

Э. В. Амбарцумян

### К вопросу об оптимальном режиме гидросистемы, включающей гидростанцию, работающие по режиму, диктуемому ирригацией

Вопросы режима работы гидростанции в зависимости от гидрологической характеристики водотока и при его комплексном энергетически-ирригационном использовании слабо освещены в литературе.

По этому поводу д. т. н. В. Г. Айвазян [3] пишет:

„Приведенные соображения позволяют считать вполне своевременным заняться изложенными вопросами и установить общую методику экономического обоснования энергетических характеристик гидроэлектростанций как при энергетическом режиме, так и при ограничении их режима смежными водопользователями“.

Вопросу режима работы гидростанций на водотоках различных типов посвящена статья к. т. н. С. В. Клопова [4]. Однако эта работа не касается случая комплексного использования водоемкости. Между тем плановое развитие народного хозяйства весьма способствует эффективности применения этого мероприятия ввиду того, что в руках государства находится согласование интересов отдельных водопотребителей.

Этот путь уже нашел широкое развитие в народном хозяйстве Союза. Закавказье и Среднеазиатские республики являются пионерами в этом деле.

Возникает необходимость исследовать работу гидростанции в условиях комплексного использования водоемкости с целью установления ее оптимального режима, соответствующего доведению до минимума потребности в регулирующей энергии.

Изолированная гидростанция, работающая по режиму, диктуемому ирригацией, не в состоянии обеспечить народное хозяйство электроэнергией требуемого качества, так как ирригационные попуски из водохранилища имеют резко выраженный сезонный характер с максимальными расходами в июле и августе месяцев. Поэтому необходимо регулирование такой станции в годовом и многолетнем разрезе.

В настоящей статье рассматривается вопрос наличия только годичного регулирования.

Многолетнее регулирование должно производиться на основе привятых в литературе общих методов. Вопросы суточного регулирования должны являться предметом особых исследований. Ниже приводится анализ режима работы гидроэнергетической системы, включающей в себя: 1) станции, работающие на ирригационных попусках ( $\Gamma_{ир}$ ), 2) станции, работающие на естественном стоке водосточника ( $\Gamma_{ест}$ ) и 3) станции, регулирующие в сезонном разрезе ( $\Gamma_{рег}$ ).

Работа системы, включающей в себя  $\Gamma_{ир}$ , своеобразна, так как режимы станций  $\Gamma_{ест}$  и  $\Gamma_{ир}$  отличны друг от друга, благодаря чему возможно взаимное регулирование, что в известной степени уменьшает величину потребной дорогой регулирующей электроэнергии.

Перед нами стоят следующие задачи:

1. Определить регулируемую способность  $\Gamma_{ир}$  для гидросистемы, включающей в себя  $\Gamma_{ест}$ , и установить оптимальный режим системы.

2. Определить оптимальную обеспеченную мощность  $\Gamma_{ест}$ , включаемую в рассматриваемую систему.

Режим работы  $\Gamma_{ест}$  зависит, как известно, от режима водотока.

Б. Д. Зайков [2, стр. 43] режим рек Кавказа классифицировал по 3 группам:

1. Реки с половодьем в теплую часть года, характеризующиеся одним максимумом летом, в июне, июле или августе, и одним минимумом зимой.

2. Реки с весенним половодьем, имеющие годовой ход стока, характеризующийся двумя максимумами и соответственно двумя минимумами.

Главный весенний максимум большей части рек данной группы приходится на май и только на некоторых реках падает на апрель. Второстепенный максимум наблюдается осенью, в октябре—ноябре. Основной минимум наблюдается в зимние месяцы.

3. Реки с паводочным режимом. Главный максимум на этих реках наступает в апреле, а второстепенный—зимою, в декабре.

Основной минимум падает на конец лета, начало осени (август—сентябрь), а второстепенный—на январь.

Эти группы включают в себя реки разных типов. В настоящей работе рассмотрены реки второй группы, как наиболее распространенные на Кавказе. (Эти реки в работе Зайкова отнесены к типам за №№ 12, 13, 14, 15).

Исследования показали, что в случае, когда требуется регулирование гидросистемы, включающей и  $\Gamma_{ест}$ , и  $\Gamma_{ир}$ , необходимо меньше регулирующей энергии, чем в случае, когда регулируется одна сезонная или одна ирригационная станция.

Нами рассмотрены два случая:

1) когда  $\Gamma_{ест}$  и  $\Gamma_{ир}$  регулируются независимо друг от друга и

2) когда  $\Gamma_{сез}$  и  $\Gamma_{ир}$  регулируются совместно, т. е. когда они включены в одну энергетическую систему.

На рис. 1 даны графики к этим двум случаям.

Первые два графика относятся к первому случаю, третий график — ко второму.

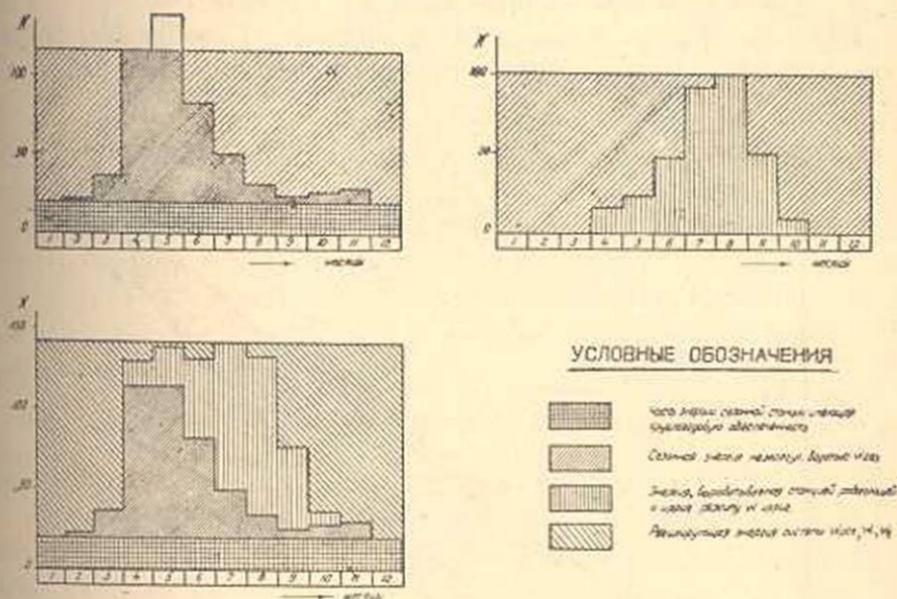


Рис. 1.

Граф. 1: Выработка электрической энергии по режиму водотока и его регулирование.

Граф. 2: Выработка электрической энергии по ирригационному режиму и его регулирование.

Граф. 3: Оптимальный режим работы системы при включении в нее  $\Gamma_{ир}$  и  $\Gamma_{сез}$ .

Для выравнивания первого и второго графиков требуется количество энергии  $W_1$  и  $W_2$  соответственно. Уровень, до которого производится выравнивание этих графиков, равен  $N_{\max, ир}$  и  $N_{сез}$ , где  $N_{сез}$  мощность станции с заданной 3-х—4-месячной обеспеченностью.

Для выравнивания третьего графика, соответствующего случаю, когда  $\Gamma_{ир}$  и  $\Gamma_{сез}$  включаются в одну систему, требуется количество регулирующей энергии, равное  $W_{рег}$ . При этом  $W_{рег} < W_1 + W_2$ . Но уровень, до которого будет отрегулирована новая объединенная система, равен  $N_{сист} < N_{\max, ир} + N_{сез}$ . Следовательно, для того, чтобы сравнить рассмотренные два случая, необходимо величину потребной регулирующей энергии для первого случая изменить в отно-

$$\text{шении } \frac{N_{сист}}{N_{ир} + N_{сез}}.$$

Сравнение рассмотренных двух систем дано на рис. 2, показы-

вающем изменении требуемой регулирующей энергии в связи с вливанием в систему сезонной энергии.

Для случая I это изменение происходит по кривой (А). Для случая II изменение  $W_{\text{рег}}$  в зависимости от изменения  $W_{\text{сез}}$  происходит по кривой (В), отстоящей от линии (А) на расстоянии, равном регулирующей способности ирригационной станции.

Разность ординат кривой (А) и кривой (В) изображает регулирующий эффект ирригационной станции при совместной работе  $\Gamma_{\text{ир}}$

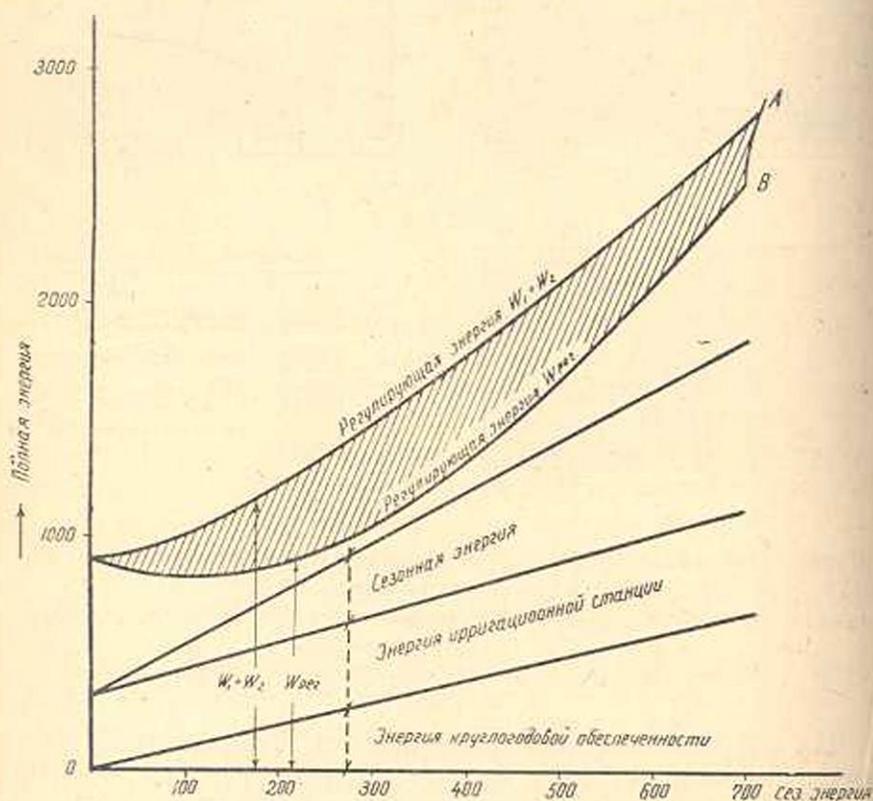


Рис. 2. Изменение потребной регулирующей энергии в связи с вливанием в систему сезонной энергии.

и  $\Gamma_{\text{сез}}$ . Эта разность возрастает до некоторой определенной величины и далее остается постоянной, т. е. регулирующие возможности  $\Gamma_{\text{ир}}$  исчерпываются.

Тангенсы углов наклона к оси абсцисс касательных к кривым (А) и (В) в любой их точке характеризуют изменение величины требуемой регулирующей энергии в связи с вливанием в систему сезонной энергии.

Для иллюстрации сказанного приводится таблица 1.

Из вышесказанного видно, что энергия ирригационной станции является в известной мере регулирующей для сезонных гидростанций и способствует выравниванию графиков работы последних.

Таблица 1

Типы рек по классификации Б. Д. Зайкова [2, стр. 43]	Энергия, требуемая при совместной работе Г <sub>ир</sub> и Г <sub>сез</sub> на 1 квтч энергии	Энергия, требуемая для регулирования при изолированной работе Г <sub>ир</sub> и Г <sub>сез</sub> в квтч
Тип 12	1,12	1,54
Тип 13	1,25	1,45
Тип 14	1,26	1,80
Тип 15	1,43	1,75

Настоящая работа преследует цель определить параметры такой системы, в которой на единицу сезонной электроэнергии приходилось бы минимальное количество регулирующей энергии, т. е. чтобы отношение сезонной энергии  $W_{сез}$  к регулирующей энергии  $W_{рег}$  стремилось бы к максимуму (под сезонной энергией здесь понимается энергия  $\Gamma_{сез}$  работающих по гидрографу среднегоидрологического года за вычетом энергии, получаемой по мощности, обеспеченной в течение всего года и энергии станций, работающих по ирригационному графику).

Отношение  $\frac{W_{сез}}{W_{рег}}$  мы принимаем за критерий оптимального режима гидросистем и обозначаем через коэффициент  $\alpha$ .

Для иллюстрации пределов изменения коэффициента  $\alpha$  на рис. 3 приведены значения этого коэффициента для некоторых зарегулированных гидроэнергосистем, где ирригационные попуски, используемые гидростанцией, остаются постоянными, а величина сезонной энергии возрастает. Режим работы этих станций характеризуется графиками, изображенными на том же рис. 3.

Величина коэффициента  $\alpha$  повышается—доходит до оптимума, а затем постепенно снижается. С момента начала снижения коэффициента  $\alpha$  регулирующая способность ГЭС, работающей на ирригационных попусках, начинает падать.

Переходим к характеристике изменения коэффициента  $\alpha$  в зависимости от величины процента обеспеченности установленной мощности  $\Gamma_{сез}$  в годовом разрезе.

Коэффициент  $\alpha$  определяется с учетом степени обеспеченности установленной мощности  $\Gamma_{сез}$  и соотношения мощностей станций  $\Gamma_{сез}$  и  $\Gamma_{ир}$ , что видно из графиков рис. 4—7.

В графиках рис. 4—7 приняты величины отношения среднегодовой мощности сезонных станций  $N_{ср. год. сез}$  к максимальной мощности станций  $N_{макс. ир}$ , равные 0,25, 0,5, 0,75, 1,0 и 1,5. При этом рассмотрены варианты системы при разных размерах обеспеченности установленной мощности  $\Gamma_{сез}$  (6-ти, 4-х, 3-х, 2-х и 1-месячной) и при разных значениях отношения  $\frac{N_{ср. год. сез}}{N_{макс. ир}}$  (сплошные линии на графиках).

По этим данным вычислены значения  $\alpha$  в зависимости от величины сезонной энергии, вливаемой в систему.

Все точки графика, соответствующие одинаковым степеням обеспеченности установленной мощности для разных значений  $\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. пр}}}$ , соединены пунктирными линиями. Получаемое из графика

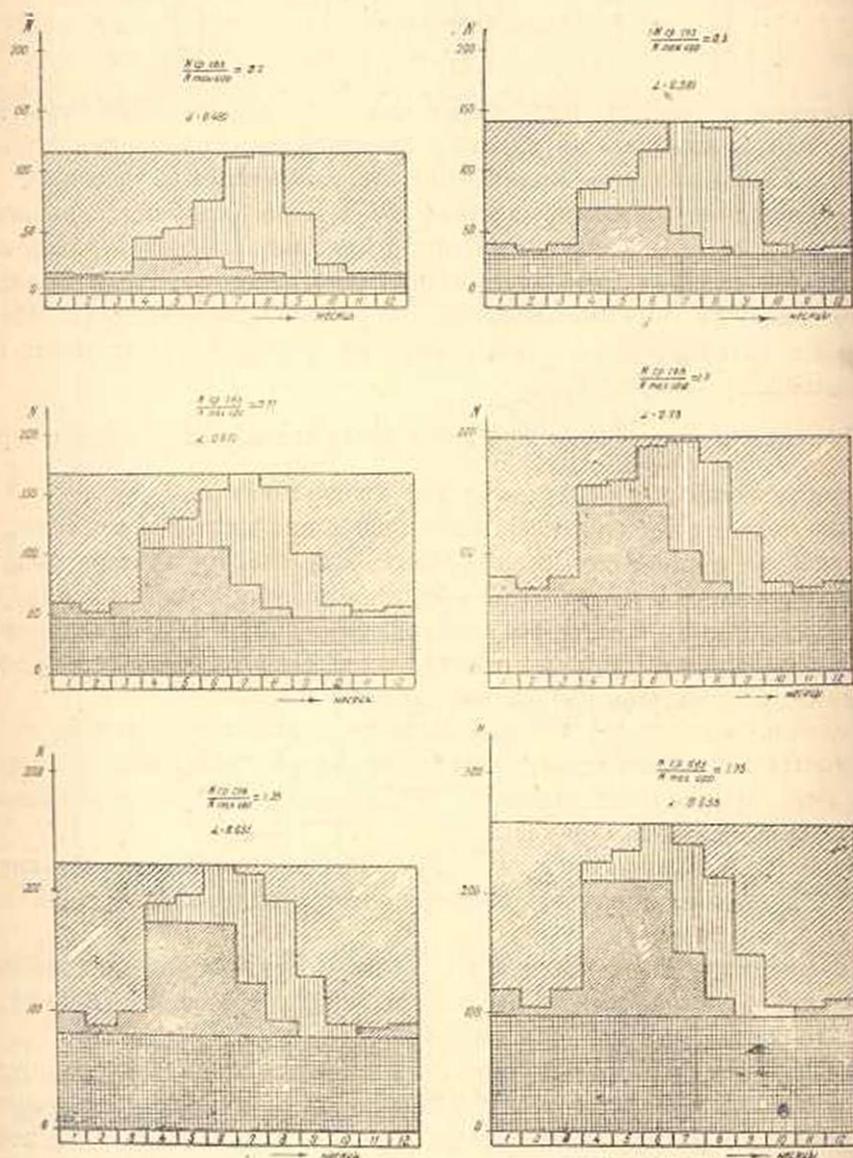


Рис. 3. Динамика коэффициента  $\alpha$  в зависимости от величины регулируемой сезонной энергии.

максимальное значение  $\alpha$  будет соответствовать наивыгоднейшему проценту обеспеченности мощностью и наивыгоднейшему соотношению

отношению  $\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. пр}}}$  при заданном режиме  $\Gamma_{\text{сез}}$ .

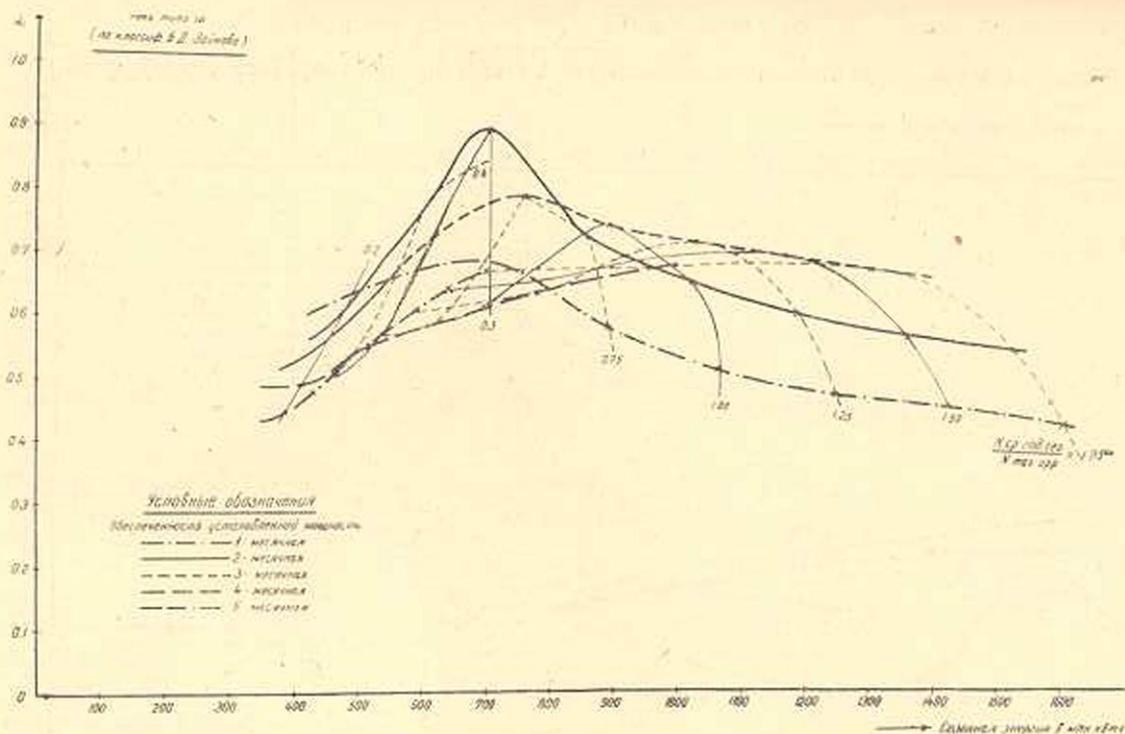


Рис. 4. Кривые изменения коэффициента  $\alpha$  в зависимости от степени обеспечения мощности сезонных станций и соотношения  $\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. пр}}}$ .



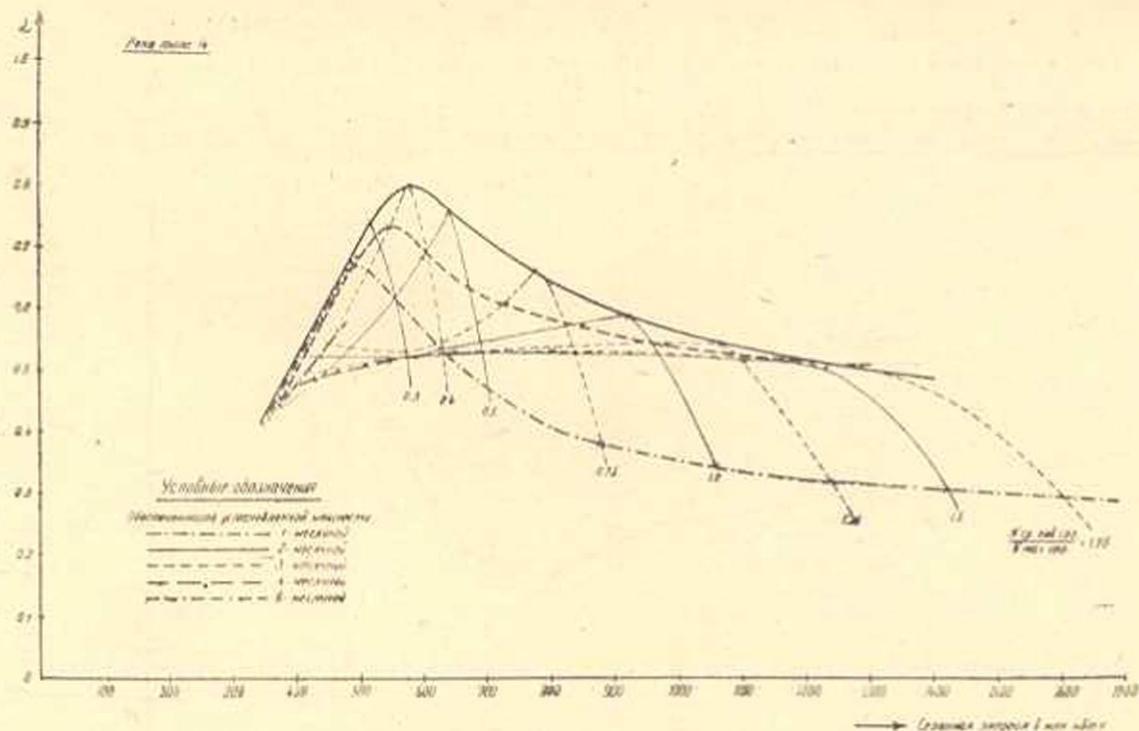


Рис. 6. Кривые изменения коэффициента  $\alpha$  в зависимости от степени обеспеченности мощности сезонных станций и соотношения  $\frac{N_{\text{нр. год. сез}}}{N_{\text{макс. пр}}}$ .

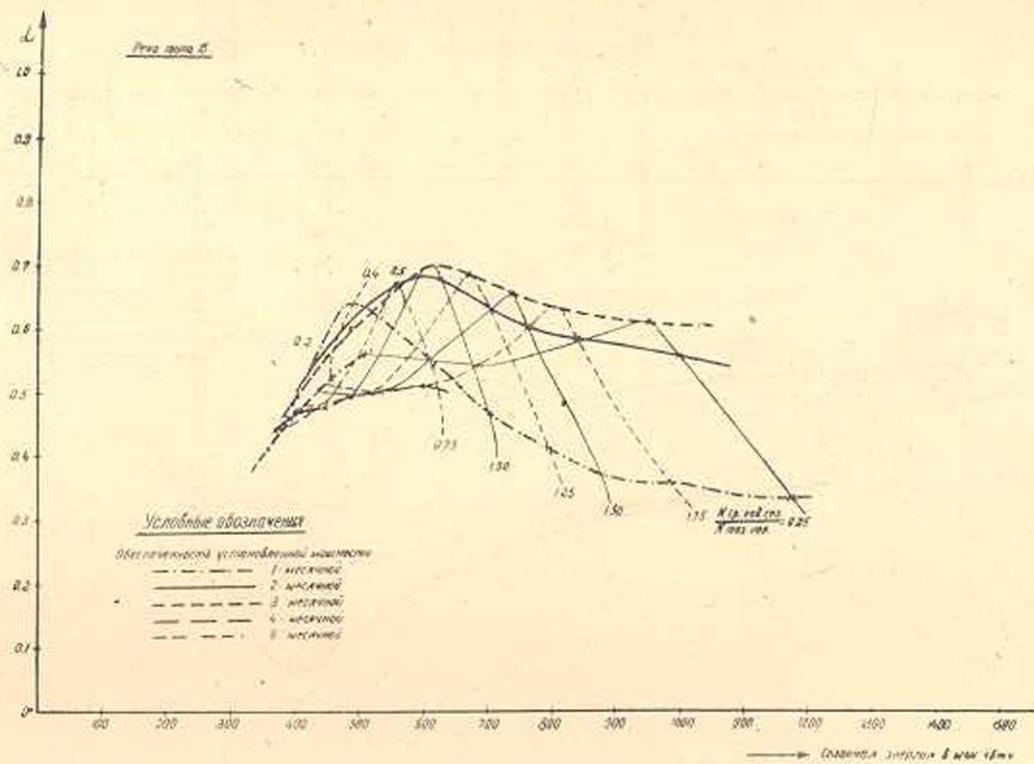


Рис. 7. Кривые изменения коэффициента  $\alpha$  в зависимости от степени обеспечения мощности сезонных станций и соотношения  $\frac{N_{\text{сер. год. сез}}}{N_{\text{макс. вр}}}$ .

Для одного из рассматриваемых типов рек (тип 15) приводим таблицу 2 изменения  $\alpha = \frac{W_{\text{сез}}}{W_{\text{рег}}}$  при разных отношениях  $\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. вр}}}$  и при разных степенях обеспеченности.

Таблица 2

Обеспеченность установленной мощности в году (месяцы)	$\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. вр}}}$							
	0,2	0,4	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75
6	0,41	0,42	0,43	0,44	0,47	0,48	0,50	0,52
4	0,44	0,47	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51
3	0,48	0,56	0,58	0,64	0,70	0,68	0,65	0,64
2	0,49	0,57	0,60	0,67	0,69	0,63	0,60	0,59
1	0,52	0,64	0,68	0,54	0,46	0,41	0,37	0,36

Как было отмечено, наиболее правильно выбранной будет та система, у которой  $\alpha$  имеет максимальное значение, т. е., когда для регулирования 1 квтч сезонной энергии требуется наименьшее количество регулирующей энергии.

Для реки типа 15  $\alpha=0,70$ , что соответствует случаю, когда отношение  $\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. вр}}} = 1,0$ .

Следовательно, для рек типа 15 нужно, чтобы вливаемая в систему сезонная энергия отвечала бы условию:  $\frac{N_{\text{ср. год. сез}}}{N_{\text{макс. вр}}} = 1,0$ . При этом обеспеченность сезонной энергии в году получается 3-месячной. Значения  $\alpha$  для рек различных типов различны. Максимальные значения этого коэффициента, взятые из графиков рис. (4-7), приведены в таблице 3.

Таблица 3

Типы рек	Наивыгоднейшая обеспеченность сезонной станции в году	$\alpha = \frac{W_{\text{сез}}}{W_{\text{рег}}}$	Необходимое количество рег. энергии на 1 квтч сезонной энергии в квтч
Тип 12	2-месячная	0,89	1,120
Тип 13	3-месячная	0,79	1,265
Тип 14	3-месячная	0,79	1,215
Тип 15	2-месячная	0,70	1,428

Приведенные графики и таблицы устанавливают оптимальные размеры потребной регулирующей электроэнергии для гидросистем, работающих на реках рассматриваемых типов и включающих в себя  $\Gamma_{\text{вр}}$  и  $\Gamma_{\text{сез}}$ .

Численное выражение коэффициента  $\alpha$  для рассматриваемых типов рек колеблется от 0,7 до 0,9.

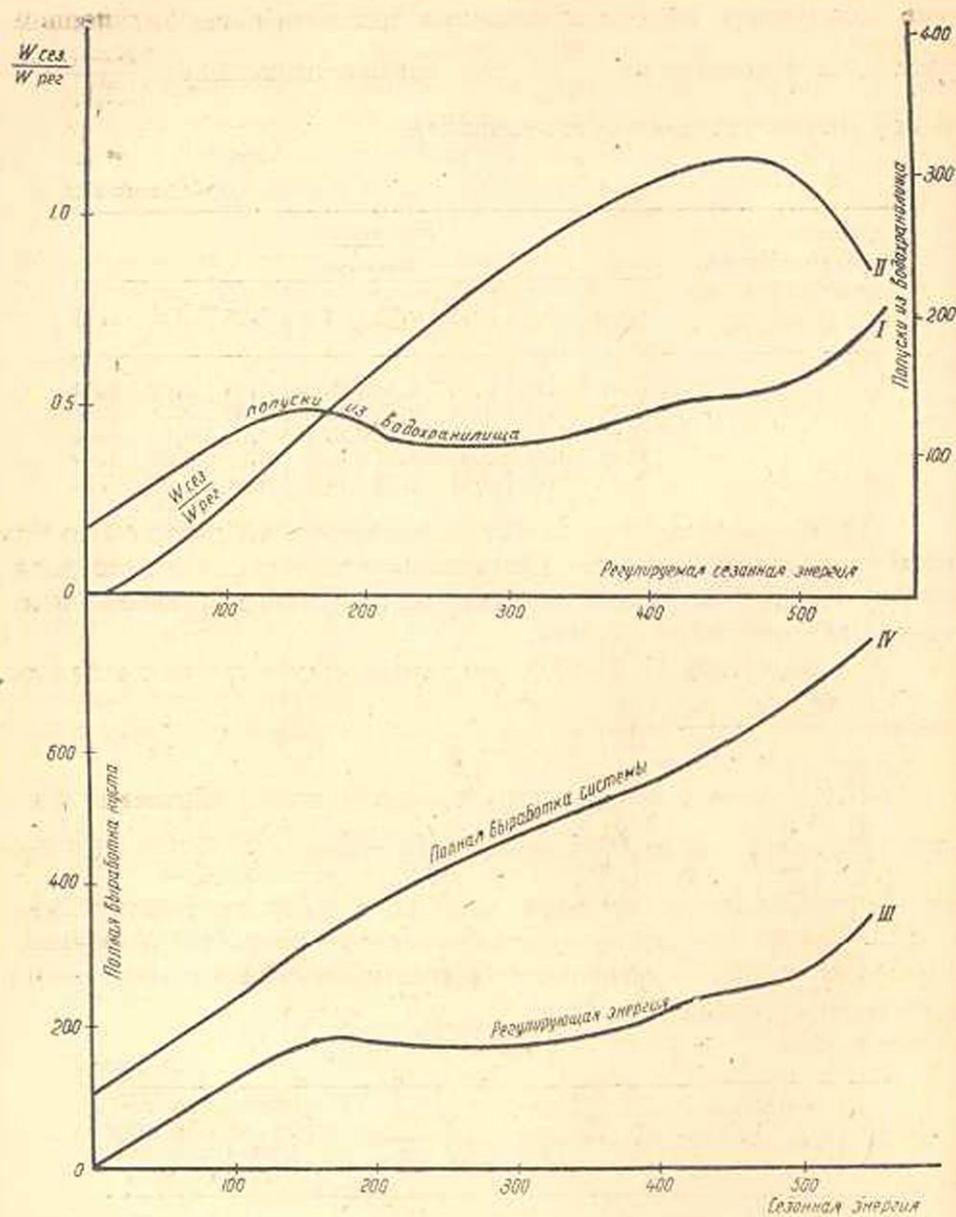


Рис. 8. Схема изменения энергетических показателей системы.

На рисунке 8 дана характеристика гидросистемы, включающей  $\Gamma_{\text{сез}}$ ,  $\Gamma_{\text{ир}}$  и  $\Gamma_{\text{рег}}$ . Из рисунка видно, что до некоторого определенного предела влияние в систему сезонной энергии не влечет за собой увеличения требуемой регулирующей энергии или, что то же, увеличения попусков из водохранилища сезонного регулирования, а наоборот, уменьшает потребные попуски, что видно из рис. 8, кривая I.

Кривая II, характеризующая значение коэффициента  $\alpha = \frac{W_{\text{сез}}}{W_{\text{рег}}}$ ,

резко поднимается вверх в связи с тем, что вливание новых порций сезонной энергии не требует увеличения регулирующей энергии, доходит до своего максимального значения и резко падает вниз. С момента уменьшения значения коэффициента  $\alpha$  требуемое количество регулирующей энергии сильно увеличивается (кривая III). Кривая IV характеризует изменение общей выработки рассматриваемой гидросистемы.

Статья освещает вопросы режима, не затрагивая экономической стороны вопроса. Энерго-экономические расчеты, по определению предельной величины капитальных вложений на дополнительный квт мощности сезонной станции, в зависимости от степени обеспеченности мощности, являются предметом дальнейших исследований.

### В ы в о д ы

1. Гидростанция, работающая на ирригационных попусках, является в известной мере регулятором гидростанций, работающих на сезонном стоке реки.

2. При параллельной работе двух гидростанций, из которых одна работает в соответствии с режимом водотока, а другая на ирригационных попусках, требуется меньше регулирующей электроэнергии, чем в случае, когда гидросистема не включает в себя ГЭС, работающую по ирригационному графику.

3. В зависимости от характера стока, при кратковременной (2—3-месячной) обеспеченности установленной мощности  $G_{сез}$ , работающей совместно с  $G_{ир}$ , требуется меньше регулирующей энергии, чем если бы  $G_{сез}$  имела большую обеспеченность (4—6-месячную).

4. Исследования дают возможность установить способ расчета по определению регулирующих возможностей  $G_{ир}$ .

Водно-энергетический институт  
Академии наук Армянской ССР

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. И. В. Егиазаров—Гидро-электрические силовые установки, ч. 1, 1924.
2. Б. Д. Зайков—Средний сток и его распределение в году на территории Кавказа. Тр. НИУ, сер. IV, вып. 40, Ленинград, 1946.
3. В. Г. Айвазян—Определение расчетных норм обеспеченности гидростанций. Гидр. строит-во, № 5, 1947.
4. С. В. Клопов—Некоторые вопросы развития гидроэнергетики в горных районах. Гидр. строит-во, № 3, 1948.

## Է. Վ. Համբարձումյան

ՈՌՈԳՄԱՆ ԹԵԼԱԴՐԱԾ ՌԵԺԻՄՈՎ ԱՇԽԱՏՈՂ ՀԻԴՐՈԿԱՅԱՆՆԵՐԻ  
ՀԻԴՐՈՍԻՍՏԵՄԻ ՕՄՏԻՄԱԼ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

## Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածում քննարկվում է էներգետիկ սխեմներ՝ բաղկացած սուղման սեփիմով աշխատող կայաններից, սեղոնային սեփիմով աշխատող կայաններից և կարգավորող սեփիմով աշխատող կայանից:

Քննարկման արդյունքն են հանդիսանում հետևյալ եզրակացությունները.

1. Հիդրոէլեկտրոկայանը, որն աշխատում է սուղման թողարկումների վրա, որոշակի իմաստով հանդիսանում է դեռևս սեղոնային հոսքի վրա աշխատող հիդրոէլեկտրոկայանի համար կարգավորիչ:

2. Երկու հիդրոէլեկտրոկայանների զուգահեռ աշխատանքի ժամանակ, երբ նրանցից մեկն աշխատում է ջրաղբյուրի բնական հոսքով, իսկ երկրորդը սուղման թողարկումների վրա, պահանջվում է ավելի պակաս կարգավորող էլեկտրոէներգիա, քան այն դեպքում, երբ հիդրոսխեմում չկա սուղման գրաֆիկով աշխատող կայան:

3. Հաստատված  $\Gamma_{\text{сез}}$  հոսքության ցածր (2—3 ամսյա) ապահովության դեպքում, որն աշխատում է  $\Gamma_{\text{нр}}$  ի հետ համատեղ, կախված հոսքի բնույթից, պահանջվում է ավելի պակաս կարգավորող էներգիա, քան եթե  $\Gamma_{\text{нр}}$  ունենար ավելի բարձր (4—6 ամսյա) ապահովվածություն.

4. Ուսումնասիրությունները հնարավորություն են տալիս հաշվելու  $\Gamma_{\text{нр}}$  ունեցած կարգավորման հնարավորությունները. հայտնաբերված է  $\Gamma_{\text{нр}}$  նախնական կարգավորման հնարավորությունը և վերջինիս աճման դինամիկան՝ կախված կարգավորիչ սեղոնային էներգիայի քանակից: