

О. В. КОСТЮК, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»;

В. А. КНЫШ, ст. преподаватель НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАСКАДА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

У статті розглядається задача математичного моделювання гідроенергетичної системи в умовах нестационарного річкового стоку. Отримана математична модель каскаду гідроелектростанцій для аналізу динамічних процесів основних водноенергетичних показників ГЕС. Проведено імітаційне моделювання на прикладі каскаду двох ГЕС.

В статье рассматривается задача математического моделирования гидроэнергетической системы в условиях нестационарного речного стока. Получена математическая модель каскада гидроэлектростанций для анализа динамических процессов основных водноэнергетических показателей ГЭС. Проведено имитационное моделирование на примере каскада двух ГЭС.

This paper presents a mathematical design problem for hydraulic power system in the non-stationary river flow conditions. The coordinated hydroelectric system mathematical model for the dynamic processes analysis of basic water-power HPP indexes is received. A simulation on the example of two HPP cascade is conducted.

Введение. Усложнение задач эксплуатации ГЭС вследствие непрерывного повышения требований, которые vyplывают из условий напряженности водного и топливно-энергетического балансов, а также обеспечения надежности гидроэнергетических систем требует применения новых подходов к решению проблемы. Именно поэтому возникает необходимость в разработке и применении методов математического моделирования основных процессов сложных гидроэнергетических систем как основы для решения различных задач планирования и управления их работой [1]. Методики математического моделирования систем «водохранилище-плотина-река» были предложены в [2, 3]. Различные подходы к решению задач математического моделирования и оптимального планирования работы гидроэнергетических систем с каскадами водохранилищ рассматривались в работах [4–6]. Цель статьи состоит в разработке математической модели каскада гидроэлектростанций для анализа динамики основных водноэнергетических показателей, а также для решения последующих задач оптимального расхода воды через гидросистему с учетом гидрологических ограничений.

Построение математической модели ГЭС в структуре каскада. Динамика изменения уровня воды в водохранилище каскада определяется балансом притока и расхода воды, в том числе неуправляемого стока и утечек и управляемого водосброса и расхода через гидротурбины:

$$\lambda_i \dot{x}_i(t) = q_{i-1}(t) + f_i(t) - q_i(t), \quad (1)$$

где $x_i(t)$ – текущее значение объёма воды в гидросистеме (i) (м^3);

λ_i – коэффициент, связывающий скорость изменения объёма воды с изменением расхода воды в нижнем бьефе;

$q_{i-1}(t)$ – регулируемый приток к створу ГЭС (регулируемый расход водохранилища ($i-1$)) ($\text{м}^3/\text{с}$);

$q_i(t)$ – управляемый расход воды в нижнем бьефе;

$f_i(t)$ – неуправляемые притоки и расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$).

С другой стороны, остальные водноэнергетические показатели ГЭС – уровень верхнего бьефа и напор – связаны с объёмом воды в гидросистеме функциональной зависимостью, которую при некоторых допущениях можно рассматривать в виде линейной. Тогда справедливо соотношение:

$$\alpha_i \dot{h}_i(t) = q_{i-1}(t) + f_i(t) - q_i(t), \quad (2)$$

где $h_i(t)$ – текущее значение напора воды ГЭС (i) (м);

α_i – коэффициент, связывающий скорость изменения напора воды с изменением расхода воды в нижнем бьефе.

Относительные напор и расход в гидросистеме связаны между собой уравнением:

$$\tilde{q}_i(t) = \mu_i(t) f[\tilde{h}_i(t)] \approx \mu_i(t) \sqrt{1 + \tilde{h}_i(t)}, \quad (3)$$

где $\tilde{q}(t) = \frac{q(t)}{q_n}$ – относительное значение расхода через турбину;

$\tilde{h}(t) = \frac{h(t) - h_n}{h_n}$ – относительное изменение напора;

q_n , h_n – расчётные значения расхода и напора соответственно;

$\mu_i(t)$ – относительное положение затвора (регулирующего воздействия – направляющего аппарата турбины).

Производство электроэнергии гидроэлектростанцией (i) описывается выражением:

$$Ph_i(t) = \rho_i \cdot q_i(t) h_i(t), \quad (4)$$

где ρ_i – коэффициент пропорциональности производимой электроэнергии произведению расхода и напора.

Модель каскада Нурекской и Байпазинской ГЭС. На основе данных основных водноэнергетических показателей Нурекской и Байпазинской ГЭС

и модели (2–4) представим модель каскада Нурекской и Байпазинской ГЭС, структурная схема которого представлена на рис. 1.

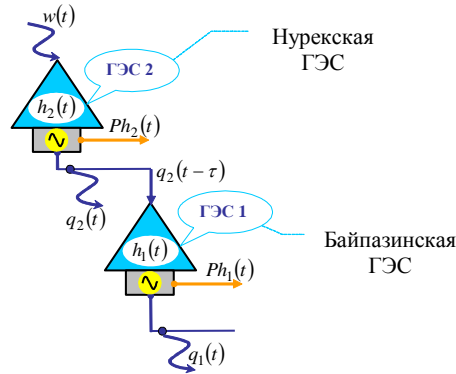


Рис. 1 – Структурная схема каскада ГЭС

Учитывая режимы работы каждой ГЭС, уравнения напоров каждой ГЭС модели каскада имеют вид:

$$\alpha_1 \dot{h}_1(t) = q_2(t - \tau) - q_1(t), \quad \alpha_2 \dot{h}_2(t) = w(t) - q_2(t), \quad (5)$$

где $h_i(t)$ – текущее значение напора воды ГЭС (i) (м);

α_i – коэффициент, связывающий скорость изменения напора воды с изменением расхода воды в нижнем бьефе;

$q_i(t)$ – расход воды i -го водохранилища;

τ – запаздывание, определяемое по расстоянию между водохранилищами каскада при известной средней скорости течения реки;

$w(t)$ – неуправляемый приток к створу Нурекской ГЭС;

$i = 1, 2$ – количество водохранилищ в каскаде.

Относительные напоры и расходы каждой ГЭС каскада связаны между собой следующим образом:

$$\tilde{q}_1(t) = \mu_1(t) \sqrt{1 + \tilde{h}_1(t)}, \quad \tilde{q}_2(t) = \mu_2(t) \sqrt{1 + \tilde{h}_2(t)}, \quad (6)$$

где $\tilde{q}_i(t) = \frac{q_i(t)}{q_{ni}}$ – относительное значение расхода ГЭС (i) через турбину;

$\tilde{h}_i(t) = \frac{h_i(t) - h_{ni}}{h_{ni}}$ – относительное изменение напора ГЭС (i);

q_{ni} , h_{ni} – расчётные значения расхода и напора соответственно;

$\mu_i(t)$ – относительное положение затвора.

Производство электроэнергии каждой ГЭС в каскаде описывается уравнениями:

$$Ph_1(t) = \rho_1 \cdot q_1(t)h_1(t), \quad Ph_2(t) = \rho_2 \cdot q_2(t)h_2(t), \quad (7)$$

где ρ_i – коэффициент пропорциональности производимой электроэнергии произведению расхода и напора ГЭС (i).

Таким образом, модель каскада (рис. 1) описывается уравнениями (5-7).

Для восстановления параметров модели динамики напоров (5), содержащей дифференциальные уравнения первого порядка, на основании имеющихся исходных данных водноэнергетических показателей применяется частотный метод [6].

Описание результатов имитационного моделирования. Целью моделирования являлось проведение исследования переходных процессов основных водноэнергетических показателей в модели каскада Нурекской и Байпазинской ГЭС при регулировании расхода в условиях воздействия возмущения речного притока к створу Нурекской ГЭС.

Получим модельные значения основных водноэнергетических показателей Нурекской и Байпазинской ГЭС с учётом режимов их работы в течение 2008 года (работа Нурекской ГЭС в режиме сработки-наполнения водохранилища; работа Байпазинской ГЭС в режиме баланса притоков и расходов воды), то есть с регулированием расходов при воздействии возмущения речного притока к створу Нурекской ГЭС.

Динамика возмущающего воздействия притока и полученные динамические процессы расходов водохранилищ представлены на рис. 2.

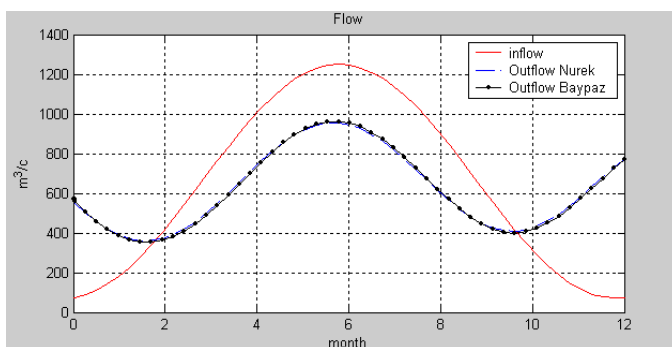


Рис. 2 – Переходные процессы расходов водохранилищ каскада ГЭС

Динамика производства электроэнергии (месячная выработка) представлена на рис. 3.

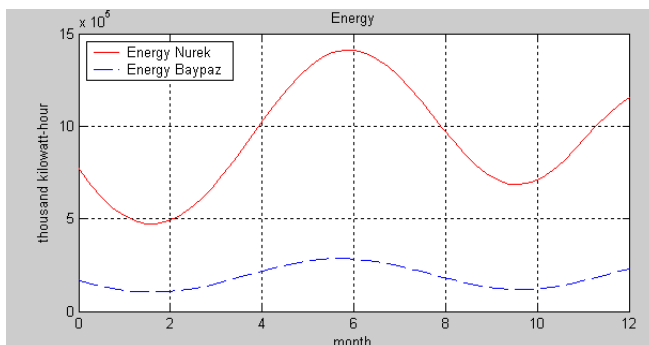


Рис. 3 – Переходные процессы выработки электроэнергии

Результаты моделирования демонстрируют характерные режимы работы каскада Нурекской и Байпазинской ГЭС

Выводы. В работе обоснована возможность применения методов математического моделирования для построения модели каскада гидроэлектростанций с целью анализа динамических процессов основных водноэнергетических показателей ГЭС. Результаты имитационного моделирования подтверждают работоспособность полученной модели на примере каскада Нурекской и Байпазинской ГЭС. Полученная математическая модель может быть использована для решения последующих задач оптимального расхода воды через гидросистему с учетом гидрологических ограничений и внешних воздействий, а также в качестве структурного элемента для моделирования каскада водохранилищ в едином водохозяйственном комплексе и выработки плановых решений в задачах оперативного планирования работы сложной гидроэнергетической системы.

Список литературы: 1. Гидроэнергетика / А. Ю. Александровский, М. И. Кнеллер, Д. Н. Коробова и др.; под ред. В. И. Обрезкова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 608 с. 2. Litrico X. Robust continuous-time and discrete-time flow control of a dam-river system / X. Litrico, D. Georges // Applied Mathematical Modelling – 1999. – N 23. – P. 809–827. 3. Tuszynski K. Hydro Plant – a Modelica Library for Dynamic Simulation of Hydro Power Plants / K. Tuszynski, J. Tuszynski, K. Slättop // The Modelica Association – Modelica 2006, September 4th – 5th. – P. 251 – 257. 4. Naresh R. Two-phase neural network based solution technique for short term hydrothermal scheduling / R. Naresh and J. Sharma // IEE Proc.–Gener. Transm. Distrib., Vol. 146. – No. 6, November. – 1999. – P. 657–663. 5. Glatfelder A. Hydropower reservoir level control: a case study / A. Glatfelder, L. Huser // Automatica – 1993. – Vol. 29. – P. 1203–1214. 6. Любчик Л. М. Разработка математической модели управляемого каскада водохранилищ / Л. М. Любчик, О. В. Костюк, Д. Н. Нурмахматов // Вісник НТУ "ХПІ". – 2007. – № 39. – С. 97–100.

Надійшла до редколегії 08.05.2012