

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

М. С. Торгомян

Цикличность в ходе водности рек и ее влияние
на колебания выработки электроэнергии

В водохозяйственных расчетах по проектированию режима гидроэлектростанций, работающих в системе, нельзя ограничиться в гидрологической части только определением обычных характеристик речного стока и, в частности, годового стока различной обеспеченности для каждой реки. Нужно еще учитывать имеющую большое значение хронологическую последовательность лет различной водности для каждой реки, используемой гидросистемой, и степень синхронности колебаний годового стока этих рек.

При производстве водохозяйственных расчетов безразлично, имеет ли место чередование многоводных и маловодных лет или последние сосредотачиваются группами.

Гидроэнергетическая система при полном использовании водных ресурсов в горных условиях обычно состоит из ряда каскадов ГЭС. Исследование, учитывающее чередования лет различной водности и синхронность в режимах рек представляет определенный научный и практический интерес.

На фиг. 1 приводятся колебания годовых стоков для ряда основных водотоков, причем использованы данные по двум створам на каждой реке.

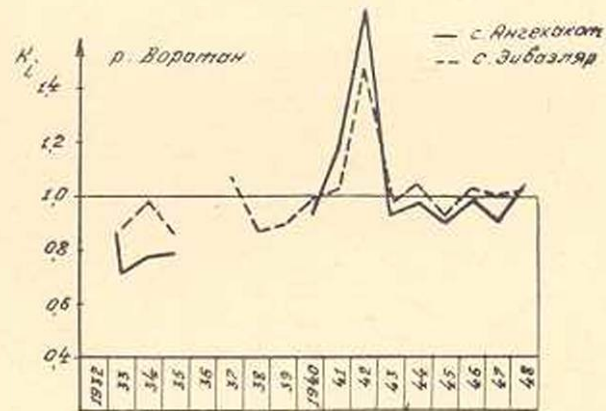
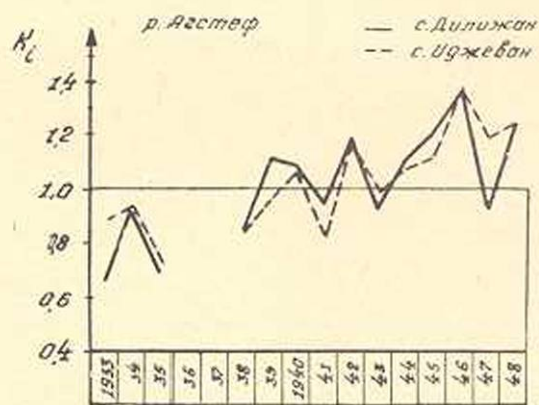
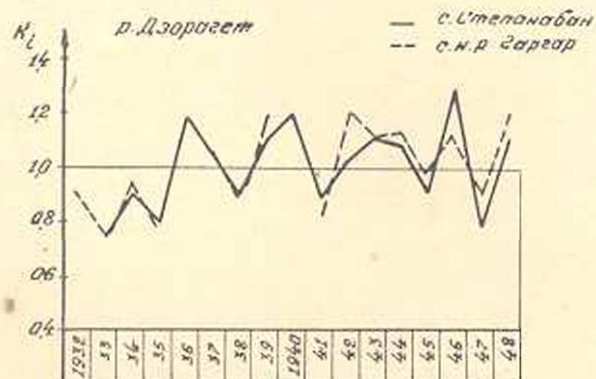
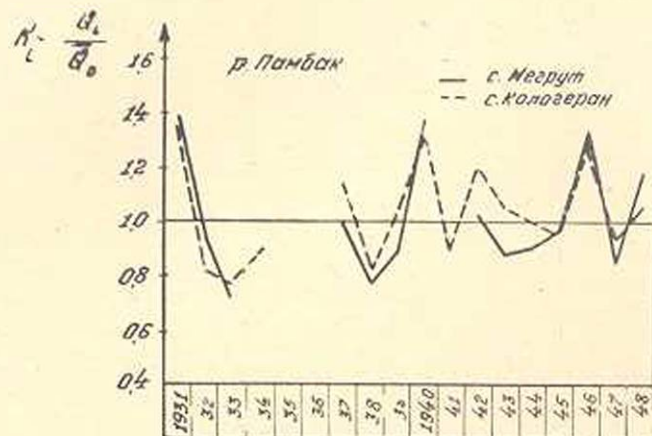
Годовые стоки на графике представлены модульным коэффициентом

$$K_i = \frac{Q_i}{Q_0}, \quad (1)$$

который исчисляется как отношение суммарного годового стока Q_i к норме стока Q_0 .

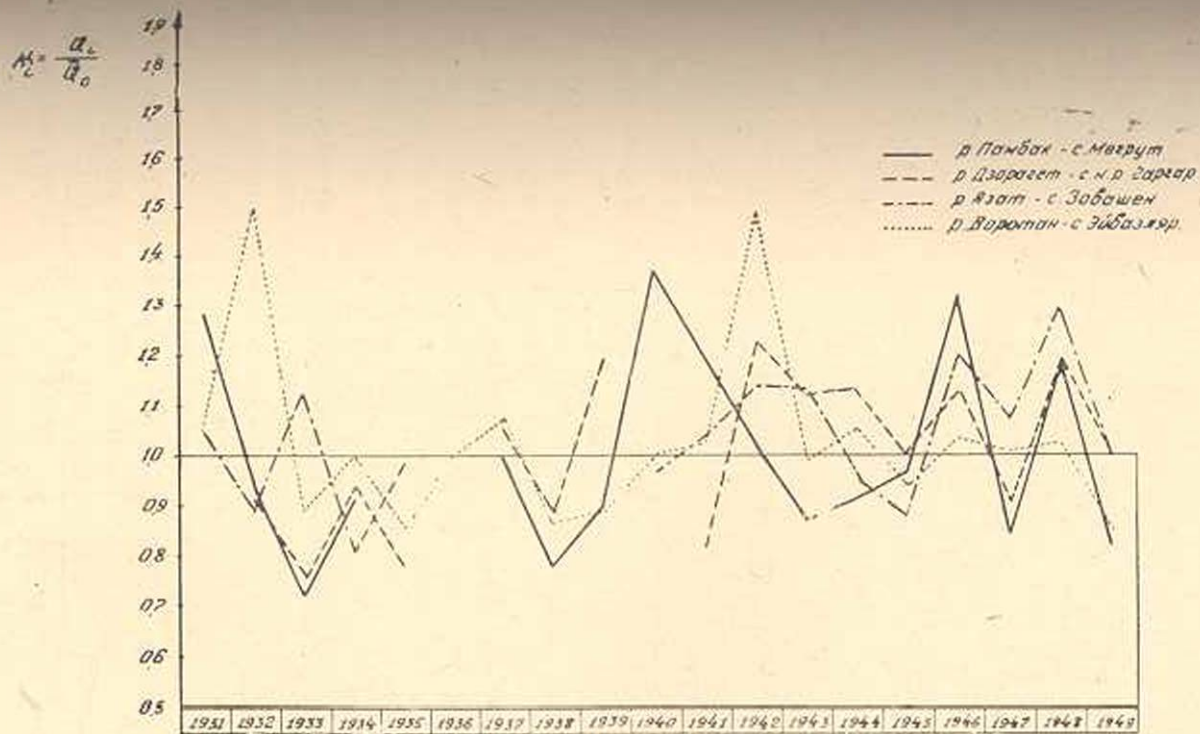
Как видно из фиг. 1, в пределах одного бассейна по длине реки в большинстве случаев имеет место полная синхронность водности, несмотря на то, что модуль стока, вариации стока и амплитуды колебаний стока меняются в зависимости от высоты створа.

На фиг. 2 изображена хронологическая многолетняя последовательность величин водности некоторых рек Армянской ССР, расположенных в различных физико-географических условиях.



Фиг. 1. Синхронность стоков в разных створах реки.

год



год

Фиг. 2. Хронологический многолетний ход в водности некоторых рек Армянской ССР.

Из фиг. 2 можно сделать вывод, что в стоках рек Армении наблюдаются явления группирования маловодных или многоводных лет, причем каждая из таких групп охватывает промежуток времени в 8—10 лет.

Маловодные годы при водности ниже 90%, а многоводные—выше 110%, имеют среднюю непрерывную продолжительность в 4—5 лет.

Аналогичную картину группирования маловодных и многоводных лет отмечает Д. Л. Соколовский [1] для рек Урала, и В. Л. Шульц [6] для рек Средней Азии.

Фиг. 2 показывает также (хотя и не особенно строго выдержанную) синхронность в изменчивостях стока разных рек в пределах каждого года. Недостаточно полная синхронность объясняется повидимому различием в микро-климатах районов Армянской ССР.

Видно резкое различие в амплитудах колебаний стоков разных рек, в связи с чем коэффициент вариации годового стока (C_v) также колеблется в значительных пределах—от 0,08 до 0,40.

Отмечая чередование групп маловодных и многоводных лет, можно констатировать, что второе из двух рассмотренных десятилетий сильно отличается от первого своей многоводностью. Так, например, суммарный сток нескольких рек (см. фиг. 2) за первое десятилетие составляет 85% от средней многолетней суммы, а за второе десятилетие—115%.

Последнюю цифру нужно считать несколько заниженной, учитывая, что в последние годы сравнительно увеличивался отбор воды водопользователями из рассматриваемых рек.

Объяснение причин такого изменения годовых стоков рек возможно только на основе синоптического анализа атмосферной циркуляции. При этом должна быть рассмотрена сравнительно обширная территория.

Как указывалось выше, Армянская энергетическая система включает в себя несколько каскадов гидроэлектростанций. Некоторые из них будут работать на незарегулированном стоке рек. По этой причине мощность и выработка станций должны быть переменными и меняться по дням, сезонам и годам.

При наличии естественного водохранилища в виде оз. Севан становится возможным, кроме обеспечения орошаемых территорий водами этого озера, осуществлять сезонное и многолетнее регулирование ГЭС, работающих на переменном естественном стоке водотоков, не входящих в Севан-Разданскую систему.

Отсюда ясно, что не только важно выявить хронологическую последовательность и синхронность годовых стоков, но и изучить изменения во внутригодовом распределении стока.

Необходимо отметить, что гидрографы рек Армянской ССР являются одноктоными (с пиком весной) и в основном отличаются

друг от друга только степенью зарегулированности расходов внутри года.

Для определения хронологического хода изменений во внутригодовом распределении стока использованы кривые обеспеченности суточных расходов, которые показывают достаточную устойчивость и служат объективной характеристикой внутригодового распределения стока [4, 5].

Гидростанции, работающие на незарегулированном стоке, могут использовать ту часть стока, которая ограничена пропускной способностью дериваций, иначе говоря, возможная выработка ГЭС будет соответствовать площади кривой обеспеченности среднесуточных расходов, ограниченной расчетным расходом гидростанции.

Исходя из этого, в качестве числового выражения, определяющего степень полноты или, что то же, степень неравномерности гидрографа, принят коэффициент естественной зарегулированности стока (φ_0), который соответствует площади, ограниченной кривой обеспеченности суточных расходов по среднему году до средне-многолетнего расхода, или площади гидрографа до той же высоты.

Если кривую обеспеченности выразить в относительных величинах, то:

$$\varphi_0 = \int_0^1 p dk, \quad (2)$$

где p — обеспеченность в долях единицы (года),

k — отношение данного расхода к среднему многолетнему [2].

Исследование показало, что для 20 основных рек Армянской ССР коэффициент естественной зарегулированности колеблется в пределах от 0,45 до 0,85. Этот коэффициент показывает — какую долю среднего стока составляет сток, ограниченный на кривой обеспеченности средне-многолетним расходом.

Средне-многолетний расход при $k = 1,0$ по средней кривой обеспеченности расходов имеет продолжительность, соответствующую 0,22—0,30 года, и в среднем по Армянской ССР — 0,25 года.

На фиг. 3 приведены изменения в двух створах тех частей годовых стоков некоторых рек Армянской ССР, которые на кривых обеспеченности ограничены средне-многолетним расходом.

Эти части стока характеризуются модульными коэффициентами $a_i = \frac{\varphi_i}{\varphi_0}$, которые представляют из себя отношения годовых коэффициентов зарегулированности φ_i для разных лет к среднему коэффициенту зарегулированности φ_0 за многолетие.

Из фиг. 3 следует, что в пределах одного и того же речного бассейна синхронность значений a_i для нескольких створов ослабляется, потому что на формирование вышеуказанной части стока ока-

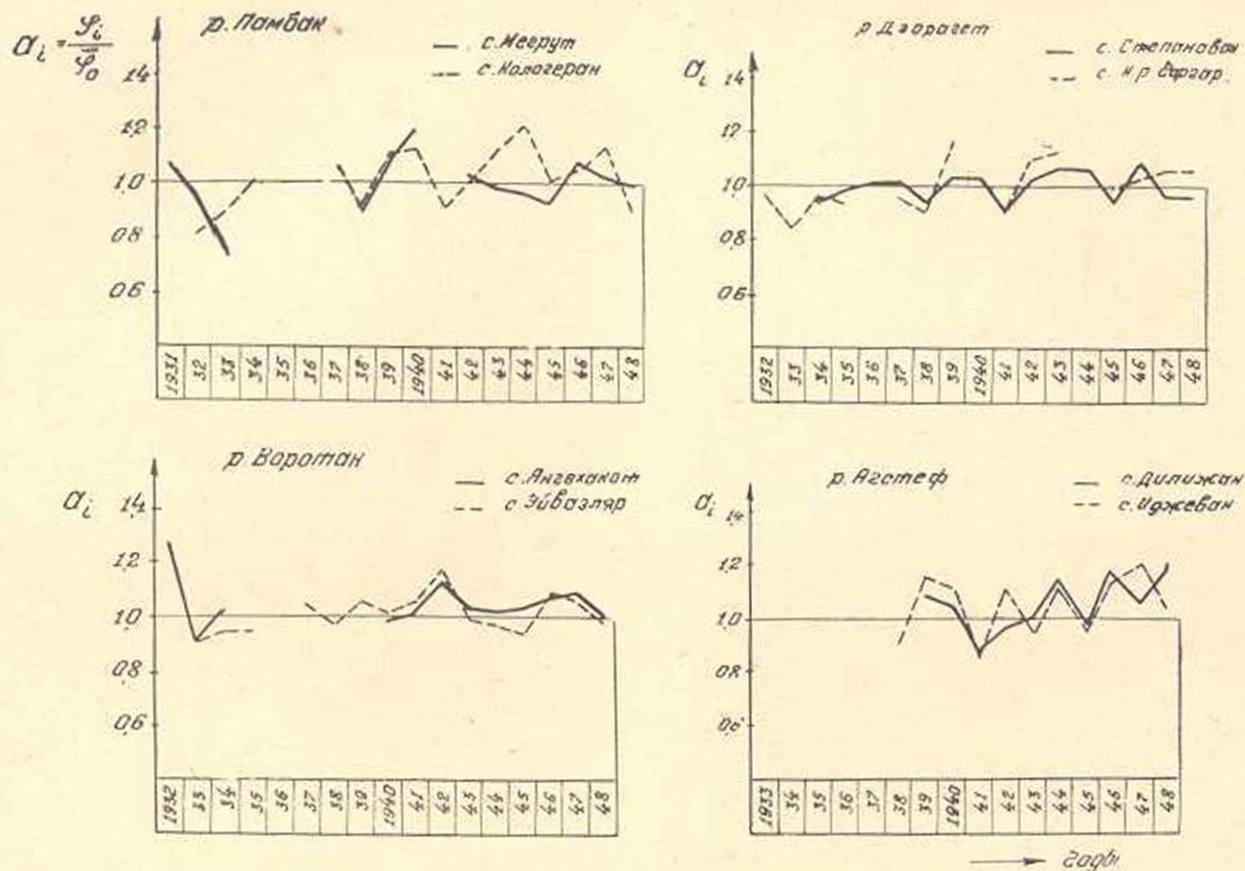


Рис. 3. Синхронность коэффициентов в естественной зарегулированности стоков в двух створах реки.

зывают большое влияние местные физико-географические условия, которые неодинаковы даже в пределах одного и того же бассейна.

На фиг. 4 приведена хронологическая многолетняя изменчивость модульных коэффициентов a_i для некоторых рек Армянской ССР, бассейны которых расположены в различных физико-географических условиях. Можно сделать вывод, что по характеризуемой коэффициентом a_i части стока группировки маловодных и многоводных лет охватывают сравнительно небольшие периоды. Имеет место цикличность в характере колебаний значений a_i , а синхронность изменений этих коэффициентов для различных водотоков исчезает.

Исследования показали, что имеется различие в амплитудах колебаний значений a_i для разных рек, в связи с чем коэффициент вариации доли стока (C_{v2}) колеблется в пределах от 0,06 до 0,22. Изменчивость величины φ_i , характеризуемая коэффициентом вариации (C_{v2}), меньше коэффициента вариации годовых стоков (C_v).

Таким образом, при пропускной способности деривации ГЭС, равной средне-многолетнему расходу, используемые части стока имеют меньшую изменчивость, чем для годовых стоков. Эта изменчивость уменьшается с увеличением процента обеспеченности расчетного расхода и при минимальном расходе доходит до нуля. С другой стороны, с уменьшением этого процента увеличивается изменчивость используемой части стока и при максимальном расчетном расходе она доходит до изменчивости годовых стоков.

При совместной работе гидроэлектрических станций или каскадов, расположенных на разных водотоках и использующих естественный сток рек, большое значение имеет как сочетаются годовые выработки этих ГЭС и каков размер требуемой от системы регулирующей энергии за весь период регулирования.

Как указывалось выше, между отдельными водотоками синхронность значений a_i не наблюдается, в силу чего при суммировании используемой части стоков при $k=1,0$ изменчивость суммы уменьшится в зависимости от изменчивости синхронности и размера суммируемых стоков рек.

При этом модульный коэффициент суммы будет равен:

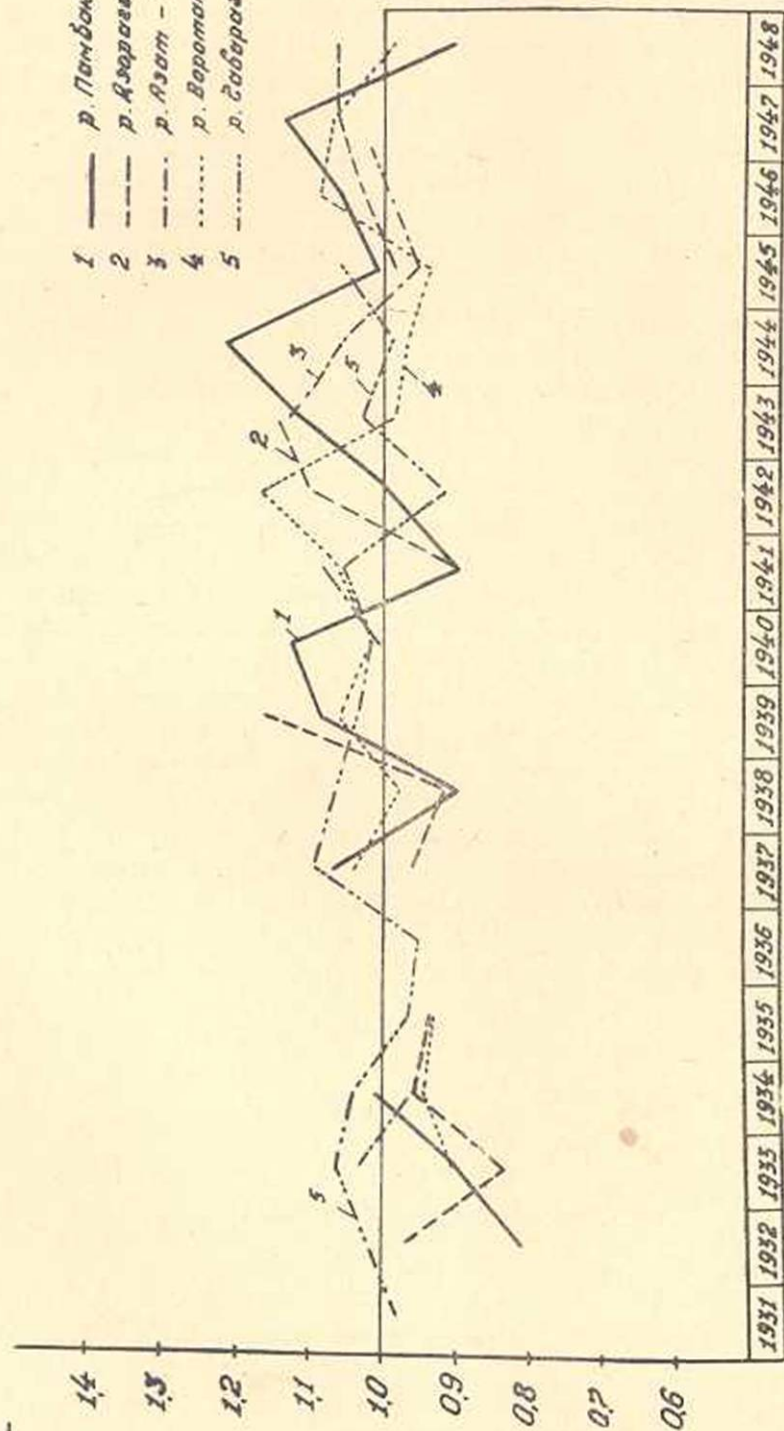
$$S_i = \frac{\bar{Q}_1 \varphi_{i1} + \bar{Q}_2 \varphi_{i2} + \bar{Q}_3 \varphi_{i3} + \dots}{\bar{Q}_1 \varphi_{01} + \bar{Q}_2 \varphi_{02} + \bar{Q}_3 \varphi_{03} + \dots} = \frac{\bar{Q}_1 a_{i1} \varphi_{01} + \bar{Q}_2 a_{i2} \varphi_{02} + \bar{Q}_3 a_{i3} \varphi_{03} + \dots}{\bar{Q}_1 \varphi_{01} + \bar{Q}_2 \varphi_{02} + \bar{Q}_3 \varphi_{03} + \dots}, \quad (3)$$

где $\bar{Q}_1$; $\bar{Q}_2$; $\bar{Q}_3$ —средне-многолетние расходы по каждому водотоку,

φ_{i1} ; φ_{i2} ; φ_{i3} —коэффициенты зарегулированности в годовом разрезе,

φ_{01} ; φ_{02} ; φ_{03} —коэффициенты зарегулированности по среднему году.

$$\eta_i = \frac{P_i}{P_0}$$



2096

Фиг. 4. Хронологический многолетний ход коэффициентов естественной зарегулированности стоков для нескольких рек Армянской ССР

$$a_{11} = \frac{\varphi_{11}}{\varphi_{01}}; \quad a_{12} = \frac{\varphi_{12}}{\varphi_{02}}; \quad a_{13} = \frac{\varphi_{13}}{\varphi_{03}}. \quad (4)$$

В общем случае коэффициент вариации сумм стоков будет выражаться формулой:

$$C_{V_{\text{ср}}}^2 = \frac{b^2 C_{V_1}^2 + 2br C_{V_1} \cdot C_{V_2} + C_{V_2}^2}{(1+b)^2}, \quad (5)$$

$$\text{где } C_{V_1} = \sqrt{\frac{\Sigma(k_1-1)^2}{n-1}}; \quad C_{V_2} = \sqrt{\frac{\Sigma(k_2-1)^2}{n-1}}; \quad C_{V_{\text{ср}}} = \sqrt{\frac{\Sigma(k_{\text{ср}}-1)^2}{n-1}}.$$

k_1 и k_2 — модульные коэффициенты годовых стоков рек,
 n — число лет наблюдений,

$$k_{\text{ср}} = \frac{bk_1 + k_2}{1+b},$$

$b = \frac{Q_1}{Q_2}$ представляет отношение средне-многолетних стоков,

r — коэффициент корреляции (связи) между стоками [3], который определяется формулой

$$r = \frac{\Sigma(k_1-1)(k_2-1)}{(n-1) C_{V_1} \cdot C_{V_2}}. \quad (6)$$

Рассмотрев частные и крайние случаи формулы (5), можно получить, что для рек, имеющих одинаковые коэффициенты вариации и полную синхронность в ходе стоков, при одинаковой водности их, коэффициент вариации суммы стоков будет тем же самым.

При полной синхронности стоков и одинаковой водности двух рек коэффициент вариации суммарного стока обеих рек будет:

$$C_{V_{\text{ср}}} = \frac{C_{V_1} + C_{V_2}}{2}. \quad (7)$$

Условия полной синхронности стоков следующие:

$$\frac{k_{1i} - 1}{k_{2i} - 1} = m,$$

где m — постоянное число.

Это означает, что коэффициент корреляции между стоками этих двух рек $r = 1,0$.

При разной водности двух рассмотренных рек

$$C_{V_{\text{ср}}} = \frac{b C_{V_1} + C_{V_2}}{1+b}. \quad (8)$$

При асинхронности стоков и при одинаковой водности рек

$$C_{v_{cp}}^2 = \frac{C_{v_1}^2 + C_{v_2}^2}{4} \quad (9)$$

Условие асинхронности $r = 0$, т. е. связи между стоками двух рек не существует.

При асинхронности и разной водности рек

$$C_{v_{cp}}^2 = \frac{b^2 C_{v_1}^2 + C_{v_2}^2}{(1+b)^2} \quad (10)$$

При полной антисинхронности стоков и при одинаковой водности рек

$$C_{v_{cp}} = \pm \frac{C_{v_2} - C_{v_1}}{2} \quad (11)$$

Условие полной антисинхронности (обратная связь) будет:

$$\frac{k_1 - 1}{k_2 - 1} = -m, \text{ т. е. при коэффициенте корреляции } r = -1,0.$$

Если же водность рек при этом различна, то

$$C_{v_{cp}} = \pm \frac{C_{v_2} - b C_{v_1}}{1+b} \quad (12)$$

Из последней формулы можно вывести условие, при котором $C_{v_{cp}}$ будет равно нулю, т. е.

$$\pm \frac{C_{v_2} - b C_{v_1}}{1+b} = 0.$$

Действительно, так как

$$C_{v_2} - b C_{v_1} = 0, \text{ то } \frac{C_{v_1}}{C_{v_2}} = \frac{1}{b}, \quad (13)$$

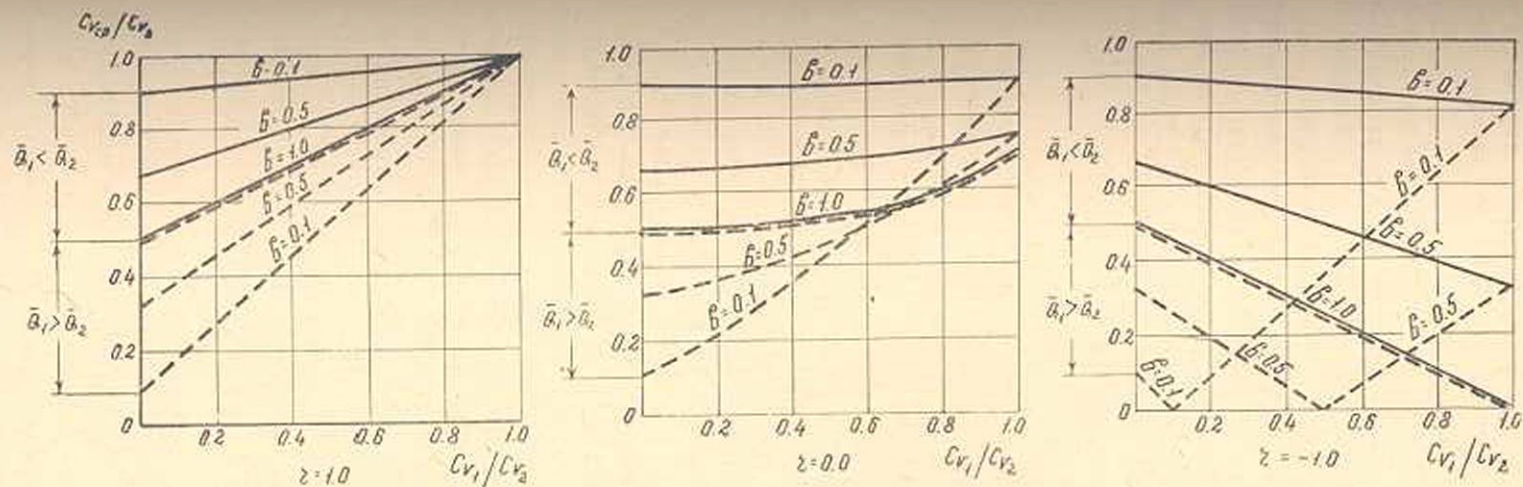
что указывает на то, что $C_{v_{cp}}$ может равняться нулю, если в условиях полной антисинхронности стоков отношение коэффициентов вариации двух рассматриваемых рек обратно пропорционально отношению средней водности этих рек.

Всякое отклонение от этого условия укажет на степень синхронности стоков рассматриваемых рек.

Из фиг. 5 можно получить значение $C_{v_{cp}}$ для двух водотоков при разных соотношениях их стоков (разное b) и разных значениях C_{v_1}/C_{v_2} для трех предельных случаев: при полной синхронности стоков, при асинхронности стоков и при полной антисинхронности их.

В реальных условиях будем иметь промежуточные значения указанных выше случаев.

Вопрос изучения многолетнего хода величин выработок в энергетической системе становится особенно актуальным при объединении энергосистем. При этом большое практическое значение имеет вопрос чередования годовых выработок нескольких систем, а также



а) полная синхронность.

б) асинхронность.

в) полная антисинхронность (обратная связь).

Фиг. 5. Графики для определения коэффициента вариации суммы (Cv_1) стоков двух рек.

При условии: $Cv_1 < Cv_2$, $\beta = \frac{Q_1}{Q_2}$, когда $\bar{Q}_1 < \bar{Q}_2$ и $\beta = \frac{Q_2}{Q_1}$, когда $\bar{Q}_1 > \bar{Q}_2$.

вопрос о том, как меняются требования к многолетнему регулированию. При этом необходимо от водности перейти к выработке электроэнергии, т. е. учитывать и влияние напоров ГЭС, каковые меняются в больших пределах.

Режим сезонных ГЭС при любом развитии энергетического куста не меняется, а режим регулирующего каскада меняется в зависимости от того, какие регулируемые (сезонные) станции на данном этапе войдут в общий энергетический куст.

Для выяснения синхронности и цикличности в колебаниях выработки ГЭС Армянской энергетической системы определены возможные годовые выработки, под которыми подразумевается выработка электроэнергии в году, подсчитанная с учетом графика обеспеченности расходов, пропускной способности деривации и турбин.

Годовая выработка подсчитана по формуле

$$W_i = \bar{Q}_0 \alpha_i \Delta W, \quad (14)$$

где $\bar{Q}_0$ — среднее-многолетний сток для данной реки в млн. м³, α_i — коэффициент использования стока для каждого года в пределах расчетного расхода деривации¹ (с учетом отбора воды различными водопользователями выше головного сооружения ГЭС),

ΔW — удельный коэффициент выработки в квтч/м³.

Исследование многолетнего хода годовых выработок ГЭС и каскадов Армянской гидроэнергетической системы показало, что при вводе в систему новых незарегулированных ГЭС или каскадов вариация годовых выработок регулируемого куста уменьшается (в зависимости от вариации выработок энергии и удельного веса данной ГЭС или данного каскада в общей системе, а также от степени синхронности выработки новой ГЭС или каскада с выработкой системы). Тем самым уменьшается и требование этого куста к многолетнему регулированию от регулирующих ГЭС или каскадов.

Так, например, при изолированной работе каскадов на двух реках Армении коэффициенты вариации годовых выработок электроэнергии имеют значения 0,045 и 0,080. При совместной работе этих же каскадов с коэффициентом корреляции $r = 0,5$, $C_{\text{вср}}$ получается — 0,045, при отношении средне-многолетних выработок $b = 0,38$ (см. фиг. 6).

При совместной работе всех каскадов ГЭС Армении коэффициент вариации выработок падает до 0,040, несмотря на то, что коэффициент вариации выработок рассматриваемых каскадов колеблется в пределах 0,030—0,150.

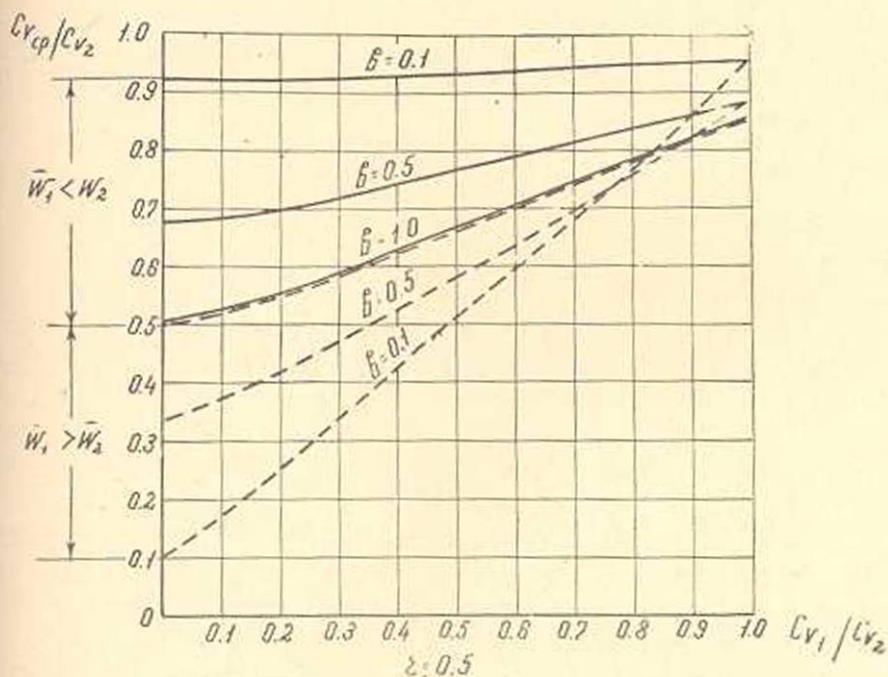
На фиг. 7 показано относительное отклонение годовых выработок от средней многолетней величины для рассмотренной системы.

При этом годовые выработки заменены модульными коэффициентами, получаемыми из соотношения:

¹ При пропускной способности деривации, равной средне-многолетнему расходу ($k = 1,0$) $\alpha_i = \varphi_i$.

$$S_{\text{выр}} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i}{\sum_{i=1}^n W} \quad (15)$$

где W_1, W_2, W_3 — соответствующие годовые выработки отдельных ГЭС или каскадов в млн. *квтч*, а $\bar{W}_1, \bar{W}_2, \bar{W}_3$ — средние многолетние выработки в млн. *квтч*.



Фиг. 6. Коэффициент вариации ($C_{v_{ср}}$) суммы годовых выработок двух каскадов.

Фиг. 7 показывает, что при совместной работе многих ГЭС и каскадов можно достигнуть результатов, при которых уменьшается отрицательное влияние естественных условий в чередовании водности рек и сокращаются амплитуды колебаний выработок.

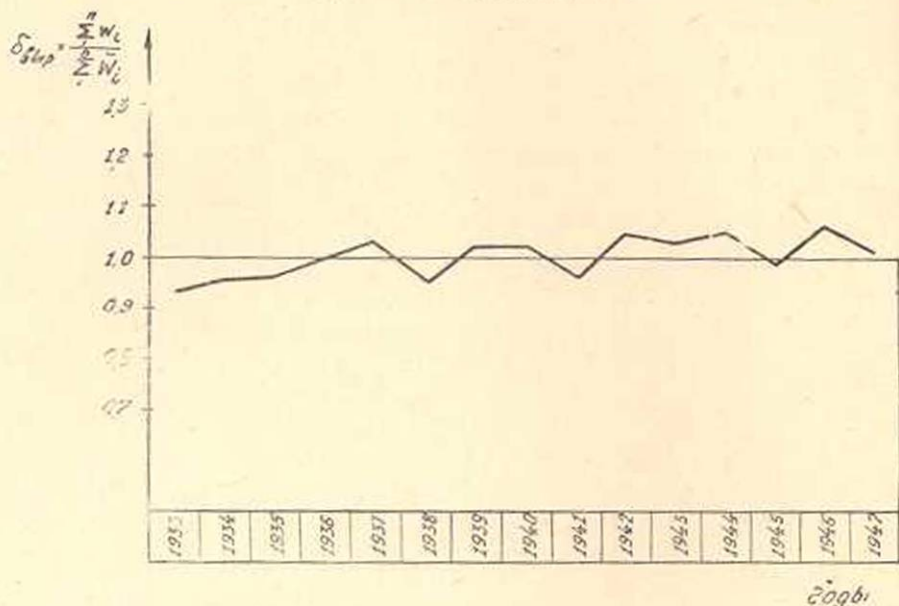
На все это, как видно из вышеуказанного, влияют:

а) независимость используемой части годового стока реки на гидростанциях от суммарного стока реки для данного года, б) различие в напорах ГЭС, в) степень асинхронности стоков в различных пунктах одной и той же реки.

В результате получается, что отрицательное влияние на колебания выработок ГЭС периодичности и синхронности годовых стоков рек сильно ослабляется для годовых суммарных выработок гидро-системы, состоящей из сезонных ГЭС. Так, для Армянской энергосистемы суммарная выработка незарегулированных каскадов отклоняется от средней на 5–6%, с продолжительностью в 2–3 года

(см. фиг. 7), в то время как отклонения годовых стоков от среднего многолетнего достигают 10—15% при продолжительности такого отклонения в 8—10 лет.

Таким образом, энергетическая система, состоящая из сезонных



Фиг. 7. Относительное отклонение годовых выработок от средней многолетней величины.

ГЭС, при совместной работе их дает значительно меньшие колебания в выработках, чем это имеет место для годовых стоков рек. Одновременно, сравнивая колебания в выработках системы с такими для отдельных ГЭС или отдельных каскадов ГЭС, можно считать на основании предыдущего доказанным, что энергосистема сезонных ГЭС, как правило, работает с большей устойчивостью и предъявляет меньше требований к общей системе в отношении многолетнего регулирования, чем отдельные гидростанции или их каскады.

Водно-энергетический институт
Академии наук Армянской ССР

Поступило 6 VII 1951

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколовский Д. Л. — Водные ресурсы рек промышленного Урала и методика их расчетов. Труды НИУ ГМС, серия IV, вып. 7. Гидрометеиздат, Л., 1943.
2. Соколовский Д. Л. — Гидрологические и водохозяйственные расчеты при проектировании малых ГЭС. Труды НИУ ГМС СССР, сер. IV, вып. 36. Гидрометеиздат, Л., 1946.
3. Поляков Б. В. — Гидрологический анализ и расчеты. Гидрометеиздат, Л., 1946.

4. Елпидинский А. Я.—Кривые обеспеченности суточных расходов и их применение к расчетам энергоресурсов рек. Труды ГГИ, вып. 9 (63). Гидрометеониздат, Л., 1948.
5. Андреев В. Г.—Построение кривых обеспеченности суточных расходов и кривых использования стока при отсутствии наблюдений. Труды ГГИ, вып. 14 (68). Гидрометиздат, Л., 1949.
6. Шульц В. Л.—Реки Средней Азии, Гос. издательство географической литературы, М., 1949.

Մ. Ս. Բարսեղյան

ԳԵՏԵՐԻ ՀՈՍՔԻ ՑԻԿԼԱՅԻՆ ԸՆԹԱՑՔԸ ԵՎ ՆՐԱ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԼԵԿՏՐՈՆԵՐԳԻԱՅԻ ԱՐՏԱԴՐԱՆՔԻ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա Մ Փ Ո Փ Ա Ւ Մ

Հոդվածում դիտվում է ջրառակալ և ջրառատ տարիների հերթագայության հարցը, բնական հոսքով աշխատող հիդրոկայաններից կազմված հիդրոսխեմայի ջրատնտեսական հաշվարկումները հշտելու նպատակով:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ Հայաստանի գետերի տարեկան հոսքի բազմամյա շարքում նկատվում են ջրառակալ և ջրառատ տարիների խմբավորումներ: Բացի այդ ինչպես մի գետի տարբեր հատվածների, այնպես էլ տարբեր գետերի հոսքերի միջև նկատվում է սինխրոնիկություն:

Մյուս կողմից հոսքի տարամիջյան բաշխման և բնական կանոնադրվածության հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ այդ բաշխման մեջ նկատվում է ցիկլային բնթացք, իսկ սինխրոնիկությունը մոդուլային գործակիցների միջև վերանում է:

Աշխատության մեջ տրվում է անալիտիկ ֆորմուլաներ և կորեր երկու գետերի հոսքերի գումարի վարիացիայի գործակցի որոշման համար, կազմված սինխրոնիկության աստիճանից և առանձին գետերի հոսքերի վարիացիայի գործակցից:

Հայտարարված օրինաչափությունները և բնութագրերը օգտագործված են կոնկրետ հիդրոկայանների կառուցողների աշխատանքի անալիզի համար, որոշված է չկանոնավորված սխեմայի գումարային տարեկան էներգիայի փոփոխականությունը և ստացված են տվյալներ սխեմայի բազմամյա կանոնավորման անհրաժեշտ պահանջը որոշելու համար: