатационную характеристики. Последняя представляет зависимость КПД агрегата от его мощности и напора, с учетом ограничений по напору для данной ГЭС и ограничений по мощности для турбины. Кроме того, в модели гидроагрегата введен признак режима работы: групповой или индивидуальный. В групповом режиме работы агрегат получает задание от системы ГРАМ ГЭС, в индивидуальном — задание задается вручную оператором. Модель имитирует исполнение задания с небольшой задержкой, заданной пользователем. Для каждого агрегата может быть задан режим работы.

Экранная форма с параметрами гидроагрегата представлена на рис. 2. Параметры с символом подчеркивания доступны для оперативного изменения. Основную часть мнемосхемы занимает эксплуатационная характеристика агрегата в графическом виде, с линиями ограничений мощности по турбине (белые вертикальные линии) и линиями оперативного ограничения мощности по агрегату (красные вертикальные линии). Кроме того, представлена детальная информация по агрегату, используемая для расчета в алгоритме системы РУСА: число пусков и наработка агрегатов в генераторном режиме, значения активной мощности — текущее (в настоящий момент) и оптимальное для заданного напора, напор на агрегате, расход воды через турбину и оптимальный расход воды при работе агрегата на максимальном КПД при данном напоре, КПД турбины, генератора, ограничения мощности по турбине и заданные оперативно.

Моделирование системы группового регулирования активной мощностью ГЭС

Модель включает два варианта функции распределения активной мощности: по равенству мощностей и по долевым равенствам диапазонов.

Равенство мощностей достигается следующим алгоритмом: делится нераспределенное задание на число агрегатов, на основе этого формируется поагрегатное задание с учетом их ограничений, зон нежелательной работы. Разница между ограничением и заданием агрегата распределяется поровну по остальным агрегатам, находящимся не на ограничении; если все задание распределено — завершаем алгоритм. Если все агрегаты на ограничении, задание не может быть выполнено. Если часть агрегатов на ограничении, а остальные имеют диапазон регулирования, то возвращаемся к началу алгоритма.

Долевое равенство диапазонов агрегатов рассчитывает имеющийся диапазон регулирования по ГЭС и вычисляет коэффициент, который затем применяется ко всем агрегатам:

$$DP = \sum_{i=1}^N (P_{max_{ГAi}} - P_{min_{ГAi}}), \alpha = \frac{P_{ГРАМ} - \sum_{i=1}^N P_{min_{ГAi}}}{DP}$$

$$P_{ГAi} = \alpha * (P_{max_{ГAi}} - P_{min_{ГAi}}) + P_{min_{ГAi}}, \quad (2)$$

где DP — диапазон регулирования мощностью ГЭС на данный момент, $P_{ГРАМ}$ — полное задание системы

ГРАМ, $P_{min_{ГЭА}}$, $P_{max_{ГЭА}}$ — минимальной и максимальное значение мощности (ограничения) i -го агрегата в данный момент времени соответственно, α — универсальный коэффициент.

Основная экранная формы системы обучения представлена на рис. 3 и разделена на две большие части по горизонтали: верхняя — рекомендательная и нижняя — описывающая исходное (оптимизируемое, модельное) состояние ГЭС.

Рекомендательная часть основной экранной формы разделена по вертикали на несколько логических сегментов: итоговая (интегральная) рекомендация, рекомендация на текущий момент времени, рекомендации в перспективе планового графика.

В модельной части находятся мнемознаки гидроагрегатов, отображающие режимы работы агрегата: (не) готовность к пуску, пуск, (аварийный) останов, в сети (генераторный режим) или ремонт. Непосредственно под индикатором режима агрегата расположен транспарант режима управления агрегата: индивидуальный или групповой (от ГРАМ). Ниже приведены основные параметры агрегата: текущие и оптимальные для данного напора. По клику левой кнопкой мыши на мнемознак агрегата открывается всплывающее окно с детальной информацией по агрегату (рис. 2).

Результат обучения отображается в рекомендательной части экранной формы в разделе “Итоги за смену”, также по окончании обучения формируется отчет (рис. 4).

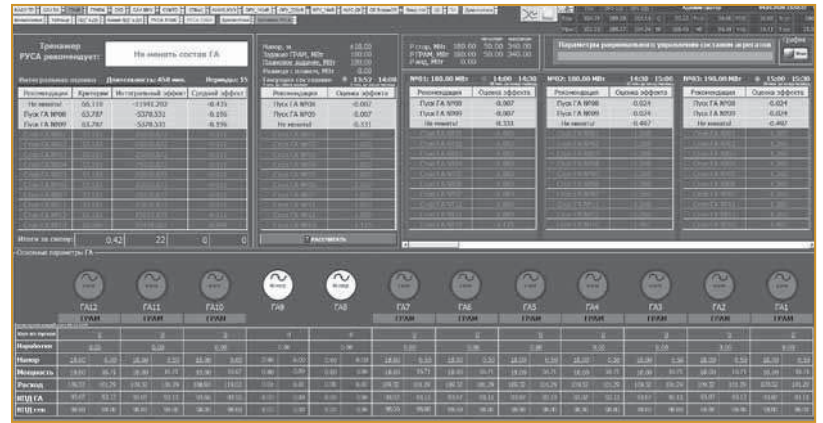


Рис. 3. Основная экранная форма модели в режиме самообучения

| Показатели за смену | | Значение* |
|---|-------|-----------|
| Параметр | | |
| Разница оценок потенциальных потерь за смену | | |
| Оценка потенциальных потерь за смену при следовании рекомендациям РУСА, МВт | -4.56 | 0.76 |
| Оценка потенциальных потерь за смену, МВт | -5.32 | |
| Количество минут действия рекомендаций | | 33 |
| Количество минут действия непринятых рекомендаций | | 16 |
| Количество минут действия предупреждения о выходе за диапазон | | 36 |

*вычисления рекомендаций происходят ежеминутно

Рис. 4. Отчет за смену

Заключение

В статье предложена система обучения персонала ГЭС на основе моделей ГА и системы ГРАМ и РУСА, которая позволяет:

- снизить технологические риски за счет:
 - сокращения числа ошибок планирования, использования состава агрегатов;
 - повышения квалификации персонала и как следствие — сокращения времени на типовые операции, на основе интерактивного обучения, моделирующего поведение ГЭС при разных составах агрегатах, разных режимах работы агрегатов и на разных напорах ГЭС;
 - повышения производственной культуры сотрудников предприятия за счет более глубокого понимания зон ответственности и функциональности систем;
- повысить эффективность работы ГЭС;
- повысить инвестиционную привлекательность за счет создания демонстрационных стендов и маркетинговых материалов.

Захарченко Виталий Евгеньевич — канд. техн. наук, начальник отдела программирования, Дубов Илья Алексеевич — инженер отдела программирования, ООО НВФ "Сенсоры. Модули. Системы". Контактный телефон +7(846) 993-83-83 (1310). E-mail: vitaliy.zakharchenko@sms-a.ru http://смс.рф