

Прогнозирование базы годовой выработки энергии ГЭС

Баркан Я. Д., доктор техн. наук, Цицмане И., инж.

Рижский технический университет

Прогнозирование годовой выработки энергии ГЭС – важная народнохозяйственная задача, связанная с существенными трудностями. Прогнозирование влияет на бюджет энергосистем, планируемые средние тарифы, является важным при составлении контрактов на межсистемный обмен энергией, а также для определения объемов средств для инвестиций.

Колебания годовой выработки могут компенсироваться накопительными фондами, пополняемыми в многоводные годы и расходуемыми в маловодные, или банковскими займами в маловодные годы.

Задача решается в несколько этапов. Во-первых, приходится ориентироваться на норму стока, соответствующую вероятности в 50%. На следующем этапе прогнозируются месячные выработки энергии для заключения контрактов на ее поставку. Все эти задачи решаются со значительными

трудностями, так что не следует пренебрегать любой возможностью уточнения методик прогнозирования.

Казалось бы, проще всего обстоит дело с ориентацией на норму стока. Обычно для этого используется ее среднемноголетнее значение. Однако, как оказалось, на этом этапе может быть достигнута значительно большая точность, если использовать данные о цикличности стоков. Этой задаче в основном и посвящена настоящая статья.

Хотя задача рассматривается на примере р. Западная Двина (Даугава), она имеет общий характер, так как выяснилось, что похожие циклы присутствуют многим рекам.

Рассматривая процесс в многолетнем аспекте, удобно использовать временные ряды стока в форме отклонений от нормы,

$$\Delta q_i = q_i - q_n,$$

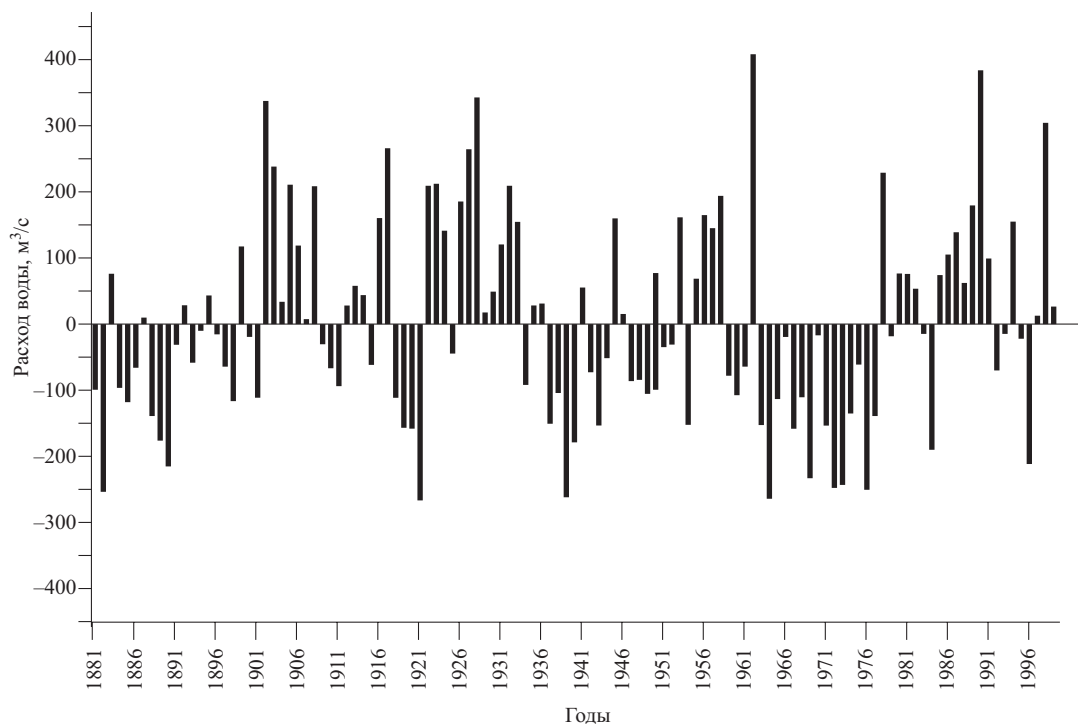


Рис. 1. Отклонения среднегодовых расходов реки от 50%-ной обеспеченности

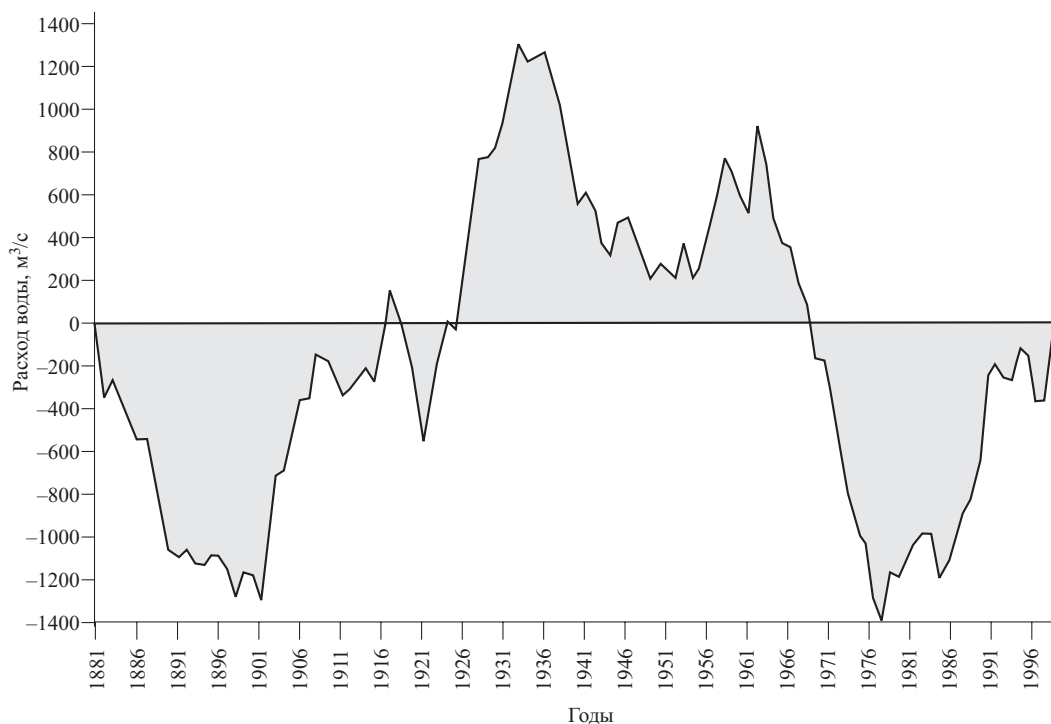


Рис. 2. Интегральные значения отклонений среднегодовых расходов от 50%-ной обеспеченности

где q_i – текущий среднегодовой сток реки; q_n – норма стока (для Даугавы приведена на рис. 1).

Полагая процесс случайным, интеграл отклонений Δq_i должен быть равен нулю на любом длительном отрезке времени

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \Delta q_i dt \approx 0. \quad (1)$$

При определении интегральной функции $Q(t)$ для р. Даугавы получаем кривую (рис. 2), из которой следует, что выражение (1) на достаточно длительных интервалах времени не удовлетворяется. По внешнему виду $Q(t)$ ясно, что процесс имеет существенную неслучайную составляющую.

Это в основном периодическая функция, содержащая за время наблюдений в 120 лет три цикла, порядка 44 лет каждый (последний цикл завершится в ближайшие годы). Хотя циклы, естественно, содержат случайные наслоения, их конфигурация на удивление однородна. Так, первый и второй циклы имеют одинаковую длительность примерно в 44 года. Амплитуды всех трех циклов практически одинаковы и равны двум среднегодовым нормам. Циклы делятся на четыре части, примерно по 11 лет каждая. Так, для второго цикла, первые 11 лет – влажные годы и сток повышенный. В течение следующих 11 лет – сухой период и сток пониженный. В следующие 11 лет – средняя влажность и сток в среднем соответствуют норме. Четвертый период имеет сложный характер, обусловленный спонтанными колебаниями стока. Для выявления

характера этого периода наблюдений еще недостаточно.

Учитывая, что два смежных цикла находятся в противофазе, полный цикл процессов завершается за 88 – 92 года, т.е. приходится иметь дело с вековыми циклами стока рек.

То обстоятельство, что сток реки имеет столь явную закономерную составляющую, имеет большое практическое значение для энергетики. Поэтому представляет интерес выяснить, сколь часто с этим явлением приходится встречаться. Известно [1], что в 1890 г. Э. Брикнер опубликовал материалы о вековых циклических явлениях, зависящих от погоды, в развитии швейцарских ледников. В [2] приведены данные о вековых одинаковых циклических явлениях стока рек восточного склона Балтийского моря: Невы, Вуоксы, Даугавы, Венты и Немана, а также влияние этих явлений на большие озера региона – Ладогу, Чудское, Виртсарве, Буртниеку, подобные циклы имеются на Днепре.

Учитывая, что уже имеется достаточно большая информация о циклических явлениях, становится актуальной задача разработки методики ее использования в планировании работы ГЭС и оценке проблем, связанных с непрогнозируемыми неравномерностями годовой выработки энергии. Методика разработана на примере ГЭС Даугавы. В первую очередь, необходимо выяснить соотношения между циклами и нормой стока (обеспеченность 50%), а также оценить возможности повышения точности прогнозирования стока.

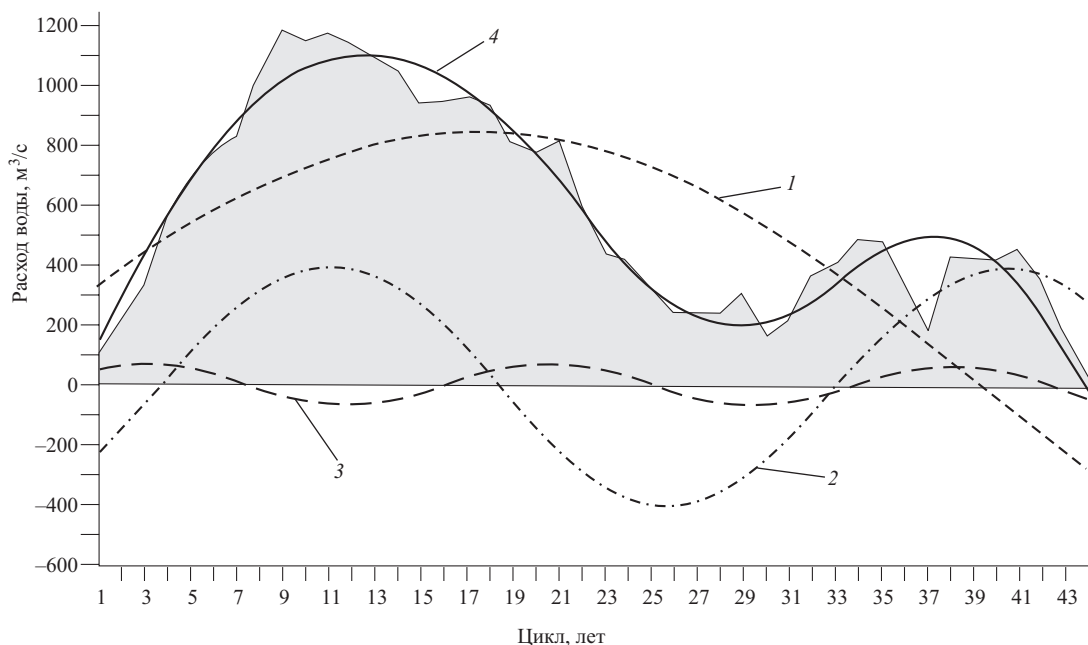


Рис. 3. Спектральный анализ усредненного интегрального цикла:

1 – первая гармоника; 2 – третья гармоника; 3 – пятая гармоника; 4 – аппроксимирующая функция

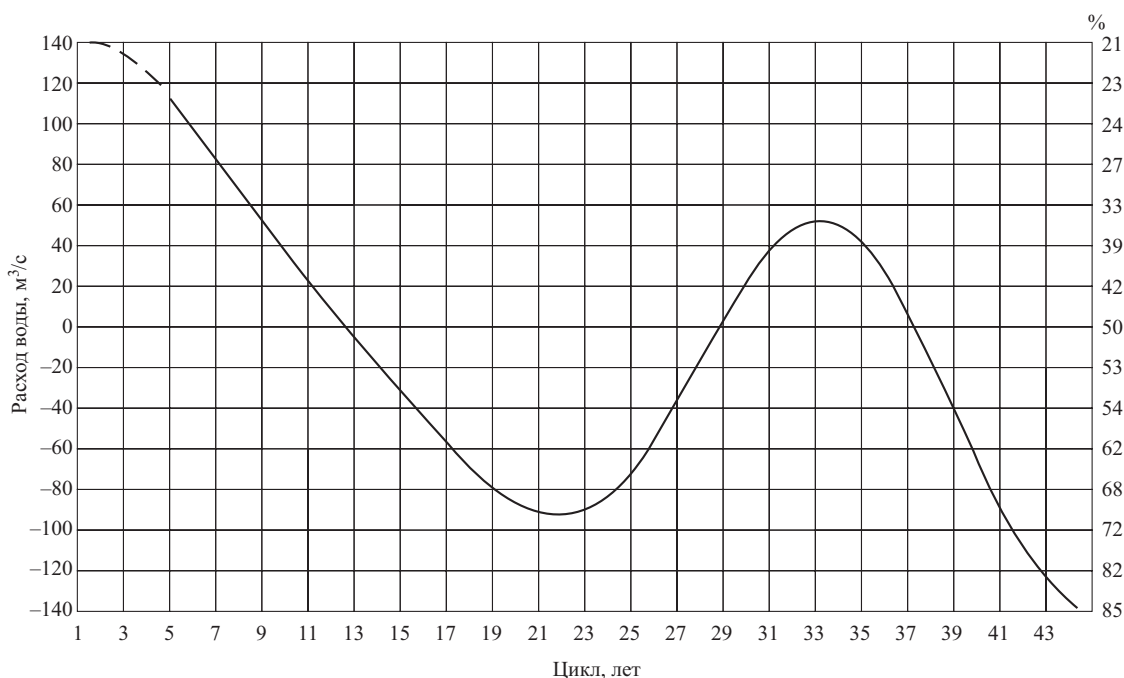


Рис. 4. Производная аппроксимирующей кривой интегрального цикла, образующая норму отклонения стока в пределах цикла и данные в единицах среднегодовой обеспеченности

Для этого необходимо уяснить что из себя представляет величина $Q(t)$ на участках, где она не равна нулю. Очевидно, что

$$\Delta q = \frac{dQ(t)}{dt} \quad (2)$$

является присущей данному временному интервалу нормой стока.

Для дальнейшего анализа характера циклов осредняем их значения. На рис. 3 приведен средний цикл для имеющихся наблюдений, который подвергается гармоническому анализу с помощью разложения в ряд Фурье. Процесс достаточно хорошо описывается первой и третьей гармониками.

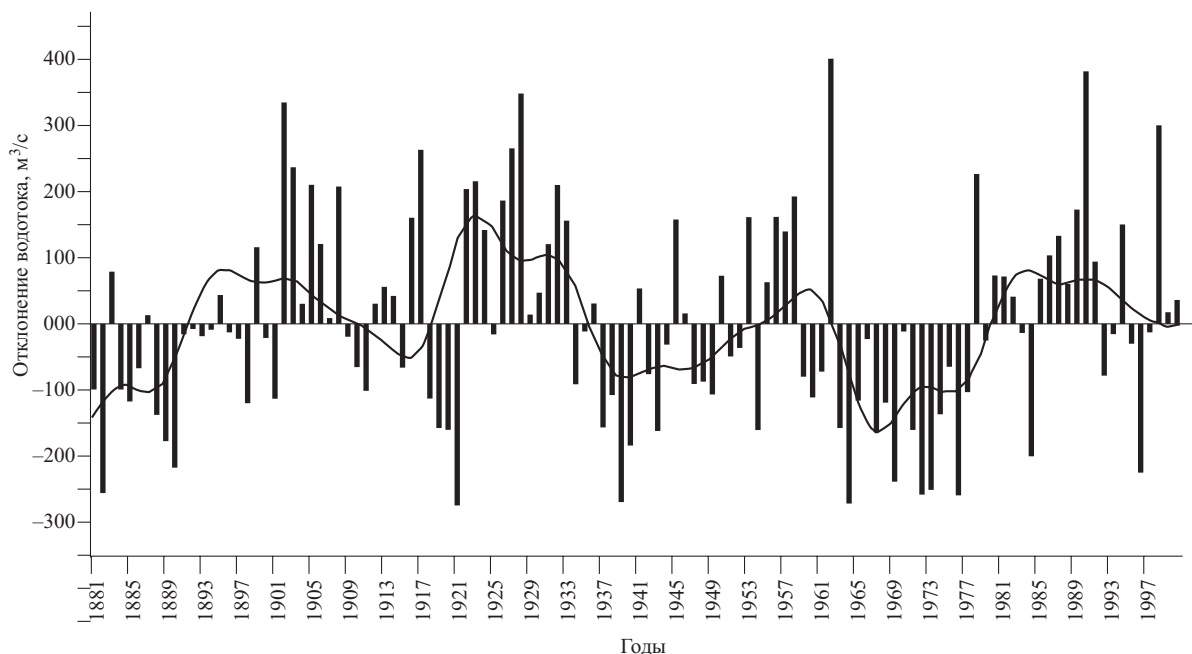


Рис. 5. Ретроспективные прогнозируемые расходы на фоне фактических значений

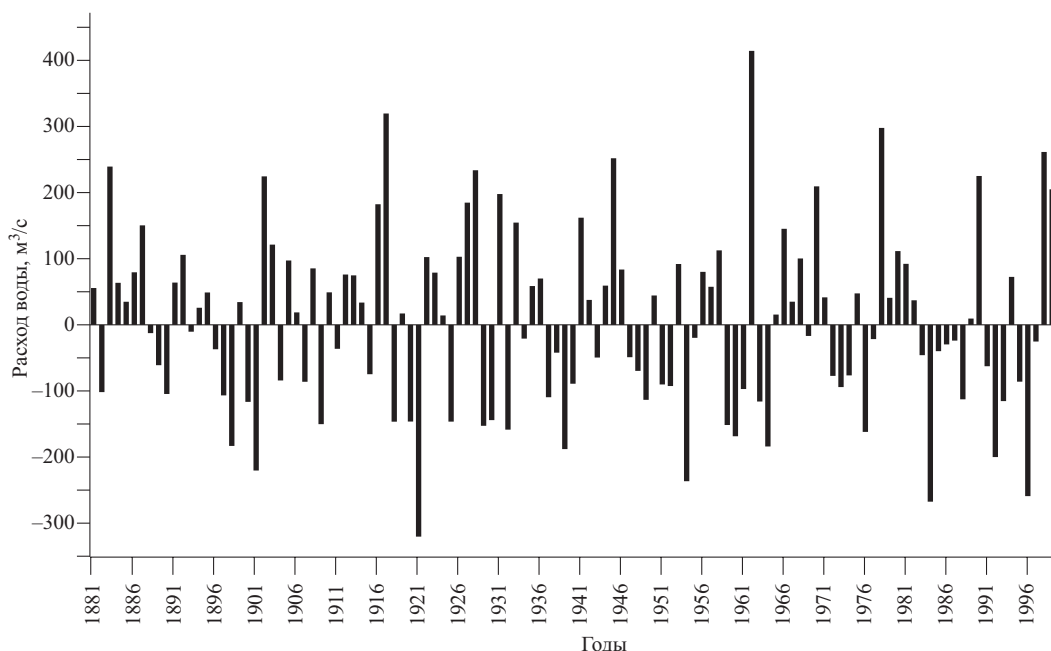


Рис. 6. “Остаток” среднегодовых расходов, образующийся после вычитания периодической составляющей

Доля высших гармоник незначительна. В методике используется аппроксимирующая кривая, обусловленная значимыми гармониками. Этой кривой соответствуют определенные среднегодовые стоки реки в качестве производной интегральной кривой, приведенной на рис. 4, которая является нормой стока, изменяющейся во времени. Из рис. 4 видно, что текущая норма стока изменяется в единицах среднемноголетней величины от 25 до 75%, что существенно меняет базу планирования годовой выработки ГЭС.

Использование этой, изменяющейся во времени, нормы стока позволяет осуществлять прогнозирование стока с точностью, значительно большей, чем при ориентации на среднемноголетнюю норму.

В дальнейшем необходимо детерминированную составляющую стока вычленив из временного ряда наблюдений. Если проверить наличие высших гармоник в рамках не всего времени, а в пределах отдельных циклов, то оказывается, что наблюдаются дополнительные третьи или пятые гармоники, которые по отношению к общим

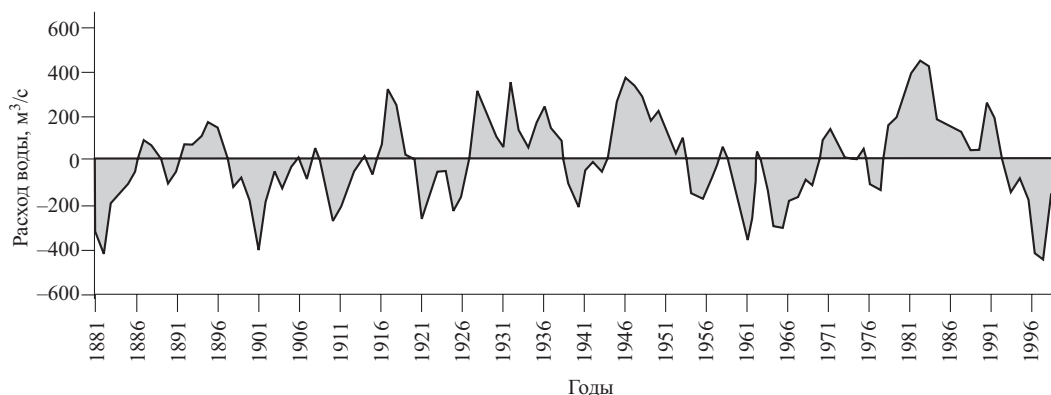


Рис. 7. Интегральные значения отклонений среднегодовых расходов для “остатка” временного ряда

гармоникам могут иметь другие амплитуды и быть сдвинутыми по фазе. Их учет может дополнительно повысить точность прогнозирования на 10%.

В качестве примера использования модели прогнозирования на основе осредненного цикла на рис. 5 приведен результат ретроспективного прогнозирования отклонений стока на фоне фактических значений их отклонений от нормы. Очевидно, что полученный результат по точности несопоставим с ориентацией на среднемноголетнюю норму.

После удаления детерминированной составляющей из временного ряда возникает “остаток” процесса (рис. 6), интегральная функция которого приведена на рис. 7. Нетрудно убедиться, что в отличие от приведенного на рис. 2 процесс имеет высокочастотный характер со средним периодом около 4 лет (рис. 8). На первый взгляд, может показаться, что процесс полностью случайный. Однако, как следует из дальнейшего, это не совсем так.

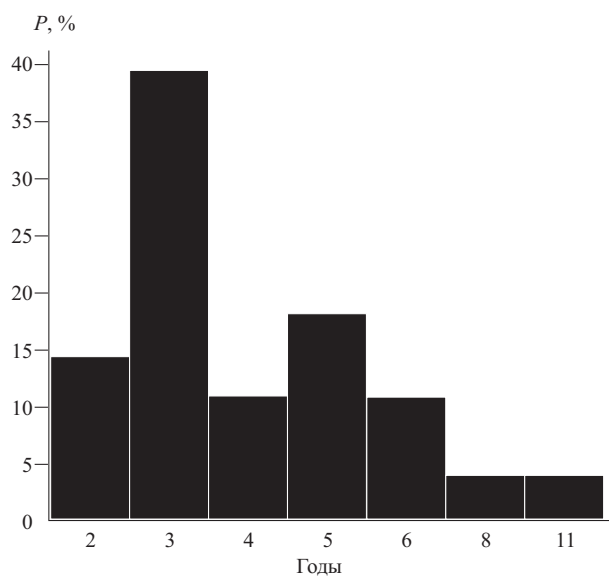


Рис. 8. Вероятности различной периодичности “остатка” среднегодовых расходов

Из рассмотренного анализа процесса следует, что он содержит несколько компонентов: детерминированный, составляющую, подчиняющуюся известным причинно-следственным связям, и случайный. Возможен также тренд, обусловленный природными и антропогенными причинами.

В исследованиях природных явлений широко используются различные фильтры, повышающие наглядность результатов. Так, в наблюдениях используются оптические фильтры. В исследованиях годовых стоков рек исходные данные следует рассматривать в качестве сигналов [3 – 6], а для их обработки – применять специальные цифровые фильтры. Для решения поставленной задачи был разработан трехуровневый иерархический фильтр, сущность использования которого рассмотрена на примере исследования годового стока р. Даугавы.

Фильтр первого уровня выявляет комплекс канонических гармоник интегральной функции (первую – пятую), осуществляет аппроксимацию, ее производную и выявляет первый “остаток” процесса. Фильтр второго уровня из “остатка” выявляет неканонические гармоники, например, первую – седьмую, и определяет второй “остаток”. Фильтр третьего уровня из второго “остатка” выявляет высокочастотные гармоники, наблюдающиеся в пределах вековых циклов или их полуцик-

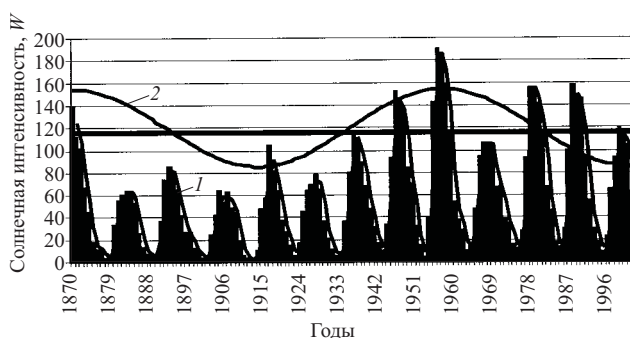


Рис. 9. Характеристика значений солнечной интенсивности:

1 – солнечная интенсивность; 2 – сглаженная низкочастотная интенсивность

лов. Таким образом, получают окончательный “остаток” процесса, который является предметом дальнейшей работы.

Наличие разработанной методики позволило провести анализ годового стока основных рек мира с использованием исходных данных, опубликованных в [7]. Оказалось, что по наблюдениям за 80 – 120 лет годовые стоки практически всех рек с различной точностью подвержены аналогичным закономерностям. Отличаются фазы циклических процессов в различных регионах мира, а также свободные члены выражений рядов Фурье. Их величины в основном определяются начальным временем интегрирования и потому ими можно пренебречь, сместив на эту величину ось ординат.

Реки мира могут быть отнесены к четырем группам (табл. 1). Во второй группе – фазы интегральных функций годовых стоков опережают фазы первой группы примерно на 90° (22 года); третья группа соответственно отстает на 90° , а четвертая – находится в противофазе. Интересно, что в первую группу попадают реки северо-запада европейской части России и Балтии и ряд прочих рек различных районов мира. Единственно общее для этих прочих рек является то, что они относятся к горным местностям.

Учитывая глобальный характер процесса, трудно избежать предположений о его причинах. Избегая утверждений, стоит обратить внимание на ряд заслуживающих внимание обстоятельств.

На рис. 9 изображена кривая (2), характеризующая максимальные значения солнечной интенсивности (в числах Вольфа – W) для XX столетия, которую целесообразно сравнить с интегральной функцией годового стока (рис. 2).

Если сопоставить “остаток” процесса (рис. 6) с производной солнечной активности в рамках 11-

летних циклов, то выясняется, что значениям производных, превышающих некоторый порог, как правило, соответствуют изменения годового стока, определяющие высокочастотный период. В прошлом аналогичное свойство было отмечено [8], но в свете полученных новых данных его следует отнести к “остатку” процесса. Тем самым, при наличии возможности прогнозирования чисел Вольфа снимается неопределенность в прогнозе периода “остатка”.

И, наконец, показана [9] возможность прогнозирования максимальных чисел Вольфа на перспективу по параметрам, зафиксированным во время их минимального значения, что позволяет судить о конфигурации ожидаемого 11-летнего цикла и, следовательно, с определенной уверенностью предвидеть представляющие интерес производные интенсивности.

Для заключения контрактов на поставку энергии в условиях рынка необходимы методы прогнозирования среднемесячных стоков. Для этого используется обработка многолетних данных методами корреляционно-регрессионного анализа, на основе которого получают плотности распределения и регрессионные уравнения для конкретных месяцев года [10]. В качестве примера в табл. 2. приведены эти уравнения:

$$q_n = q_0 + a q_{n-1},$$

где q_n – среднемесячный расход воды прогнозируемого месяца; q_{n-1} – среднемесячный расход текущего (предыдущего) месяца; q_0 , a – коэффициенты.

Для р. Даугава эти данные уточняются на основе дополнительного анализа текущей ситуации.

Т а б л и ц а 1

Группы рек по признаку фазовых отношений годового стока

1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
С. Двина	Обь	Эбро	Миссисипи
Нева	Енисей	Дунай	Ла-Плата
Днепр	Лена	Амур	Амазонка*
Неман	Волга	Яндзы*	Парана
Даугава	Кама	Хуанхе*	Ориноко*
Рона	Ока	Инд	Лаврентия
Миссури	Вуокса	Гломма	Колумбия
Колорадо	Луара		Нил*
Мурей	По		Конго
Сао Франциску	Висла		
Рио Гранде	Эльба		
Нигер			

* Верховье реки.

Т а б л и ц а 2

Месяц	Регрессионное уравнение
Январь	–
Февраль	$q_2 = 0,8299q_1 + 20,96$
Март	$q_2 = 1,3245q_1 + 131,49$
Апрель	–
Май	$q_2 = 0,2102q_1 + 496,92$
Июнь	$q_2 = 0,1588q_1 + 249,84$
Июль	$q_2 = 0,4725q_1 + 74,654$
Август	$q_2 = 0,8116q_1 + 27,481$
Сентябрь	$q_2 = 0,8285q_1 + 70,23$
Октябрь	$q_2 = 1,2548q_1 + 29,036$
Ноябрь	$q_2 = 0,6579q_1 + 196,38$
Декабрь	$q_2 = 0,5924q_1 + 150,47$

Примечание. Прогнозирование для января и апреля на этой основе невозможно из-за неопределенности сроков заморзания и объема паводка.

Выводы

1. Среднегодовой сток рек в многолетнем плане является процессом, состоящим из трех составляющих: детерминированного, компонента, отчасти подчиняющегося известным причинно-следственным связям, и случайного.

2. Для выявления детерминированной составляющей многолетние наблюдения в качестве сигналов подвергаются обработке специальным цифровым фильтром.

3. Использование подобной методики позволяет повысить точность прогноза годовой выработки ГЭС, что существенно для планирования бюджета энергокомпаний в условиях рынка энергии.

4. Для прогнозирования месячной энергии ГЭС используется обработка данных на основе корреляционно-регрессионного анализа.

Список литературы

1. *Brückner E.* Klimaschwankungen. 1700, W.-Olmütz, 1890.

2. *Глазачева Л.* Циклический характер колебаний стока рек и уровня озер средней Прибалтики. – Тр. Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Л.: Гидрометиздат, 1976.
3. *Barkans J., Bazbauere J.* Can the Water Flow in the Daugava be Forecasted? – Energy and Society, Riga, 1999, № 4.
4. *Глазачева Л., Федорович Ф.* Цикличность и тренды в колебаниях годового стока р. Даугавы. – International Conference on Hydropower, Kaunas, 2001.
5. *Barkans J., Zicmane I.* The Spectral Analysis of Long Time Water Flow Process in Daugava. – International Scientific Conference, Riga, 2001.
6. *Баркан Я., Цицмане И.* Реки и солнце. – Наука и жизнь, 2002, № 2.
7. *Discharge of selected rivers in the World.* Paris: UNESCO press 1969 – 1980.
8. *Природа многолетних колебаний речного стока /* Под ред. Дружинина И. П. Наука, СО АН СССР, 1976.
9. *Hathaway D. H., Wilson R. M., Reichmann E. J.* A synthesis of solar cycle prediction techniques. – Journal of geophysical research, 1999, October.
10. *Цветков Е. В., Алябышева Т. М., Парфенов Л. Г.* Оптимальные режимы гидроэлектростанций в энергетических системах. М: Энергоатомиздат, 1984.

Микропроцессорная система комплексного управления и контроля гидроагрегатов Чебоксарской ГЭС

Кузнецов А. Н., инж., Орлов В. Н., канд. техн. наук, Титов А. М., Шарапов Д. В., Русинов А. М., инженеры

ВЭИ – Чебоксарское научно-производственное приборостроительное предприятие “ЭЛАРА” – Чебоксарская ГЭС

Актуальность разработки микропроцессорной системы комплексного управления и контроля гидроагрегатов (МСУК) определялась необходимостью модернизации на Чебоксарской ГЭС (ЧеГЭС) физически изношенной существующей системы управления гидроагрегатами, в состав которой входят:

электродвигательный регулятор скорости вращения турбины (ЭГР);
автоматика пуска-останова гидроагрегата;
гидромеханические защиты гидроагрегата;
автоматика управления вспомогательным оборудованием.

В работе по созданию МСУК для ЧеГЭС принимали участие: ВЭИ (разработка технических средств, технологического и общесистемного программного обеспечения), ОАО ЧНППП “ЭЛАРА” (разработка конструкторской документации, изготовление и поставка микропроцессорных

устройств) и АО “Фирма ОРГРЭС” (разработка технологических алгоритмов и специальной аппаратуры).

ЧеГЭС осуществляла проектные работы по привязке системы к объекту управления, конструирование кроссового шкафа, выполнение работ по демонтажу существующих панелей и монтажу новых устройств, подбор, установку и настройку преобразователей (датчиков) электрических и неэлектрических параметров.

Исходными данными для разработки явилась предложенная ЧеГЭС концепция реконструкции систем управления гидроагрегатами и создания двухуровневой, распределенной АСУ ТП ЧеГЭС.

Согласно этой концепции развитие АСУ ТП ГЭС должно строиться на базе создаваемой МСУК, при этом замена существующих систем управления должна производиться в несколько этапов.