

ЭНЕРГЕТИКА

Э. С. ПОГОСБЕКОВ

К ВОПРОСУ ВЫРАВНИВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ  
 ГИДРОЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Выравнивание многолетней неравномерности выработки электроэнергии гидроэлектростанций в энергосистемах в значительной степени возлагается на тепловые электростанции. В целом разрешение этой задачи, частью которой является определение резервируемого и среднесуточного объемов топлива, потребляемого тепловыми электростанциями, упирается в необходимость знания закономерностей, характеризующих многолетние колебания выравнивающей (дефицитной) энергии. Зная эту закономерность, можно определить среднесуточную величину выравнивающей (дефицитной) энергии и максимальный суммарный объем ее за наиболее неблагоприятную группировку смежных друг за другом лет из всего многолетнего ряда. Найденные значения энергии и будут представлять в эквиваленте объемы потребления и резервирования топлива [7].

К изучению закономерностей многолетнего колебания выравнивающей энергии можно подойти с позиций математической статистики, используя методы, применяемые в гидрологии и водохозяйственных расчетах к изучению и описанию стоковых процессов и регулированию его [4, 5, 6]. Величины годовых выработок гидроэлектроэнергии в многолетии, как известно, в основном подчинены случайному характеру протекания речного стока, причем стоку значительно измененному, трансформированному. Так как само перерегулирование стока в многолетнем разрезе целиком подчинено целям, в свою очередь зависящим от природных условий, то и саму выработку гидроэлектроэнергии, по-видимому, можно считать случайным процессом, характеризуемым определенными параметрами гидроэнергетических объектов.

Соображения о случайности многолетнего процесса выработки гидроэлектроэнергии были проверены методами математической статистики по конкретным гидроэнергетическим объектам, в свое время примененными в гидрологических исследованиях при изучении речного стока [2, 3].

Анализу подверглись многолетние ряды дефицитной электроэнергии 21 гидроэлектростанции по проектным материалам Армянского, Тбилисского, Бакинского и Среднеазиатского отделений Гидро-

проекта. Расчетами были определены корреляционные зависимости между годовыми величинами дефицитной энергии за смежные годы и степень приближения указанных многолетних рядов к нормальному распределению, как к распределению в среднем наиболее характерному для случайных непрерывных величин. Корреляция между смежными годами по большинству объектов оказалась практически отсутствующей и ее величины находятся от  $r = 0,006$  до  $0,170-0,180$  с четырехкратной ошибкой ( $4E$ ) превышающей в несколько раз коэффициент корреляции (табл. 1). Лишь в четырех случаях коэффициент корреляции превышает эти значения, заключаясь между  $0,330$  и  $0,480$ , и только по одному объекту (Бзиби ГЭС) этот коэффициент существенно велик ( $0,601 \pm 0,356$ ).

С целью более достоверного суждения о степени коррелированности в многолетних рядах дефицитной энергии гидроэлектростанций был подсчитан средневзвешенный коэффициент корреляции по объединенному (удлиненному) ряду из 16 ГЭС без многолетнего регулирования (табл. 1). Полученный результат подтверждает соображения

Таблица 1

Значения коррелированности за смежные годы по многолетним рядам выравнивающей энергии выработки ГЭС

Наименование объектов	Число лет ряда	Значения коррелированности $k \pm 4E$	
Шамбская ГЭС . . . . .	31	0,1109	$\pm 0,4832$
Шнохская ГЭС . . . . .	24	0,0216	$\pm 0,5580$
Спандарянская ГЭС . . . . .	31	-0,1350	$\pm 0,4804$
ЗаГЭС . . . . .	27	-0,0120	$\pm 0,5256$
Чигалеви ГЭС . . . . .	27	0,0758	$\pm 0,5228$
Ортачала ГЭС . . . . .	27	0,0059	$\pm 0,5256$
Гатев ГЭС . . . . .	21	-0,2188	$\pm 0,5328$
Бзби ГЭС . . . . .	24	0,6013	$\pm 0,3564$
Жипали ГЭС . . . . .	26	0,3366	$\pm 0,4762$
Степанаванская ГЭС . . . . .	21	0,1572	$\pm 0,5448$
Намакхани ГЭС . . . . .	24	0,1843	$\pm 0,5396$
Ладжанури ГЭС . . . . .	26	0,0065	$\pm 0,5360$
Бжува ГЭС . . . . .	27	0,0709	$\pm 0,5228$
АпГЭС . . . . .	27	0,0599	$\pm 0,5236$
Рион ГЭС . . . . .	27	0,1717	$\pm 0,5096$
Сухум ГЭС . . . . .	27	0,4356	$\pm 0,4260$
Ипгури ГЭС . . . . .	24	0,3700	$\pm 0,4800$
Нурекская ГЭС . . . . .	29	-0,0152	$\pm 0,5064$
Шамзорская ГЭС . . . . .	28	-0,0328	$\pm 0,5148$
Мишгечаурская ГЭС . . . . .	28	0,1452	$\pm 0,5048$
Актавфинская ГЭС . . . . .	20	0,4727	$\pm 0,4764$
Объединенный ряд, составленный из объектов от № 1 до № 16 вкл. .	423	0,1140	$\pm 1,2880$

о возможности суждения о многолетних рядах дефицитной энергии гидроэлектростанций, как о рядах практически не коррелированных. Надо отметить, что из четырех объектов с многолетним регулированием только по одному коэффициент корреляции достиг величины  $0,47$  в то время как по остальным—значения коррелированности весьма малы (меньше  $0,15$ ).

Степень приближения анализируемых рядов к нормальному распределению по отдельным объектам в первую очередь определяется

по критерию  $Z_3$  по процентам отклонения варьирующей величины в обе стороны от своего среднеарифметического значения ( $x_0 \pm 3\sigma$ ,  $x_0 \pm 2\sigma$ ,  $x_0 \pm \sigma$ ). Результаты подсчета по 21 объекту приведены в табл. 2. Как видно, полученные проценты отклонений практически удовлетворительно отвечают теоретическим значениям. Указанные ха-

Таблица 2

Проценты отклонений годовых величин от среднегодовых значений в многолетних рядах выравниваемой энергии ГЭС

Наименование объектов	Число лет ряда -n-	Процент отклонения в границах:		
		$k = 3\sigma$	$k = 2\sigma$	$k = \sigma$
Шлисская ГЭС . . . . .	31	96,8	90,3	80,6
Шинская ГЭС . . . . .	24	100,0	95,9	70,8
Сондранская ГЭС . . . . .	31	100,0	93,5	77,4
Сурская ГЭС . . . . .	27	100,0	92,6	81,5
Сыктывинская ГЭС . . . . .	27	100,0	96,3	74,0
Суржская ГЭС . . . . .	27	100,0	96,3	63,0
Суровская ГЭС . . . . .	24	100,0	95,9	62,5
Бябьинская ГЭС . . . . .	21	100,0	95,9	75,0
Жиньинская ГЭС . . . . .	26	100,0	92,3	77,0
Иштинская ГЭС . . . . .	24	100,0	95,9	62,5
Намаханская ГЭС . . . . .	24	100,0	95,9	79,2
Нарьинская ГЭС . . . . .	26	100,0	96,2	65,4
Бжудинская ГЭС . . . . .	27	100,0	96,3	74,0
Алфская ГЭС . . . . .	27	100,0	100,0	66,7
Смопская ГЭС . . . . .	27	100,0	100,0	66,7
Будунская ГЭС . . . . .	27	100,0	100,0	63,0
Кугуринская ГЭС . . . . .	23	100,0	95,9	70,8
Нарекская ГЭС . . . . .	29	100,0	93,0	69,0
Вамхорская ГЭС . . . . .	28	100,0	96,5	75,0
Минченурская ГЭС . . . . .	28	100,0	92,9	67,8
Алфтинская ГЭС . . . . .	20	100,0	95,0	65,0
Объединенный ряд, составленный из объектов от № 1 до № 16 вкл. . . . .	423	100,0	93,6	70,6
Теоретический ряд нормального распределения . . . . .	—	99,7	95,45	68,3

актеристики были получены и для объединенного 423-летнего ряда, представляющего хорошее соответствие осредненных величин теоретическим.

Оценивая результаты исследования рядов по двум признакам (коэффициенту коррелированности и критерию  $Z_3$ ), можно заключить, что многолетние ряды дефицитной энергии ГЭС представляются, по всей видимости, случайными величинами, не связанными между собой функциональной зависимостью.

Для получения дополнительных данных о характере распределения рассматриваемых рядов, был определен коэффициент асимметрии  $S_3$ , рассчитанный по объединенному 423-летнему ряду. Естественно, что по указанному коэффициенту, полученному по объединенному ряду, можно судить лишь о возможной степени асимметрии в рассматриваемых рядах, о среднем вещном коэффициенте асимметрии. Коэффициент асимметрии по объединенному ряду составил  $S_3 = 0,133$  со

среднеквадратической ошибкой  $\varepsilon_c = 0,119$ . Как видно, величина самого коэффициента весьма невелика и, если учесть, что нулевое значение коэффициента находится в пределах двухкратной его ошибки, распределение можно считать нормальным.

Попытка дальнейшего более обстоятельного исследования по объединенному ряду была проделана путем приведения этого ряда к дискретному вариационному ряду, по которому были определены основные характеристики этого распределения и проведена проверка на соответствие дискретного вариационного ряда нормальному распределению. Результаты вновь подтвердили достаточную близость исследуемого распределения к нормальному:

а) по критерию Ястремского:

$$\frac{\sum (f - f')^2}{f'q'} = 5,53 < 3 \sqrt{2l + 40} = 16,53;$$

б) по приближенному равенству между значениями средней арифметической, медианы и моды:

$$(x - 1,037) - (M_c = 1,037) \approx (M_n = 0,981);$$

в) по соотношению между средним квадратическим и средним линейным отклонениями распределения, равному приближенно

$$\frac{s}{r} = 1,247 \approx 1,23;$$

г) по небольшой величине коэффициента асимметрии и его ошибке, изменяющей знак коэффициента:

$$C_s = \varepsilon_s = 0,111 \approx 0,122,$$

где  $f$  — эмпирические частоты интервалов дискретного ряда;  $f'$  — теоретические частоты;  $q'$  — вероятность неповторения интервала;  $l$  — число интервалов дискретного ряда;  $\theta = 0,6$ .

Следует обратить внимание на то, что коэффициент асимметрии, полученный первым и вторым способами, различается на удвоенное значение их среднеквадратической ошибки и в среднем дает нулевое значение.

В итоге, задавшись нормальным распределением, которое, очевидно, является характерным для многолетних рядов дефицитной энергии, в спрямляющих координатах Хазена были построены кривые обеспеченности по всем объектам и в целом по объединенному ряду (составленному из 16 объектов нерегулируемых в многолетнем разрезе гидроэлектростанций). Построения показали, что по большинству объектов эмпирические обеспеченности, найденные по известной формуле

$$\frac{m - 0,3}{n + 0,4} = P_{100}^{(1)}$$

достаточно удовлетворительно следуют теоретическим кривым обеспеченности.

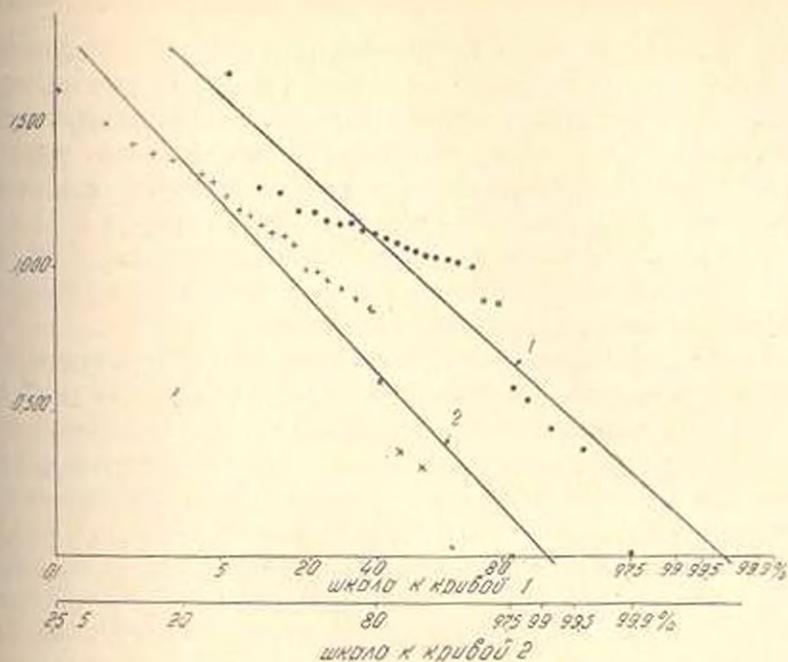


Рис. 1 1—Кривая обеспеченности дефицитной энергии по Читахеви ГЭС; коэффициент вариации многолетнего ряда  $C_v=0,361$ ; 2—Кривая обеспеченности дефицитной энергии по Живкази ГЭС; коэффициент вариации многолетнего ряда  $C_v=0,426$ .

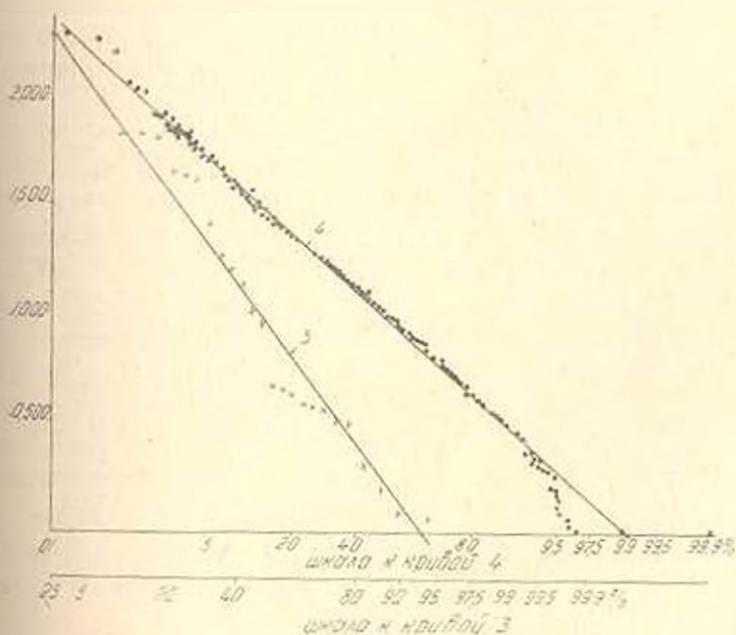


Рис. 2 3—Кривая обеспеченности дефицитной энергии по Сухуми ГЭС; коэффициент вариации многолетнего ряда  $C_v=0,666$ ; 4—Кривая обеспеченности дефицитной энергии по объединенному 423-летнему ряду; коэффициент вариации  $C_v=0,383$ .

По четырем объектам (Читахеви ГЭС, ЗаГЭС, Шнохская ГЭС, Жинвали ГЭС) наблюдаются некоторые аномалии, что, по всей вероятности, может быть следствием недостаточной продолжительности исследуемых рядов и заметного влияния этого фактора в указанных случаях. На рис. 1 и 2 приведены в качестве примера графики обеспеченности по Читахеви ГЭС, Жинвали ГЭС и Сухуми ГЭС, как объектам соответственно с наиболее неблагоприятным, относительно неблагоприятным и сравнительно хорошим графическим соответствием эмпирических значений теоретическим кривым.

Построение графика обеспеченности по объединенному ряду (рис. 2), где все точки эмпирической обеспеченности по всем 16 объектам весьма хорошо отражают теоретическую кривую обеспечения нормального распределения, наглядно свидетельствует и подтверждает предыдущие результаты о "нормальности" распределения многолетних рядов дефицитной энергии ГЭС.

При исследованиях по стоковым рядам рек Г. Н. Бровкачем [1] утверждалось, что "...если функции  $F_1(x)$ ,  $F_2(x)$ , ...,  $F_k(x)$  объединяемых рядов были выбраны верно, то степень соответствия между теоретической и эмпирической кривыми распределения для ряда, полученного в результате объединения, будет лучше, чем для каждого из этих рядов, взятых порознь". Таким образом, кривые обе-

Таблица 3  
Степень приближения кривой обеспеченности нормального распределения к эмпирическим значениям обеспеченности

Наименование объектов	Среднеквадратическое отклонение эмпирических точек	
	от нормальных кривой обеспеченности	от интерполируемой параболы третьей степени
Читахеви ГЭС . . . . .	0,1034	0,1120
ЗаГЭС . . . . .	0,0817	0,0552
Шнохская ГЭС . . . . .	0,0808	0,0536
Жинвали ГЭС . . . . .	0,0793	0,0420
Аничаур ГЭС . . . . .	0,0697	0,0367
Ортачала ГЭС . . . . .	0,0696	0,0683
Шамбская ГЭС . . . . .	0,0668	0,0653
Актафийская ГЭС . . . . .	0,0634	0,0631
Сухуми ГЭС . . . . .	0,0597	0,0193
Бжуа ГЭС . . . . .	0,0569	0,0464
Татавская ГЭС . . . . .	0,0343	0,0297

печенности нормального распределения, с соответствующим каждому случаю коэффициентом вариации, представляют собой функции, к которым следуют эмпирические точки обеспеченности многолетних рядов дефицитной энергии выработки гидроэлектростанций.

Степень соответствия теоретической кривой обеспеченности нормального распределения эмпирическим была проверена также способом наименьших квадратов.

В табл. 3 приведены среднеквадратические отклонения по объектам с аномальным расположением эмпирических точек и для сравнения — с удовлетворительным и хорошим расположением последних. Результаты сопоставления по объектам, имеющим больший разброс точек от нормальной кривой (согласно графическим изображениям), с объектами с меньшим разбросом точек показали небольшое расхождение в оценках по параболической интерполируемой функции: так, по объекту с наиболее неблагоприятным графическим результатом (Читахевн ГЭС) параболическое интерполирование дает то же приближение к эмпирическим точкам, что и нормальная кривая обеспеченности; по трем другим объектам с неблагоприятным графическим соответствием (Зап'ЭС, Шнохская ГЭС и Жинвали ГЭС) параболическое интерполирование улучшает соответствие, по сравнению с нормальной кривой, не более чем в два раза, в то время как среди объектов с хорошим графическим соответствием встречаются такие, по которым параболическое интерполирование дает более близкое соответствие.

Зная кривую обеспеченности дефицитной энергии и корреляцию между смежными годами рассчитываемого ряда, можно методом моделирования ряда по теоретическим кривым обеспеченности, предложенным в 1960 г. Г. Г. Сванидзе [8], построить многолетний календарный график дефицитной энергии любой продолжительности. Этот график позволит определить необходимые величины среднемноголетней и аккумулирующей энергии любой обеспеченности. Последние представляют собой и эквиваленте требующиеся объемы многолетнего аккумулирования и среднемноголетнего потребления топлива (например, газа) тепловыми электростанциями, ведущими многолетнее регулирование.

Несколько слов о способе построения теоретической кривой обеспеченности дефицитной энергии. Если построение вести в спрямляющих координатах Хазена, то кривая обеспеченности нормального распределения, как известно, представляется прямой, которую можно построить по двум точкам. Одна точка определяется самим свойством кривой обеспеченности нормального распределения, заключающееся в том, что ордината точки 50%-ой обеспеченности соответствует среднемноголетнему значению данного ряда. Вторая точка определяется по многолетнему ряду выравнивающей энергии  $\mathcal{E}_{\text{рл}} = \mathcal{E}_{\text{мак}} - \mathcal{E}_t$  ( $\mathcal{E}_{\text{рл}}$  — годовая величина выравнивающей энергии,  $\mathcal{E}_{\text{мак}}$  — максимальная годовая выработка за многолетие и  $\mathcal{E}_t$  — выработанная энергия каждого года), через среднемноголетнюю величину  $\mathcal{E}_c$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$  того же ряда по выражению:

$$F(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{u^2}{2}} dt,$$

$$\text{где } t = \frac{\mathcal{E}_c - \mathcal{E}_t}{\sigma}.$$

Если вторую точку принимать равной отклонению от среднепогодного значения  $\bar{E}_y$  на величину  $\pm z$ , то обеспеченность ее выразится величиной: при  $+z \dots 15,9\%$  и при  $-z \dots 84,1\%$ .

Зная наперед по проектным материалам многолетний ряд выработанной энергии  $E_{\text{вы}}$ , можно построить теоретическую кривую обеспеченности дефицитной энергии, имея в виду, что многолетний ряд дефицитной энергии является дополняющим к многолетнему ряду выработанной энергии до величины наибольшей годовой выработки  $E_{\text{макс}}$  и, что их среднеквадратические отклонения  $\pm z$  равны друг другу.

Армения

Получено 23.IV 1964

Է. Ս. ՍՈՍԵԲԵՈՎ

ՃԵՐՄԱՆԻՆ ԷԼԵՏՐՈՒԱԶԱՆՆԵՐԻ ՄԵՋՈՑՈՎ ՀԻՄՐՈՒՄ ԷԼԵՏՐՈՒԿԱՆՈՒՄՆԵՐԻ  
ԲԱԾՄԱՆՈՒՄԻ ՏՈՒՄԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՀԱՎԱՍՏԱԿՆԵՐԻ ԶԱՐԿԻ ՎԵՐԱՍԵՐՅՈՒ

Ա մ փ ո ս լ մ

Հողմածի հեղինակի կողմից փորձ է կատարվում գտնելու հիդրոէլեկտրահայրաններում արտադրվող էլեկտրաէներգիայի տարեկան արժեքների թաղմամբ տատանումների փնտազրական օրինաչափությունը, ինչպես համասարեցնող (գեֆիցիտ) էլեկտրաէներգիայի չափը: Իրտարված օրեկանների համար որոշված են թաղմամբ շարքում հարեան տարիների համար համասարեցնող էներգիայի կորիստներն գործակիցները, որոնք օրեկանների մեծ մասի մոտ թափահանին փոքր են դուրս եկել: Իրոված է նաև, որ հիդրոէլեկտրաէներգիայի թաղմամբ շարքերը թաղված են կանոնավոր օրենքով: Հեղինակի կողմից կառուցված են գեֆիցիտային հիդրոէլեկտրաէներգիայի ապահովման նորմալ թաղման տեսական կրկերը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брыкович Г. И. О кривых распределения вероятностей, применяемых в гидрологии. Тр. первого совещания по регулированию речного стока. Изд АН СССР, М.—Л., 1945.
2. Ефимович П. А. Вопросы водохозяйственных расчетов и гидрологии. М.—Л., 1936.
3. Зайков Б. Д., Величков С. Ю. Норма годового стока, погрешность ее и приведение коротких рядов к длительному периоду. «Исследования рек СССР», вып. VIII, ГГН, Л., 1935.
4. Крицкий С. И., Менкель М. Ф. Гидрологические основы речной гидротехники. 1950.
5. Крицкий С. И., Менкель М. Ф. Водохозяйственные расчеты. М., 1952.
6. Никитин С. Н. Основы гидроэнергетических расчетов. М.—Л., 1959.
7. Осипян А. М. Техноико-экономические расчеты и энергетике. Ереван, 1962.
8. Сванидзе Г. Г. Методика стохастического моделирования гидрологических рядов и некоторые вопросы многолетнего регулирования речного стока. «Труды института энергетике АН ГССР», т. XIV, Тбилиси, 1961.