

УДК 627.133

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КРИВЫХ
ОБЕСПЕЧЕННОСТИ НАПОЛНЕНИЙ ВОДОХРАНИЛИЩА**

Доктор техн. наук М.Ж. Бурлибаев
Канд. техн. наук Т.И. Нарбаев
 Марс.Т. Нарбаев

Усовершенствован метод кривых обеспеченности наполнений водохранилища многолетнего регулирования, в результате получено строгое теоретическое решение элементов режима работы водохранилища.

Метод кривых обеспеченности наполнений водохранилища, предложенный А.Д. Саваренским [3], позволяет определить не только обеспеченности гарантированной отдачи, но и объемы наполнений, сбросов, фактической отдачи водохранилища и т.д. Кроме того, он устанавливает режим работы водохранилища, позволяет правильно наметить этапы его строительства и эксплуатации в период первоначального наполнения.

При проектировании водохозяйственных и водно-энергетических объектов во всем постсоветском пространстве, наиболее распространенным стал метод вероятных вариантов А.Д. Саваренского [3]. По его методу рассчитаны такие крупные объекты как Братская ГЭС на р. Ангаре в России, Мингечаурская ГЭС на р. Куре в Азербайджане, в Казахстане Бухтарминская ГЭС на р. Иртыше, Куртинское водохранилище на р. Курты, Беркутинское водохранилище на р. Беркуты и другие крупные водохозяйственные сооружения. Полученная в результате расчетов кривая обеспеченности наполнений к концу первого, второго и других лет пускового периода, является ориентиром для правильного назначения сроков строительных работ, затопления земель, ввода в эксплуатацию отдельных агрегатов и сооружений [2].

В связи с этим этот метод вызвал огромный интерес к возможности его применения для малоизученных и неизученных рек Южного Казахстана с резкими колебаниями годового стока. Общеизвестно, что в процессе эксплуатации водохранилища режим регулирования стока состоит из наполнений, сбросов и сработки. Однако, в методе вероятных вариантов элемент режима работы водохранилища «сработка» отождествляется с фактической отдачей, с другой стороны, неясным становится, в ка-

ких пределах происходит сработка и когда начинается фактическая отдача при известной емкости водохранилища.

В связи с этим появилась необходимость соблюдения строгой последовательности элементов режима работы водохранилища (наполнение, сброс и сработка). Для этого, сначала выясним сущность метода вероятных вариантов. Она заключается в следующем. Расчет выполняется по типу обратной задачи, то есть при известной многолетней составляющей емкости, расчеты производятся последовательно в несколько этапов. Наполнение водохранилища в конце какого-то интервала времени равно сумме наполнений в начале этого интервала плюс приток и минус отдача за интервал. Анализируют наполнения водохранилища в конце этих интервалов. Если приток задан в виде кривой обеспеченности, то и наполнение водохранилища задаются и получаются также в виде соответствующих кривых обеспеченности.

Далее применяя известные способы сложения кривых обеспеченности и формулу полной вероятности, последовательными построениями от одного интервала к другому получают безусловные кривые обеспеченности наполнений, сбросов и отдачи. Критериям законченности расчета служит стабилизация формы кривой обеспеченности наполнений водохранилища [1 - 3].

Рассмотрим решение задачи многолетнего регулирования стока методом вероятных вариантов, иллюстрируя ход расчета условным примером. Пусть заданы: статистические параметры годового стока C_v , C_s , r и W_0 ; годовая отдача, характеризуемая коэффициентом зарегулирования стока α ; многолетняя составляющая объема водохранилища β .

Требуется найти обеспеченность бесперебойной работы водохранилища на гарантированную отдачу α , а также построить безусловные кривые обеспеченности наполнений, отдач и сбросов.

Расчет выполняют в несколько этапов в следующем порядке. По заданным параметрам C_v и C_s строят кривую обеспеченности годового стока (рис.). Ординаты кривой обеспеченности $K_p = f(C_v, C_s \text{ и } P\%)$ находят, пользуясь таблицами С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [1]. На этом же графике проводят горизонтальные линии, соответствующие ординате α (линия $a' - a'$) и $\alpha + \beta$ (линия $a - a$). Точка пересечения линии отдачи (линия $a' - a'$) с кривой обеспеченности соответствует обеспеченности плановой отдачи без регулирования стока. Отдача в маловодном году

осуществляется не только за счет стока текущего года, но и наполнения водохранилища в начале года β_{Hi} .

Начальное наполнение может изменяться от $\beta_H = 0$ до $\beta_H = \beta$. Весь возможный диапазон начального наполнения делят на несколько расчетных групп (интервалов). Обычно принимают 5...8 групп начальных наполнений; увеличение числа групп повышает точность вычислений. Прибавляя к ординатам кривой обеспеченности годового стока принятые начальные наполнения $\beta_{H1}, \beta_{H2}, \dots, \beta_{Hi}$, получаем кривые обеспеченности располагаемых водных ресурсов по числу расчетных начальных наполнений $K_p + \beta_{H1} = f(P), K_p + \beta_{H2} = f(P), K_p + \beta_{Hi} = f(P)$. Эти кривые называют условными кривыми обеспеченности, так как они связаны с заданным начальным наполнением. В рассматриваемом условном примере принято три ($i = 3$) группы начальных наполнений: $\beta_{H1} = 0; \beta_{H2} = \beta/2$ и $\beta_{H3} = \beta$ (см. рис.).

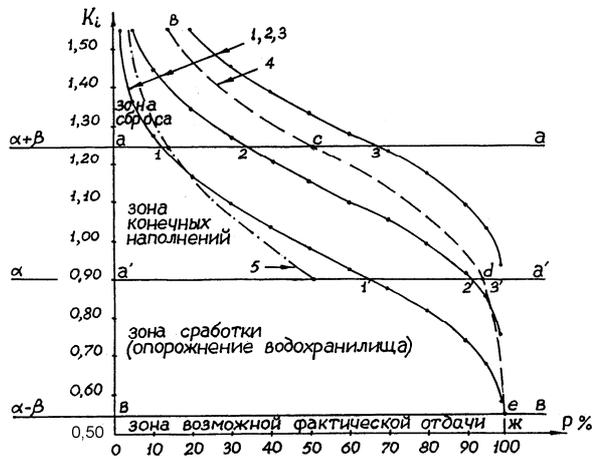


Рис. Режим работы Кировского водохранилища на р. Талас: 1, 2, 3 – условные кривые обеспеченности; 4 – кривая обеспеченности сбросов, конечных наполнений, сработки и возможной фактической отдачи; 5 – зарегулированный сток.

Горизонтальными линиями, условные кривые обеспеченности располагаемых водных ресурсов разбивают на три зоны как показано на рисунке: зона отдачи, ограничения снизу осью абсцисс, а сверху линией отдачи $a' - a'$; зона конечных наполнений между линией отдачи и $\alpha + \beta$; зона сбросов – выше линии $\alpha + \beta$.

Из сопоставления условных кривых обеспеченности располагаемых водных ресурсов с плановой отдачей α следует, что обеспеченность отдач зависит от начального наполнения водохранилища. С увеличением начального наполнения обеспеченность отдачи повышается. В условиях длительной эксплуатации обеспеченность отдачи при заданных параметрах стока, водохранилища и отдачи не зависят от принятого начального наполнения. Единственно возможную обеспеченность отдачи устанавливают на основе графика, который состоит из серии условных кривых конечных наполнений при заданных начальных (вторая зона) параметрах, с использованием формулы полной вероятности.

Конечное наполнение, то есть запас воды водохранилища в конце интервала времени (года) изменяется от $\beta_k = 0$ до $\beta_k = \beta$. Весь этот диапазон изменения β_k делят на несколько (j) интервалов, причем границы и число интервалов принимают такими же, как и для начальных наполнений, то есть $j = I$ (в примере $j = i = 3$); первый интервал $0 - 0$, второй $0 - \beta$, третий $\beta - \beta$.

Безусловную кривую обеспеченности конечных наполнений строят, вычисляя ее ординаты путем последовательных приближений по формуле полной вероятности:

$$P(\beta_{Kj})_n = \sum_1^n P(\beta_{Hi})_n \cdot P(\beta_{Kj})_y, \quad (1)$$

где $P(\beta_{Kj})_n$ – полная вероятность j -го интервала наполнения в конце n -го года; $P(\beta_{Hi})_n$ – полная вероятность i -го начального наполнения в n -ом году; $P(\beta_{Kj})_y$ – условная вероятность j -го интервала наполнения при заданном начальном β_{Hi} .

Условные вероятности конечных наполнений определяют по условным кривым обеспеченности конечных наполнений для каждой группы начальных наполнений:

$$P(\beta_{Kj})_y = P_j - P_{j-1} \quad (2)$$

где P_j и P_{j-1} – обеспеченность верхней и нижней границы интервала конечных наполнений.

Расчет безусловной кривой сбросов выполняют по формуле:

$$P(\beta_{c\bar{o}j}) = \sum_{\alpha+\beta}^{K_{\max}} [P(\beta_{c\bar{o}j})_y \cdot P(\beta_{Hi})], \quad (3)$$

где $P(\beta_{c\bar{o}j})$ – полная вероятность j -го интервала сбросов; $P(\beta_{Hi})$ – полная вероятность i -го начального наполнения водохранилища β_{Hi} ; $P(\beta_{c\bar{o}j})_y$ – условная вероятность j -го интервала сбросов при заданном начальном наполнении водохранилища β_{Hi} .

Полные вероятности начальных наполнений $P(\beta_{Hi})$ принимают равными установившимся вероятным конечных наполнений $P(\beta_{Kj})$ при $i = j$. Для нахождения условных вероятностей сбросов диапазон их возможных изменений делят на несколько интервалов. Сбросы $\beta_{c\bar{o}}$ изменяются от нуля, что соответствует значению ординаты $K = \alpha + \beta$ до K_{\max} .

Используя условные кривые обеспеченности сбросов, определяют условные вероятности сбросов для каждой группы начального наполнения по интервалам:

$$P(\beta_{c\bar{o}j})_y = P_j - P_{j-1}, \quad (4)$$

где P_j и P_{j-1} – обеспеченность нижней и верхней границы j -го интервала сбросов.

Следующий этап расчета усовершенствованного метода вероятных вариантов – расчет и построение безусловной кривой обеспеченности сработки из водохранилища. Для этого на кривой обеспеченности годового стока, необходимо дополнительно проводить линию $\alpha - \beta$ (линия b – b) (см. рис.), которая показывает конец сработки водохранилища. Тогда полную вероятность сработки вычисляют по формуле:

$$P(\beta_{cpij}) = \sum_{\alpha-\beta}^{\alpha} P(\beta_{Hi}) \cdot P(\beta_{cpij})_y, \quad (5)$$

где $P(\beta_{cpij})$ – полная вероятность j -го интервала сработки; $P(\beta_{Hi})$ – полная вероятность i -го начального наполнения водохранилища β_{Hi} ; $P(\beta_{cpij})_y$ – условная вероятность j -го интервала сработки при заданном начальном наполнении водохранилища β_{Hi} .

Условную вероятность j -го интервала сработки из водохранилища вычисляется:

$$P(\beta_{cpij})_y = P_j - P_{j-1}. \quad (6)$$

После сработки водохранилища от α до $\alpha - \beta$, далее происходит фактическая отдача в зависимости от поступления воды в водохранилище. Полную вероятность фактической отдачи вычисляют по формуле:

$$P(\alpha_{\phi j}) = \sum_0^{\alpha-\beta} P(K_i) \cdot P(\alpha_{\phi j})_y, \quad (7)$$

где $P(\alpha_{\phi j})$ – полная вероятность j -го интервала фактической отдачи; $P(K_i)$ – полная вероятность i -го начального наполнения в водохранилище в зависимости от поступления воды, в интервале от 0 до $\alpha - \beta$; $P(\alpha_{\phi j})_y$ – условная вероятность j -го интервала фактической отдачи, в зависимости от поступления воды в водохранилище $P(K_i)$.

Условную вероятность фактической отдачи определяют с помощью условных кривых обеспеченности отдачи, в зависимости от поступления воды, по формуле:

$$P(\alpha_{\phi j}) = P_j - P_{j-1}. \quad (8)$$

Кривую, образованную криволинейными участками безусловных кривых обеспеченности сбросов (bc), конечных наполнений (cd), сработки (dt) и фактических отдач (te), называют безусловной кривой обеспеченности результатов регулирования стока (кривая 4, рис.). Она позволяет определить все основные параметры регулирования стока (наполнение водохранилища, сбросы, сработки и фактическую отдачу) в зависимости от обеспеченности.

Если перестроить безусловную кривую обеспеченности результатов регулирования стока, опустив ее верхнюю часть (bc) на величину объема водохранилища β до линии, соответствующей отдаче (линия $a' - a'$), то получается обобщенная кривая обеспеченности зарегулированного стока (кривая 5, рис.), которая, отражает результаты регулирования, то есть характеризует сток ниже створа плотины водохранилища.

Вывод

Усовершенствован метод кривых обеспеченности наполнений водохранилища многолетнего регулирования, в результате достигнута строгая последовательность работы элементов режима эксплуатации водохранилища наполнение – сброс – сработка и отдача после опорожнения водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Железняков Г.В., Неговская Т.А., Овчаров Е.Е. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока. – М.: Колос, 1984 – 431 с.

2. Плешков Я.Ф. Регулирование речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 507 с.
3. Саваренский А.Д. Метод расчета регулирования стока. // Гидротехническое строительство. – 1940, – №2. – С. 24-28.

Казахстанское агентство прикладной экологии, г. Алматы
Казахский национальный аграрный университет, г. Алматы
Алматинский гуманитарно-технический университет, г. Алматы

**СУ ҚОЙМАСЫНЫҢ ТОЛУЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТЕТІН
ҚИСЫҚТАР ТӘСІЛІН ЖЕТІЛДЕРУ**

Техн. ғылымд. докторы	М.Ж. Бурлібаев
Техн. ғылымд. канд.	Т.И Нарбаев
	Марс.Т. Нарбаев

Су қоймасының толуын қамтамасыз ететін қисық тәсілі жетілдірілген, соның нәтижесінде су қоймасының жұмыс режимінің элементтері қатаң теориялық шешімге жеткен.