

# Алгоритм расчета резерва мощности ГЭС с учетом водохозяйственных ограничений

Семенов А.А., Васильев А.С.  
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет»  
Томск, Россия

## 1. Введение

В настоящее время методики, позволяющей одновременно учитывать водохозяйственные ограничения и рассчитывать резервы мощности для их использования в текущем режиме, нет. ПО ВЭР Ангаро-Енисейского каскада и методика расчета фактического резерва мощности, являются наиболее близкими методиками, позволяющими, совместно, решать задачу расчета резерва с учетом водохозяйственных ограничений, однако методика фактического резерва мощности ГЭС (ФРМГ) позволяет рассчитывать резервы мощности на предыдущие сутки, что не позволяет использовать ее при планировании режимов ГЭС. Исходя из вышеуказанного, актуальной задачей при формировании балансов мощности является оценка реализуемости имеющегося на ГЭС резерва мощности при соблюдении данным объектом комплексного использования гидроресурсов всех водохозяйственных требований.

## 2. Алгоритм расчета резерва мощности с учетом водохозяйственных ограничений

Для оценки возможности перераспределения объемов воды в каскаде ГЭС с целью выработки дополнительной мощности, необходимо определить свободные объемы водохранилищ каскада ГЭС. Свободным объемом водохранилища ГЭС является разница объемов между фактическим объемом воды и объемом воды соответствующим отметке нормального подпорного уровня (НПУ). Также при распределении объемов необходимо учитывать ограничения по уровню воды в водохранилище установленное правилами использования водных ресурсов (ПИВР) [1].

### 2.1 Определение величины свободного объёма

Свободный объём вычисляется относительно отметки НПУ плотины, при решении задачи создания резерва, либо относительно отметки водохозяйственного ограничения, при решении задачи реализации резерва.

$$W_{св.НПУ} = W_{НПУ} - W_0,$$

или

(1)

$$W_{св.ПИБР} = W_{ПИБР} - W_0,$$

здесь  $W_{св.НПУ}$  – свободный объём в сторону НПУ;  $W_{св.ПИБР}$  – свободный объём в сторону ограничения ПИБР;  $W_{ПИБР}$  – объём, соответствующий ближайшему водохозяйственному ограничению;  $W_0$  – объём, соответствующий начальному уровню верхнего бьефа.

По результатам расчетов формируется таблица, куда заносятся полученные свободные объемы для каждой ГЭС каскада.

## 2.2 Расчет времени создания или реализации резерва мощности

Относительно свободных объемов и таблицы расходов рассчитываются предполагаемые времена использования данных объемов, которые позволяют оценить длительность режима, при изменении дельты расходов между общим притоком и расходом воды ГЭС каскада.

$$t_{рез.i} = \frac{W_n \cdot 10^9}{\Delta Q_{ср.i} \cdot 86400}, \quad (2)$$

где  $t_{рез.i}$  – время создания или реализации объема резерва мощности;  $\Delta Q_{ср.i}$  – средняя дельта расхода за интервал расчета, принятая из таблицы дельт расходов.

По результатам расчетов формируется таблица, куда заносятся полученные времена использования свободных объемов воды для каждой ГЭС каскада.

За вышеуказанной обработкой расчета следует ВЭР, по результатам которого, корректируется время создания или реализации резерва мощности, вследствие ограничений по расходам воды в нижний бьеф или наличия сетевых ограничений, которые так же ограничивают расходы.

## 2.3 Проверка на ограничения по расходам воды

Для каждого интервала расчета максимальная дельта расхода принимается, как минимальная из дельт расходов относительно ограничений.

$$\Delta Q_{макс.огр.}(i) = \min \{ \Delta Q_{ПИБР}(i), \Delta Q_{ВЭР}(i), \Delta Q_{МДП}(i) \}, \quad (3)$$

Здесь  $\Delta Q_{ПИБР}(i) = Q_{огр.ПИБР}(i) - Q_{НБ}(i)$  – дельта расхода относительно ограничения ПИБР;  $\Delta Q_{ВЭР}(i) = Q_{раз.ВЭР}(i) - Q_{НБ}(i)$  – дельта расхода относительно разрешенного БВУ расхода в нижний бьеф;  $\Delta Q_{МДП}(i) = Q_{МДП}(i) - Q_{тур}(i)$  – дельта расхода относительно расхода, соответствующего МДП в схеме выдачи ГЭС.

Если выполняется условие  $\Delta Q_{cp.i}(i) > \Delta Q_{макс.огр.}(i)$ , то для данного расчетного интервала средняя дельта расхода приравнивается значению максимальной дельты расхода.

По итогам корректировки дельт расходов для каждого интервала, пересчитывается средняя дельта расхода за весь интервал расчета и соответствующее ему время использования свободного объема воды.

Для проведения расчетов по апробированию алгоритма было использовано следующее ПО:

- ПО «ВЭР ГЭС Ангаро-Енисейского каскада»;
- Microsoft Excel.

Исходные данные для проведения расчетов принимались из Базы фактических режимов для ПО ВЭР, Правил использования водных ресурсов (ПИВР) и Положения по управлению режимами (ПУР).

### 3. Вычислительный эксперимент

Для данного расчета была поставлена следующая задача: оценка возможности компенсации разгрузки Березовской ГРЭС (450 МВт) за счет ГЭС Ангарского каскада в первой декаде месяца в течение 3 дней с сохранением фактических отметок по уровню верхнего бьефа (ВБ) Усть-Илимской ГЭС к концу месяца.

На период с 01 мая по 19 мая 2015 года Енисейским БВУ установлен следующие среднесуточные сбросные расходы Иркутского (1300 м<sup>3</sup>/с), Усть-Илимского (2100–2700 м<sup>3</sup>/с) и Богучанского (2500–2600 м<sup>3</sup>/с) гидроузлов.

На период с 20 мая по 3 июня 2015 года Енисейским БВУ установлен следующие среднесуточные сбросные расходы Иркутского (1300 м<sup>3</sup>/с), Усть-Илимского (2100–2700 м<sup>3</sup>/с) и Богучанского (2900–3100 м<sup>3</sup>/с) гидроузлов.

Расходы воды, используемые в расчете, представлены в таблице 1. Результаты обработки объемов водохранилищ ГЭС Ангарского каскада представлены в таблице 2.

Таблица 1. Таблица расходов

Q <sub>1</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>2</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>3</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>4</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>5</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>6</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>7</sub> , м <sup>3</sup> /с	Q <sub>8</sub> , м <sup>3</sup> /с
50	100	150	200	250	500	600	700

Таблица 2. Результаты обработки объемов

ГЭС	Z <sub>ВБ0</sub> , м	W <sub>0</sub> , км <sup>3</sup>	Z <sub>НПУ</sub> , м	W <sub>НПУ</sub> , км <sup>3</sup>	Z <sub>огр.ПВР</sub> , м	W <sub>ПВР</sub> , км <sup>3</sup>	W <sub>св. НПУ</sub> , км <sup>3</sup>	W <sub>св.ПВР</sub> , км <sup>3</sup>
БрГЭС	396,12	140,69	402,5	175,2	-	-	34,51	-

Продолжение таблицы 2.

УИГЭС	295,08	57,21	296,6	58,93	-	-	1,72	-
БоГЭС	206,99	55,89	209,5	58,22	-	-	2,319	-

Таблица 3. Предполагаемые времена реализации объёмов в сторону НПУ

ГЭС	Отметка	$t_{рез}$ при $Q_1$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_2$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_3$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_4$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_5$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_6$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_7$ , сут	$t_{рез}$ при $Q_8$ , сут
ИрГЭС	НПУ	5833	2917	1944	1458	1167	583	486	417
БрГЭС		7988	3994	2663	1997	1598	799	666	571
УИГЭС		398	199	133	100	80	40	33	28
БоГЭС		537	268	179	134	107	54	45	38

Как видно из таблицы 3, увеличение расходов в течение 3 дней возможно на величину более 700 м<sup>3</sup>/с. Для оценки возможности загрузки станций ГЭС относительно сетевых ограничений и разрешенного БВУ расхода проводится водно-энергетический расчет [2]. Для наглядности, результаты расчетов приведены в графическом виде.

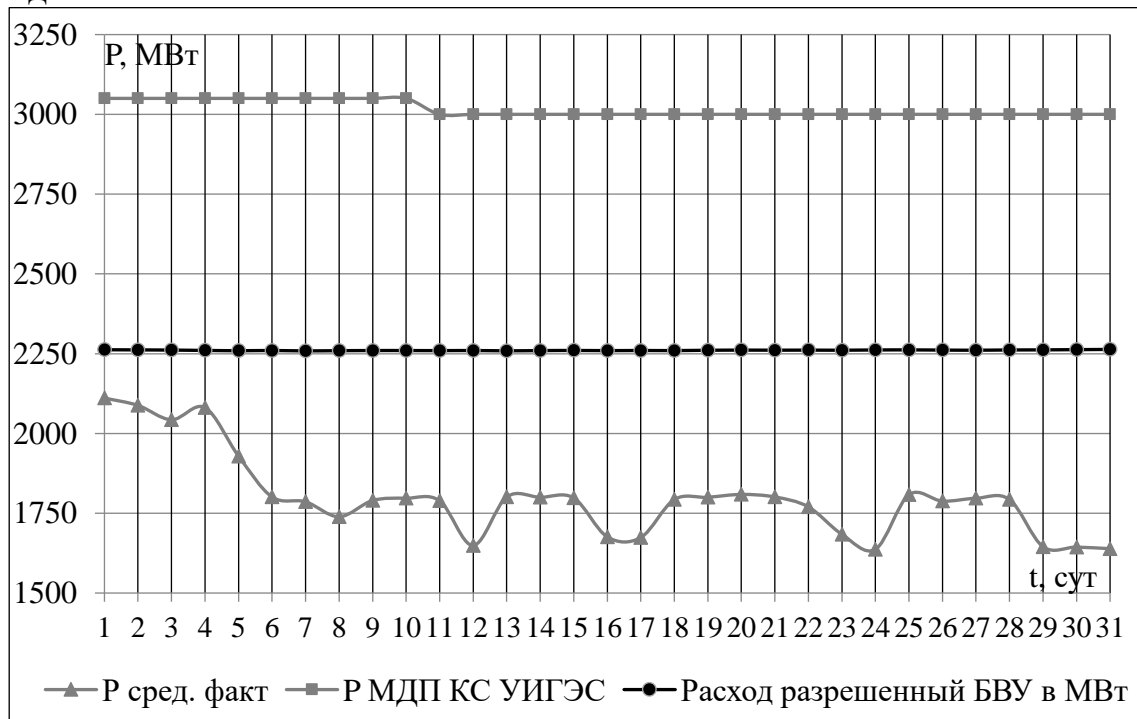


Рисунок 2 – Фактическая мощность Усть-Илимской ГЭС и сетевые ограничения

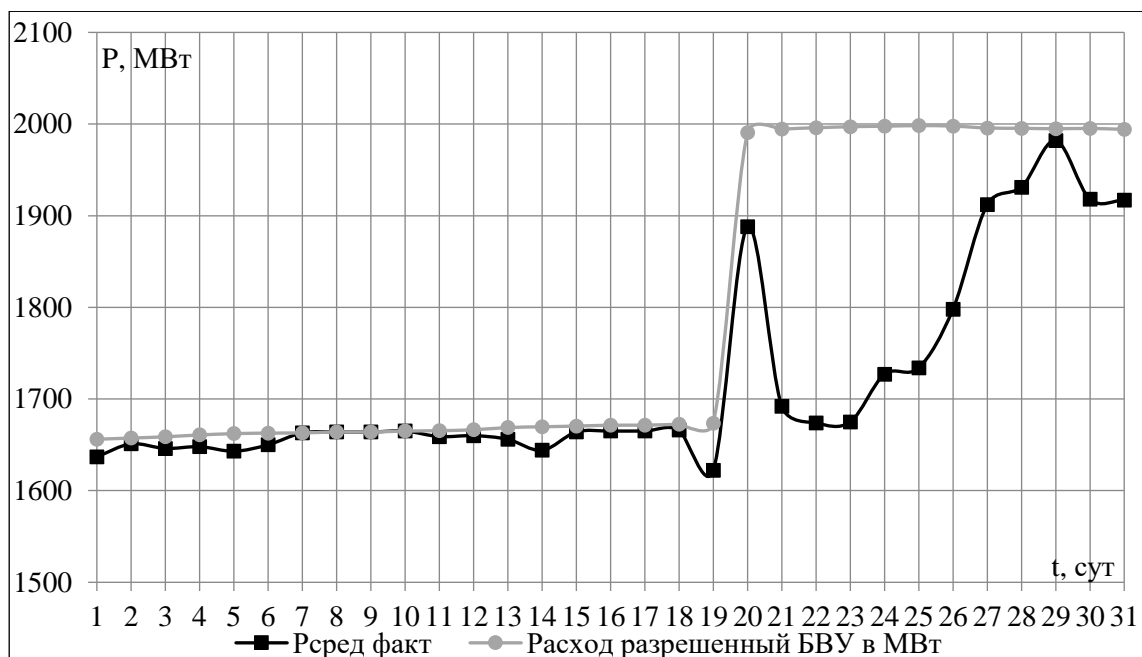


Рисунок 3 – Фактическая мощность Богучанской ГЭС и сетевые ограничения

Из результатов расчетов видно, что компенсация отключения блока Березовской ГРЭС возможна за счет загрузки Братской и Усть-Илимской ГЭС. Загрузка Богучанской ГЭС невозможна, в связи ограничением по расходу разрешенным БВУ. Смоделируем данный режим, приняв за дни загрузки Братской и Усть-Илимской ГЭС 7, 8 и 9 число месяца. При этом, необходимая для компенсации мощность распределяется равномерно между ГЭС, для сохранения фактических отметок ВБ Усть-Илимской ГЭС на конец месяца.



Рисунок 4 – Сопоставление заданного графика нагрузки активной мощности с фактическим

#### 4. Результаты

Разработанный алгоритм расчета резерва мощности с учетом водохозяйственных ограничений за счет обработки свободных объемов водохранилищ каскада относительно ограничений и расчета времен использования этих объемов позволяет оценивать возможные изменения текущего режима, с целью выработки дополнительной мощности или наоборот разгрузки ГЭС каскада. Также в алгоритме учтена возможность корректировки фактической дельты расходов и времени реализации свободного объема, вызванной наличием сетевых ограничений и ограничений по расходу воды, которые невозможно было учесть при начальной обработке свободных объемов и времен их реализации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС : утверждены приказом Федерального агентства водных ресурсов от 20 ноября 2015. – Москва : 2015. – 118 с.
2. Никитин, С.Н. Основы водно-энергетических расчетов / С.Н. Никитин. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 431 с.

Научный руководитель: А.С. Васильев, к.т.н., доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».