ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ, սերիա XXVI, № 5, 1973 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

В. М. ГАВРИЛОВ

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ГРАФИКА РАБОТЫ ВОДОХРАНИЛИЩА

Оперативное управление работой водохранилища проводится на основе диспетчерских графиков, которые наглядно закрепляют правила регулирования речного стока, определяя порядок сработки и наполнения водохранилища по условию наилучшего удовлетворения интересов привязанных к нему водопотребителей и водопользователей. Выбор таких правил может быть надежно обоснован после рассмотрения логически связанных вариантов зависимостей между режимом работы водохранилища и полнотой покрытия требований.

Известно, что речной сток является вероятностным процессом, и любой показатель его использования должен иметь вероятностную оценку. Существующие методики построения правил использования водохранилища, закрепляемых в диспетчерских графиках, изложены в работах [1, 4, 5 и др.]. Они направлены на уточнение емкости водохранилища, в основном, ее сезонной составляющей, при заданных, а не экономически обоснованных, ограничениях и условиях вододеления между участниками комплекса, при заданной обеспеченности покрытия требований. Эти методики одновременно с графическим корректированием и закреплением назначенных правил регулирования речного стока предусматривают проведение графических построений для выявления зон на диспетчерских графиках, где в зависимости от объема поступлений и запасов воды в водохранилище указывается та или иная величина повышения или понижения (урезки) покрытия отраслевых заявок на воду. Назначение зон повышенной или пониженной отдачи водохозяйственной установки создает некоторую гибкость для принятия водохозяйственных решений, но не может быть альтернативой строгого подхода к выдерживанию или изменению обеспеченности, к вероятностной оценке показателей покрытия требований к этой установке. Громоздкость и субъективность построений существующих диспетчерских графиков затрудняет многовариантное рассмотрение влияния изменений режимов работы водохранилища на показатели эксплуатации установки.

Развитие теории вероятностных расчетов регулирования речного стока и применение ЭВМ позволяют определять емкость водохранилища и разрабатывать правила его использования многовариантно и без построения диспетчерских графиков, вводя в расчет при его алгорит-

мизации наборы сочетаний любых ограничений. В этих условиях прежняя роль таких графиков в разработке водохозяйственных решений в значительной мере утрачивается, хотя потребность в них остается.

Изложенные обстоятельства могут рассматриваться с позиции теории регулирования речного стока как предпосылки к проведению дальнейшего совершенствования диспетчерских графиков.

Речной сток может быть представлен как случайный процесс с дискретным временем при осреднении расходов воды в реке по внутригодовым интервалам времени. Известные научные труды [2, 3 и др.] и результаты исследований, проведенных в Московском гидромелиоративном институте, позволяют выбирать длину этих интервалов в зависимости от глубины регулирования и типа питания реки; установлено, что при наличии емкости водохранилища для сезонного регулирования реки во многих случаях достаточно осреднение ее расходов в месячном интервале или, реже, в декадном.

Речной сток за каждый внутригодовой интервал времени колеблется во многолетнем разрезе и как случайная величина может быть описан функцией распределения ее вероятностей (кривой обеспеченности). Допустимо границы временного интервала жестко закреплять календарными датами во всех наблюдавшихся гидрографах [3, 7]. В параметрах этой функции учтена корреляция между водностью смежных и несмежных периодов времени.

Полученные безусловные функции распределения вероятностей величин стока реки за все внутригодовые периоды времени представляют собой вероятностную характеристику процесса речного стока, необходимую для построения диспетчерских правил управления работой водохранилища, что и является одной из основных теоретических предпосылок для формирования и решения рассматриваемой в настоящей статье задачи.

В порядке уточнения поставленной задачи необходимо отметить, что для конкретного этапа эксплуатации водохранилища допускаются практически неизменными: условия формирования речного стока, геометрические характеристики рабочей (полезной) емкости для регулирования стока реки, графики внутригодового использования этой емкости. Потери воды на испарение и фильтрацию задаются зависимостями от наполнения водохранилища по внутригодовым периодам времени.

Конечной целью настоящей работы является получение системы графиков, номограмм и таблиц, которая позволяла бы:

во-вторых, строго выдерживать ход уровней в водохранилище при требуемой степени обеспеченности попусков воды для заинтересованных сторон и определять последствие отклонений от этой линии хода уровней, которые могут быть сделаны для реализации избытков или сглаживаний дефицитов притока;

во-вторых, корректировать положение линии хода уровней воды в водохранилище при необходимости покрывать возросшие требования к водоисточнику и определять обеспеченность отраслевых интересов,

если остальные исходные условия постановки задачи (условия формирования речного стока и геометрия чаши водохранилища) не меняются.

Решение поставленной задачи целесообразно рассмотреть, анализируя условия соответствующего управления регулированием речного стока. Пусть емкость водохранилища определена по условию покрытия требований с какой-либо обеспеченностью (что уже найдено оптимальным с точки зрения экономической эффективности работы системы «река—водохранилище—водопотребитель»), известно положение нормального подпорного уровня (НПУ) и уровня наибольшей сработки или мертвого объема (УМО), а также положение уровней водохранилища по границам расчетных внутригодовых интервалов. Иначе говоря, имеется возможность графически воспроизвести ход уровней сработки и наполнения водохранилища (линия $a—m$ на рис. 1, *а, б, в*, где разбивка года произведена на расчетные интервалы времени месячной длины) при заданной степени надежности обеспечения выбранного режима оптимального использования водохозяйственной установки. Линия $a—m$ может быть названа гарантирующей или линией оптимального режима работы водохранилища.

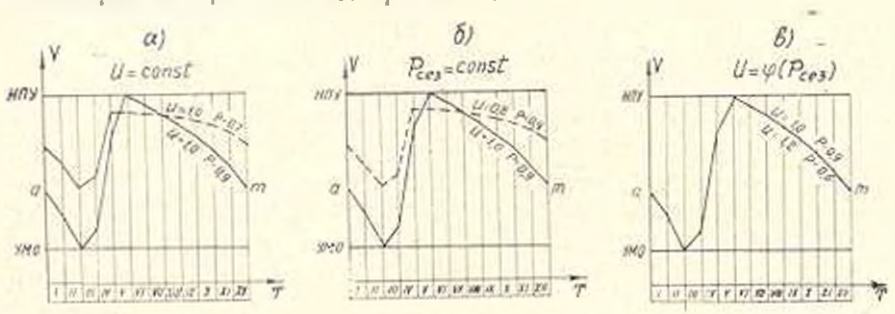

Рис. 1.

Особенностью этой линии является то, что она диктует сработку или наполнение водохранилища в зависимости от знака разности между объемом притока воды M_p (вероятность превышения которого P равна требуемой степени многолетней гарантии необходимого попуска воды U для хозяйственных нужд) и суммарным объемом $U+П$, где $П$ — потери на испарение и фильтрацию. Ход уровней по линии $a—m$ отражает условия такого года, в котором объемы стока каждого внутригодового периода времени имеют вероятность превышения, равную требуемой степени гарантии (обеспеченности) отдачи зарегулированного водоисточника. Но в реальных условиях объемы стока реки во всех внутригодовых интервалах времени имеют разные вероятности превышения, и гарантирующая линия $a—m$ будет служить лишь основой для выравнивания колебаний речного стока в пределах тех возможностей, которые предоставляет ограниченная рабочая (полезная) емкость водохранилища. По положению этой линии на рис. 1, *а, б* можно судить о потребности в размерах регулирующей емкости, если

возникает необходимость изменить отдачу водохранилища при сохранении ее многолетних гарантий или решить обратную задачу. Это приводит к пониманию возможности оценивать пределы повышения отдачи водохранилища и соответствующего снижения ее гарантии при использовании прежнего положения гарантирующей линии (рис. 1, *в*), диктующего полную сработку регулирующей емкости.

Для оперативного корректирования режима работы водохранилища с использованием описываемого диспетчерского графика необходимо иметь для каждого внутригодового расчетного периода времени одну таблицу значений некоторой функции $U=\varphi(M_p, V_н, V_к)$, если водохранилище обслуживает одну отрасль водного хозяйства, или столько таблиц такого типа, сколько имеется участников водохозяйственного комплекса, т. е. однородных отраслей. Например, при использовании водохранилища ирригационного назначения таблица для одного расчетного периода будет представлена табл. 1.

Таблица 1

$V_н$	$V_к$	P_1	P_2	. . .	P_{n-1}	P_n
$V_н^{(1)}$	$V_к^{(1)}$	$U^{(1,1,1)}$	$U^{(1,1,2)}$	. . .	$U^{(1,1,n-1)}$	$U^{(1,1,n)}$
	$V_к^{(2)}$	$U^{(1,2,1)}$	$U^{(1,2,2)}$	. . .	$U^{(1,2,n-1)}$	$U^{(1,2,n)}$
	.	.	.	. . .	.	.
	.	.	.	. . .	.	.
	.	.	.	. . .	.	.
	$V_к^{(m)}$	$U^{(1,m,1)}$	$U^{(1,m,2)}$	. . .	$U^{(1,m,n-1)}$	$U^{(1,m,n)}$
$V_н^{(2)}$	$V_к^{(1)}$	$U^{(2,1,1)}$	$U^{(2,1,2)}$	. . .	$U^{(2,1,n-1)}$	$U^{(2,1,n)}$
	$V_к^{(2)}$	$U^{(2,2,1)}$	$U^{(2,2,2)}$	. . .	$U^{(2,2,n-1)}$	$U^{(2,2,n)}$
	.	.	.	. . .	.	.
	.	.	.	. . .	.	.
	.	.	.	. . .	.	.
	$V_к^{(m)}$	$U^{(2,m,1)}$	$U^{(2,m,2)}$	. . .	$U^{(2,m,n-1)}$	$U^{(2,m,n)}$
.	.	.	.	. . .	.	.
.	.	.	.	. . .	.	.
.	.	.	.	. . .	.	.
$V_н^{(l)}$	$V_к^{(m)}$	$U^{(l,m,1)}$	$U^{(l,m,2)}$	. . .	$U^{(l,m,n-1)}$	$U^{(l,m,n)}$

В табл. 1 значение U определяется решением уравнения баланса воды в водохранилище

$$U=V_{нв}+M_p-H-V_{кв},$$

где $V_н$ и $V_к$ — высота уровня воды в водохранилище, соответственно в начале и конце расчетного периода времени; индекс *в* указывает, что они рассматриваются в объемном выражении.

Если водохранилище имеет ирригационно-энергетическое назначение, то количество таблиц для каждого расчетного периода времени удвоится (по числу отраслевых участков комплекса) или возрастет еще больше (по числу представляющих интерес показателей использования

водохранилища для обеих отраслей). В этом случае значения всех искомых величин находятся решением системы:

$$U = V_{нач} + M_p - \Pi - V_{кон};$$

$$U = \frac{2NT}{A(V_н + V_к - 2h_{нб} - 2h_п)},$$

где N — мощность гидроэлектростанции; T — длина расчетного внутригодового периода времени (*сек*) или время работы турбин ГЭС в этом периоде; A — коэффициент мощности ГЭС; $h_{нб}$ — отметка уровня воды в нижнем бьефе ГЭС; $h_п$ — потери напора на турбинном тракте ГЭС. Эта система решается по всем значениям исходных функций распределения стока реки (функции заданы дискретно). Следствие такого подхода — получение связи между величинами покрытия ирригационных и энергетических требований (осуществляемой через уровень воды в водохранилище) и их обеспеченностью.

На рис. 2, *а*, *б* приведены номограммы, построенные по данным изложенных выше таблиц и применяемые для аналогичных целей. На рисунка видно, что при одних и тех же значениях величин $V_н$ и $V_к$ отдача зарегулированного водоисточника зависит от вероятности пре-

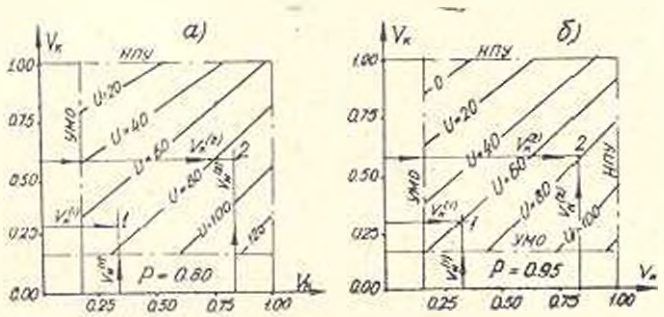

Рис. 2

вышения притока воды (см. смещение точек *1* и *2* относительно линии равных отдач при переходе от P=0.8 к P=0.95). Шаг значений аргумента P исходных функций распределения стока для получения таблиц и номограмм может быть задан любым. Исследования показывают практическую допустимость линейной интерполяции для промежуточных значений P, если их табличный шаг не превышает интервалов 0.01—0.05—0.10—0.20—0.30—0.50—0.70—0.80—0.85—0.90—0,95—0.99.

При использовании таблиц и номограмм достаточно знать наполнение водохранилища $V_н$ в начале расчетного интервала времени и P — вероятность превышения («обеспеченность») объема M_p притока воды, чтобы найти положение уровня $V_к$ при соответствующих (такому изменению уровней) размерах отдачи U для орошения и мощности N гидроэлектростанции. Таким образом, применение предлагаемых гра-

фиков диспетчерской линии хода уровней воды в водохранилище, таблиц и номограмм позволяет проводить корректировку режима регулирования речного стока на основе прямого учета вероятности превышения притока воды в водохранилище.

Показанные выше таблицы могут использоваться при выполнении корректировок режима работы водохранилища на ЭВМ и экономических обоснованиях характера и размеров этих корректировок.

Система графиков, таблиц и номограмм, изложенная выше, относится к любой глубине регулирования речного стока. Для анализа условий многолетнего регулирования необходимо знать положения уровня многолетнего резерва (УМР), разделяющего емкость водохранилища на зоны сезонного и многолетнего резервов. Этот уровень зависит от объема годовой отдачи, гребуемой ее обеспеченности $P_{\text{тр}}$ и объе-

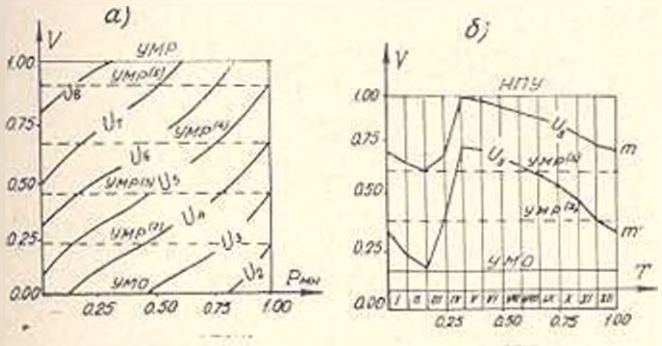

Рис. 3.

ма соответствующего многолетнего резерва (рис. 3, *а*), т. е. является величиной переменной постольку, поскольку обеспеченность отдачи водоисточника требует обоснования. Нанесение этого уровня на диспетчерский график (рис. 3, *б*) позволяет устанавливать сроки перехода к строгому регламентированию отдачи водоисточника, когда многолетний резерв емкости сокращается.

Вопрос о холостых сбросах воды из водохранилища решается автоматически при выборе оптимального режима использования речного стока и размера регулирующей емкости.

Сопоставление результатов расчетов, проведенных обычным календарно-балансовым методом и с использованием разработанной системы номограмм (таблиц) по одному и тому же хронологическому стоковому ряду при одинаковых диспетчерских правилах, показало практически полное их совпадение.

Заключение. Рассмотренная система графиков линии гарантии выбранного режима работы водохранилища, таблиц и номограмм позволяет корректировать режим использования водных ресурсов на основе вероятностной оценки изменчивости речного стока, с учетом и без учета прогноза. При этом имеется возможность определять измене-

ние обеспеченности покрытия требований водного хозяйства к водохранилищу с изменением как их величины, так и внутригодового распределения, если геометрия чаши водохранилища и условия формирования речного стока не меняются существенно. В противном случае предлагаемая система графиков, таблиц и номограмм может быть обновлена расчетами на ЭВМ при значительно меньших затратах ручного труда и времени, чем перестроение диспетчерских графиков другими способами.

Выявленные зависимости могут быть использованы при автоматизации выбора оптимального режима работы водохранилища с многовариантными его корректировками, с обеспечением визуального контроля автоматического управления регулированием водоисточника и его отдач.

В простейшем случае предлагаемая методика может использоваться так же, как применяются в настоящее время другие упоминавшиеся методики, имея определенные преимущества перед последними.

Московский гидромелиоративный институт Поступила 6.VII.1972

Վ. Մ. ԳԱՎՐԻԼՈՎ

ՋՐԱՄԲԱՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԴԻՍՊԵՏՉԵՐԱՅԻՆ ԳՐԱՖԻԿՆԵՐԻ ԿԱԶՄՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Գետի հոսանքի կարգավորման հաշվարկների համանմանական մեթոդների ուսումնասիրությունների արդյունքների հիման վրա առաջարկված է ջրամբարի աշխատանքի կառավարման դիսպետչերային գրաֆիկների կառուցման և օգտագործման մեթոդական մոտեցում։

Հոդվածում նկարագրված աղյուսակների, նոմոգրամմանների և գրաֆիկների սիստեմը հնարավորություն է էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենաների օգտագործման։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бахтиаров В. А.* Водное хозяйство и водохозяйственные расчеты. Гидрометеоиздат. Ленинград. 1961.
2. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло. Под редакцией А. Ш. Резниковского. Изд. «Энергия». М., 1969.
3. *Картвелишвили Н. А.* Теория вероятностных процессов в гидрологии и регулировании речного стока. Гидрометеоиздат. Ленинград. 1967.
4. *Крицкий С. Н., Менкель М. Ф.* Водохозяйственные расчеты. Гидрометеоиздат. Ленинград. 1952.
5. *Лятхер В. А.* Методика регулирования речного стока. Госэнергоиздат. М., 1955.
6. *Сапаренков А. Д.* Регулирование речного стока водохранилищами. Изд. АН СССР. М., 1951.
7. *Чокин Ш. Ч.* Основы методики водохозяйственных расчетов водохранилищ по циклам регулирования. Сб. «Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства», вып. 8. Алма-Ата. Изд. «Наука», 1971.