

## УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО НАПОЛНЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ МНОГОЛЕТНЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА

В.Д. Красов, П.С. Лысачев\*

*Воронежский государственный университет, Россия*

*Поступила в редакцию 6 июня 2008 г.*

**Аннотация:** В статье предлагаются способы управления нестационарным режимом водохранилищ в период первоначального наполнения, в том числе в условиях антропогенных изменений стока рек. В качестве критерия используется надежность водоснабжения (вероятность перебоя), а также объем дефицита. Учитываются экологические требования, имеется возможность применения экономических оценок. Предлагается новый параметр – «емкость перехода», определяющий условия завершения первоначального наполнения водохранилищ.

**Ключевые слова:** водохранилища, первоначальное наполнение, нестационарный режим, надежность водоснабжения, вероятность дефицита, параметр «емкость перехода».

**Abstract:** The article focuses on some inconstant operation management of forms of initial reservoir filling under the conditions of anthropogenic changes of the run-off. The author suggests the following criteria: reliability indicator of water delivery (probable irregularity) and shortage extent. Ecological specifications are taken into account and economic evaluation is suggested. Also a new characteristic is introduced – a «capacity of changes» – that determines the conditions of initial reservoir filling.

**Key words:** reservoirs, initial filling, inconstant operation, reliability indicator of water delivery, probable irregularity, the parameter «capacity of changes».

Как известно, водохранилища (или крупные пруды) создаются для регулирования стока и подачи потребителям обусловленного объема воды  $\alpha$  с заданной надежностью (обеспеченностью)  $P$ . Переходу водохранилища на нормальный режим работы (с отдачей  $\beta$  и надежностью  $P$ ) предшествует период первоначального наполнения, длительность которого  $t_{\text{ин}}$  зависит от параметров водохранилища: мертвого  $\alpha$  и  $\beta$  полезного объемов, а также правил управления водными ресурсами.

Опыт гидротехнического строительства показывает, что при комплексном использовании стока первоначальное наполнение водохранилищ на крупных речных магистралях превращается в большую проблему в связи с необходимостью подачи в нижний бьеф судоходных попусков воды и вследствие постепенного ввода мощностей ГЭС (Бухтарминское, Братское). Уникальный пример-Капчагайское водохранилище на р. Или, впадающей в оз. Балхаш [7, 8]. Из-за недопустимости зна-

чительного падения уровня озера и повышения минерализации его воды пришлось давать значительные объемы воды в низовья р. Или. В результате первоначальное наполнение Капчагайского водохранилища растянулось на десятилетия; до сих пор оно ни разу не наполнялось до проектной отметки. Для водохранилищ, создаваемых в целях водоснабжения промышленности и населенных пунктов, а также орошения в острodefицитных по воде районах с высокой изменчивостью годового стока, режим первоначального наполнения приобретает важное значение в связи со стремлением к наиболее полному использованию водных ресурсов (водохранилища на юге европейской части России и Западной Сибири).

В современных условиях правила управления водными ресурсами при первоначальном наполнении водохранилищ должны учитывать и экологические требования, позволяющие сохранить реки не только как источник водоснабжения, но и как среду обитания водной флоры и фауны, как важный элемент природного ландшафта.

Впервые отечественная практика водохозяйственного проектирования столкнулась с необхо-

© Красов В.Д., Лысачев П.С., 2009

\* В.Д. Красов: идея, теоретические подходы;

П.С. Лысачев: компьютерная реализация

димостью оценки первоначального наполнения крупного водохранилища (Рыбинского) в начале сороковых годов прошлого века, а позже – Цимлянского, при обосновании Волго-Донского гидротехнического комплекса (разработка гидролого-водохозяйственной части проекта Цимлянского гидроузла осуществлялась под руководством С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [12], а также Я.Д. Гильденבלата и Д.В. Коренистова). В дальнейшем вопросы первоначального наполнения, с акцентом на энерго-экономическую сторону проблемы, рассматривались в работах А.Л. Великанова, А.Н. Зейлигера, Л.Д. Хабачева [1], А.Ш. Резниковского [13], Я.Д. Гильденבלата [3], Д.Н. Коробовой [5], А.И. Галынского и И.М. Панасенко [2] и др.

В общем случае период первоначального наполнения водохранилищ состоит из двух частей:

$$t_{\text{пн}} = t_{\text{м}} + t_{\text{п}}, \quad (1)$$

$t_{\text{м}}$  – продолжительность заполнения мертвого объема;  $t_{\text{п}}$  – продолжительность заполнения той части полезной емкости, которая обеспечивает переход на нормальный режим.

Для водохранилищ сезонного регулирования стока основной задачей является заполнение мертвого объема и доли полезной емкости, которая соответствует диспетчерскому графику для нормального режима (в конце межени – это отметка мертвого объема, для половодья – отметка НПУ).

В случае многолетнего регулирования стока полезная емкость водохранилищ при высокой изменчивости зачастую намного превышает норму стока, и ее заполнение представляет собой самостоятельную и непростую задачу. Ряд вопросов этого направления рассматривался в работах [4, 6, 7, 8]. В них обоснованы подходы к управлению режимом первоначального наполнения водохранилищ, базирующиеся на композиционной теории регулирования стока, разработанной С.Н. Крицким и М.Ф. Менкелем [11], а также А.Д. Саваренским [14].

В результате был предложен новый параметр регулирования – емкость перехода представляющий собой заполнение полезной емкости, обеспечивающее в последующий период поддержание гарантированной водоотдачи (энергоотдачи) с заданной надежностью; предложен вероятностный метод управления режимом отдачи водохранилища на протяжении периода первоначального наполнения; разработан метод условных водохозяйственных характеристик (УВХ), учитывающий нестационарный характер режима водохранилища в период первоначального наполнения.

В настоящей работе исследование проблем управления режимом первоначального наполнения

основывается на иной теоретической концепции, сущность которой изложена в [9, 10]. Сохраняя все достоинства композиционной теории, она позволяет менее сложным образом подойти к учету автокорреляции в многолетнем изменении величин годового стока.

### Определение «емкости перехода»

В процессе эксплуатации водохранилищ в период первоначального наполнения, с целью быстрой окупаемости затрат, существует стремление как можно быстрее перейти на полную отдачу воды потребителям. При таком подходе не исключены случаи, когда в результате отсутствия или недостаточности первоначального запаса воды в пределах полезной емкости в число перебойных могут быть вовлечены некоторые годы, которые в условиях нормальной эксплуатации были бы бесперебойными.

Возникает задача установления такого объема заполнения водохранилищ  $\beta_{\text{п}}$  (в пределах полезной емкости), который позволяет в последующий период поддерживать нормальную отдачу с предусмотренной для потребителя надежностью. Эта задача, являющаяся составной частью проблемы управления водными ресурсами в период первоначального наполнения, имеет и важное самостоятельное значение. Разумеется, заполнение всей полезной емкости водохранилища дает гарантию от дополнительных перебоев даже при совпадении перехода на нормальную отдачу с началом маловодного критического периода. Однако такое решение является неоправданно жестким. В условиях неограниченного периода эксплуатации необходимо считаться с тем, что критическое  $n$ -летие той или иной продолжительности наступит обязательно. При первоначальном же наполнении переход водохранилища на нормальную отдачу не обязательно должен приходиться на критическое  $n$ -летие и тем более не должен обязательно совпадать с его началом. Следовательно, величина «емкости перехода» меньше полезной емкости водохранилища:

$$\beta_{\text{п}} < \beta. \quad (2)$$

Количественная оценка «емкости перехода» зависит от сочетания параметров стока и регулирования. Поскольку регулирование стока на протяжении первоначального наполнения представляет собой процесс нестационарного типа, для установления связи между достигнутой степенью заполнения полезной емкости водохранилища  $X_{\text{п}}$  и надежностью водоснабжения в последующий период могут быть использованы условные водохо-

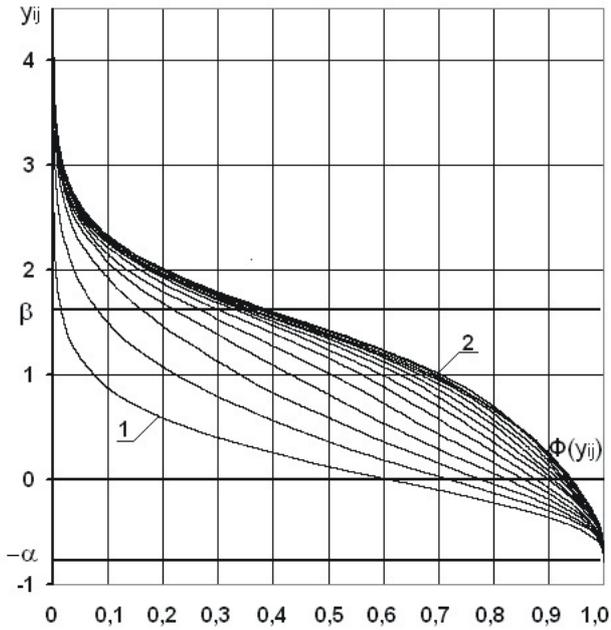


Рис. 1. Условные водохозяйственные характеристики (УВХ)

$$(\bar{k}=1,0 \quad C_v=0,5 \quad C_s=2,0 \quad r=0,3 \quad \alpha=0,8 \quad \beta=1,6 \\ P=0,95 \quad X_{ii}=0) \\ 1) j=1, \quad 2) j=15.$$

зыйственные характеристики (УВХ). В отличие от обобщенной водохозяйственной характеристики (ОВХ), описывающей стационарный режим нормальной эксплуатации, УВХ в вероятностной форме дают представление о нестационарном режиме водохранилищ [4]. По мере удаления от начала периода  $t_n$  форма УВХ все меньше зависит от начальных условий. Постепенно стабилизируясь, УВХ в пределе через  $n_c$  лет приобретают безусловную форму (рис. 1). Это позволяет по абсциссе  $\Phi(0)$  на ОВХ при нулевом наполнении полезной емкости установить надежность водоснабжения  $P=\Phi(0)$  и вероятность перебоя  $q=1-P$  для периода нормальной эксплуатации. В свою очередь, УВХ дают возможность оценить в каждый  $j$ -й год первоначального наполнения надежность водоснабжения  $P_j$  по абсциссе  $\Phi_j(0)$ , вероятность перебоя  $q_j=1-(P_j)$ , а также получить распределение вероятностей наполнений, холостых сбросов, водотодачи, дефицитов воды и математические ожидания названных элементов водного баланса.

Для определения  $\beta_n$  при многолетнем регулировании предлагается следующий путь. Задаются параметры стока: среднее  $k$ , коэффициенты вариации  $C_v$ , асимметрии  $C_s$ , автокорреляции  $r$  и регулирования (полезная емкость водохранилища  $\beta$ , гарантированная отдача  $\alpha$ , надежность водоснаб-

жения  $P$  и вероятность перебоя  $q$ ). Далее моделируется последовательность годовых объемов стока длиной  $N_1=N \times n^*$ , где  $N$  – число периодов продолжительностью  $n^*$ , ( $n^* \ll N$ ). Таким образом, для каждого  $i$ -го периода ( $i=1, 2, \dots, N$ ) и каждого  $j$ -го года внутри него ( $j=1, 2, \dots, n^*$ ) имеем величины стока  $k_{ij}$ . Последовательность  $N_1$  проверяется на совпадение ее параметров с исходными (по  $k$ ,  $C_v$ ,  $C_s$  и  $r$ ). Отметим, что параметры водохранилища и характеристики его режима представляются в долях нормы стока.

В полученные последовательности при необходимости вносятся предполагаемые антропогенные изменения стока [9, 10].

Затем задаются  $X_{ii}$ , отвечающие разной степени заполнения полезной емкости водохранилища ( $0 \leq X_{ii} \leq \beta$ ). Для выбранного  $X_{ii}$  получаем координаты условных водохозяйственных характеристик (УВХ) на основе решения уравнения водного баланса водохранилища:

$$Y_{ij} = X_{ij} + k_{ij} - \alpha, \quad (3)$$

где  $Y_{ij}$  – ординаты УВХ,

$X_{ij}$  – наполнения водохранилища к началу  $j$ -го года  $i$ -го периода.

Значения  $Y_{ij}$ , полученные по уравнению (3), отображают характеристики режима водохранилища в целом и в общем случае являются непрерывной функцией притока и других параметров. Вместе с тем,  $Y_{ij}$  служат основой для определения составляющих баланса водохранилища: наполнений к концу года  $Y'_{ij}$ , холостых сбросов  $C_{ij}$  и дефицитов отдачи  $D_{ij}$ :

$$Y'_{ij} = Y_{ij} \quad (\text{в пределах } 0 \leq Y_{ij} \leq \beta),$$

$$C_{ij} = Y_{ij} - \beta \quad (\text{в пределах } Y_{ij} > \beta), \quad (4)$$

$$D_{ij} = Y_{ij} \quad (\text{при } Y_{ij} < 0)$$

В связи со сказанным выше при решении уравнения (3) в границах  $i$ -го периода соблюдаются следующие условия:

- а) при  $j=1$  величина  $X_{ij}$  назначается равной  $X_{ii}$ ;
- б) при  $j=2, 3, \dots, n^*$  (и  $0 \leq Y_{ij} \leq \beta$ )  $X_{i,j+1} = Y_{ij}$ , фактическая (нормальная) отдача  $\alpha_\phi = \alpha$ ;
- в) при  $Y_{ij} > \beta$   $C_{ij} = Y_{ij} - \beta$ ;  $X_{i,j+1} = \beta$ ;  $D_{ij} = 0$ , фактическая (повышенная) отдача  $\alpha_\phi = \alpha + C_{ij}$ ;
- г) при  $Y_{ij} < 0$   $Y'_{ij} = 0$ ,  $X_{i,j+1} = 0$ ,  $C_{ij} = 0$ ,  $D_{ij} = Y_{ij} < 0$ , фактическая (урезанная) отдача  $\alpha_\phi = \alpha + D_{ij}$ .

В результате получаем  $N$  УВХ, которые позволяют установить не только надежность водоснабжения  $P_j$  и вероятность перебоя  $q_j=1-P_j$  для каждого года  $i$ -го периода  $n^*$  по абсциссе  $\Phi_j(0)$  на участке наполнений УВХ, но и математические ожи-

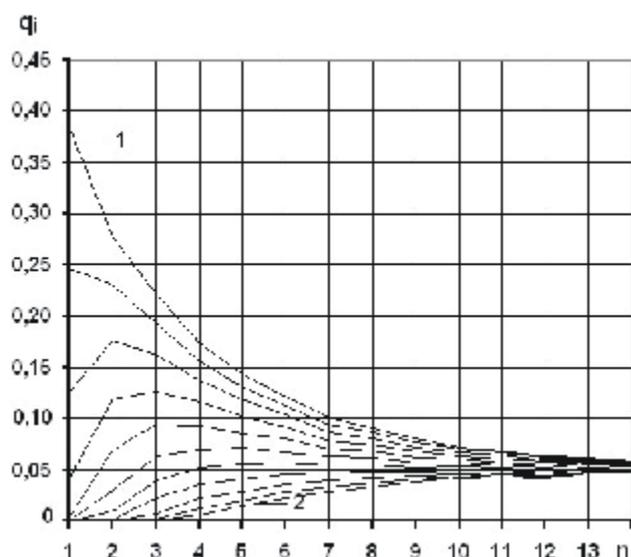


Рис. 2. Изменение вероятности перебоя  $q_i$  по годам наполнения  $n$  при различной величине накопленного запаса воды  $X_n$

1)  $X_n = 0$ , 2)  $X_n = \beta$ ; остальные значения  $X_n$  – через  $0,1\beta$ .

дания наполнений  $M_j(Y')$ , холостых сбросов  $M_j(C)$  и дефицитов отдачи  $M_j(D)$  по следующим выражениям (в численной интерпретации):

$$M_j(Y') = \sum_0^{\beta} Y \Delta \Phi(Y),$$

$$M_j(C) = \Phi(\beta) \sum_{\beta}^{Y_{\max}} (Y - \beta) \Delta \Phi(Y), \quad (5)$$

$$M_j(D) = [1 - \Phi(0)] \sum_0^{-\alpha} Y \Delta \Phi(Y).$$

В выражениях (5):

$Y'$  – наполнения водохранилища,  $Y$  – ординаты УВХ,  $Y_{\max}$  – максимальная ордината УВХ,  $\Delta \Phi(Y)$  – интервал дискретности по  $\Phi(Y)$ ,  $M$  – символ математического ожидания.

Для оценки точности проводимых операций предлагается критериальное соотношение:

$$M_j(C) + \alpha + [M_j(Y') - M_j(X)] + M_j(D) = 1,0 \quad (6)$$

Кроме того, появляется возможность оценить степень стабилизации с заданной точностью  $\epsilon$  величин  $\Phi_j(0)$  в зависимости от года периода  $n^*$ :

$$|\Phi_j + 1(0) - \Phi_j(0)| \leq \epsilon, \quad (7)$$

Соотношение (7) позволяет откорректировать продолжительность периода  $n^*$  и объем  $N_1$  моделируемой последовательности стока, т.е. принять  $n^* = n_c$  и  $N_1 = n_c N$ . Если при корректировке длины последовательности  $N_1$  параметры стока не совпа-

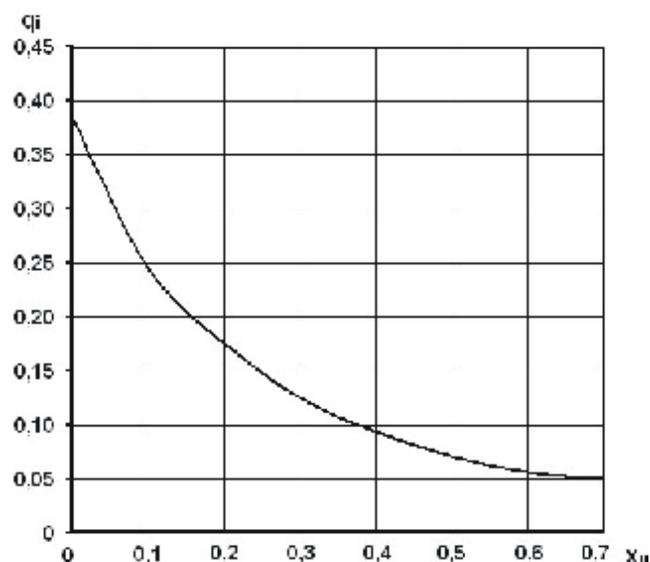


Рис. 3. Изменение максимальной вероятности перебоя  $q_{\max}$  от величины накопленного запаса  $X_n$

дут с исходными, рекомендуется в процессе моделирования перемещать обе границы периода  $N_1$  до получения приемлемой сходимости.

С использованием откорректированной последовательности проводится следующая стадия исследования, в которой для каждого  $X_n$  на получаемых УВХ фиксируются величины  $P_j = \Phi_j(0)$ ,  $P_{\min} = \Phi(0)_{\min}$ , определяются  $q_j = 1 - P_j$ ,  $q_{\max} = 1 - P_{\min}$ . По значениям  $X_n$  и соответствующим величинам  $P_{\min}$  или  $q_{\max}$  строятся зависимости  $P_{\min} = \phi(X_n)$  или  $q_{\max} = \phi_1(X_n)$ .

В качестве емкости перехода  $\beta_n$  принимается такое наполнение  $X_n$ , при котором соблюдаются соотношения:

$$|P_{\min} - P| \leq \epsilon_1 \quad \text{или} \quad |q_{\max} - q| \leq \epsilon_1 \quad (8)$$

На рис. 2 представлена зависимость  $q_j = f_1(X_n, n)$ , где  $n = j$ . Зависимость получена для параметров:  $k = 1,0$ ,  $C_v = 0,5$ ,  $C_s = 1,0$ ,  $r = 0,3$ ,  $\beta = 1,6$ ,  $\alpha = 0,8$ ,  $P = 0,95$ . Как видно из рисунка, при отсутствии запаса воды в пределах полезной емкости ( $X_n = 0$ ) вероятность перебоя в водоотдаче  $q_j$  существенно больше  $q$ , особенно для первых лет периода регулирования стока. По мере увеличения первоначального запаса воды  $X_n$  вероятность перебоя заметно снижается. При некотором  $X_n$ , меньшем полезной емкости, вероятность перебоя в воде ни в одном последующем году не превышает той, что предусмотрена для потребителя. Отмеченная особенность отражается и графиком на рис. 3, где показаны изменения максимальной вероятности перебоя  $q_{\max}$  от  $X_n$ .

Дальнейший анализ позволил установить, что такая ситуация складывается при заполнении по-

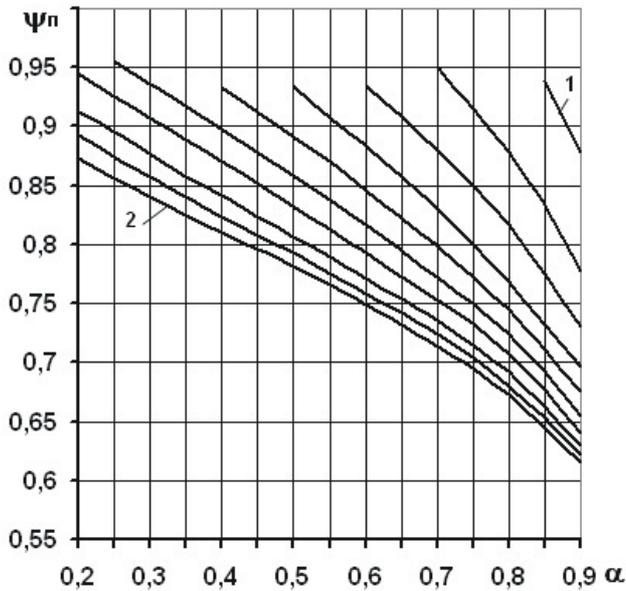


Рис. 4. Номограмма для определения «емкости перехода»  
( $\bar{k}=1,0$   $C_s=2C_v$   $r=0,3$   $P=0,95$ )

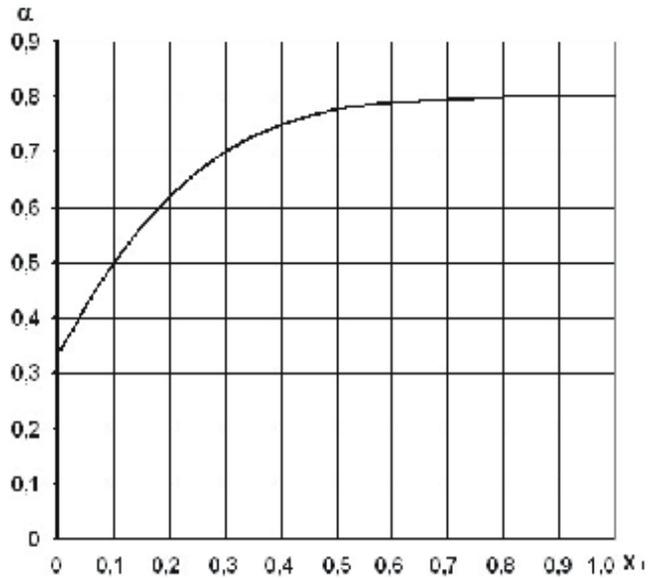


Рис. 5. Изменение отдачи заданной надежности  $\alpha_p$  от достигнутого наполнения водохранилища  $X_n$   
( $\bar{k}=1,0$   $C_v=0,5$   $C_s=2,0$   $r=0,3$   $\alpha=0,8$   $\beta=1,6$   $P=0,95$   $X_n=0$ )

лезной емкости, удовлетворительно согласующимся с математическим ожиданием наполнений по обобщенной (безусловной) водохозяйственной характеристике для нормального (стационарного) режима эксплуатации.

На рис. 4 представлена номограмма для определения относительной величины «емкости перехода»  $\psi_n = \beta_n / \beta$  при коэффициенте автокорреляции  $r=0,3$ . Значение  $\psi_n$  представляет собой долю полезной емкости, заполнение которой обеспечивает переход водохранилища на стационарный (нормальный) режим. Как видно из рис. 4, относительная емкость перехода  $\psi_n$  возрастает с уменьшением степени регулирования стока  $\alpha$ , коэффициентов вариации  $C_v$  и автокорреляции  $r$ . В диапазоне вариантов, охваченных номограммой,  $\psi_n$  колеблется весьма значительно – от 0,615 для случая с  $\alpha=0,9$  и  $C_v=1,0$  до 0,948 при  $\alpha=0,2$  и  $C_v=0,7$  (на границе между многолетним и сезонным регулированием стока), т.е. более чем на 50%. Наибольшие приращения  $\psi_n$  имеют место в зоне высоких значений  $\alpha$  и низких  $C_v$ .

#### Правила управления режимом водоотдачи

Из изложенного выше следует – чтобы обеспечить потребителям обусловленную надежность водоотдачи на протяжении первоначального наполнения, объем подаваемой потребителям воды надо уменьшать по сравнению с величиной  $\alpha$ , отвеча-

ющей режиму нормальной эксплуатации. Степень такого снижения обуславливается правилами управления водными ресурсами, в которых величина отдачи водохранилища  $\alpha_p$  зависит от достигнутого заполнения полезной емкости  $X_n$ . Для их разработки можно использовать подход, предложенный в предыдущем разделе. Отличие здесь состоит в определении методом итераций величины  $\alpha_{pj} \leq \alpha$  при заданном  $X_n$ , при которой надежность водоснабжения  $P_{\min}$  или вероятность перебоя  $q_{\max} = 1 - P_{\min}$  в последующий период удовлетворяет соотношениям (8).

На основе подобного подхода в итоге строится зависимость  $\alpha_p = L(X_n)$ . Ее характер иллюстрируется рис. 5. Из рисунка видно, что при отсутствии запаса воды ( $X_n$ ) можно рассчитывать только на отдачу, равную стоку года, вероятность превышения которого соответствует принятой надежности водоснабжения  $P$ . С увеличением  $X_n$  происходит возрастание  $\alpha_p$ , а при  $X_n = \beta_n$  возможен переход на нормальную отдачу  $\alpha$ .

В рамки предлагаемого подхода вполне укладывается и вариант управления режимом первоначального наполнения с учетом заполнения мертвого объема. В этом случае необходимо иметь в виду следующие особенности.

Баланс водохранилища на основе уравнения (3) рассматривается для полной емкости  $\beta_{\text{пол}} = \beta_{\text{мо}} + \beta$ . К началу первого года ( $j=1$ )  $i$ -го периода исход-

ное наполнение  $X_{0i}$  полагается равным нулю, а фактическая водоподача  $\alpha_{\phi}$  назначается в объеме  $\alpha_{\phi} = \alpha_0$ , где  $\alpha_0$  – обязательный попуск воды из водохранилища. Величина  $\alpha_0$  может быть равна либо экологическому расходу воды  $k_j$  (в долях нормы стока), который обычно принимается в размере минимального среднемесячного расхода воды вероятностью превышения  $P$ , либо попуску иного назначения, например судоходного. В уравнении (3) при  $j=1$  вместо величины  $\alpha$  будет учитываться  $\alpha_0$ .

После достижения  $\beta_{\text{мо}}$  сработка мертвого объема в дальнейшем не допускается. При этом надежность водоснабжения определяется на УВХ по абсциссе  $\Phi(\beta_{\text{мо}})$ .

Водоподача потребителям и элементы баланса водохранилища для  $j > 1$  меняются в зависимости от зоны, в которую попадает значение  $Y_{ij}$ . Так, для случаев  $Y_{ij} < \beta_{\text{мо}}$   $\alpha_{\phi} = \alpha_0$ ,  $C_{ij}=0$ ,  $D_{ij} = \alpha_0 - \alpha$ . В зоне  $\beta_{\text{мо}} \leq Y_{ij} \leq \beta_{\text{пол}}$  в уравнении (3) используется переменная водоотдача, определяемая по зависимости  $\alpha_p = L(X_n)$ , где  $X_n = Y_{ij} - \beta_{\text{мо}}$ ; при этом  $\alpha_{\phi} \leq \alpha$ ,  $C_{ij}=0$ ,  $D_{ij} = \alpha_p - \alpha$ . В случае  $Y_{ij} > \beta_{\text{пол}}$   $C_{ij} = Y_{ij} - \beta_{\text{пол}}$ ,  $D_{ij}=0$ , гарантированная отдача потребителям равна  $\alpha$ , фактическая водоотдача  $\alpha_{\phi} = \alpha + C_{ij}$ .

В заключение отметим, что рассмотренные подходы могут быть реализованы и для иных критериев регламентации водоотдачи. Не представляет методических трудностей учет переменной по годам первоначального наполнения надежности водоснабжения (вероятности перебоя) или ориентация при назначении отдачи на минимум математического ожидания дефицита как за рассматриваемый год наполнения, так и суммарного за ряд лет (с учетом так называемого «эффекта последствия»). При наличии удельных стоимостных характеристик от недодачи воды потребителям в предложенных подходах могут учитываться и экономические критерии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов А.Л. О методе учета энергетических составляющей затрат при выборе оптимальной длительности периода первоначального наполнения водохранилища ГЭС в системе / А.Л. Великанов, А.Н. Зейлигер, Л.Д. Хабачев // Оптимальные режимы работы гидроэлектростанций в системах: материалы НТС. – М., 1966. – С. 38-43.
2. Галынский А.И. Режим первоначального наполнения Бухтарминского водохранилища / А.И. Галын-

ский, И.М. Панасенко // Изв. АН Каз. ССР. Сер. Энергетическая. – 1961. – Вып. 2(20). – С. 21-22.

3. Гильденблат Я.Д. Некоторые особенности режима начального наполнения Братского водохранилища / Я.Д. Гильденблат // Оптимальные режимы работы гидроэлектростанций в системах: материалы НТС. – М., 1996. – С. 43-45.

4. Гуглий И.В. Об условиях перехода водохранилищ многолетнего регулирования стока на режим нормальной эксплуатации / И.В. Гуглий, В.Д. Красов // Тр. Гидропроекта. – М., 1972. – Сб. 26: Использование водных ресурсов, водное хозяйство, экономика и энергетика. Технологическое оборудование. – С. 41-47.

5. Коробова Д.Н. Использование метода динамического программирования для оптимизации режима работы ГЭС в период начального наполнения водохранилищ многолетнего регулирования / Д.Н. Коробова // Гидротехническое строительство. – 1968. – № 5. – С. 9-12.

6. Красов В.Д. Вероятностный расчет режима отдачи в период первоначального наполнения водохранилищ многолетнего регулирования / В.Д. Красов // Вестн. АН Каз. ССР. – 1971. – № 1 (309). – С. 60-61.

7. Красов В.Д. Некоторые вопросы первоначального наполнения Капчагайского водохранилища и водного режима озера Балхаш на перспективу / В.Д. Красов // Материалы Второй научно-технической конференции Гидропроекта. – М., 1972. – С. 191-193.

8. Красов В.Д. Прогноз режима Капчагайского водохранилища с учетом изменения водного баланса и уровня озера Балхаш / В.Д. Красов // Тр. ГГИ. – Л., 1974. – Вып. 220. – С. 17-32.

9. Красов В.Д. Применение моделированных последовательностей при оценке антропогенного воздействия на сток рек / В.Д. Красов, П.С. Лысачев // Материалы Девятой международной научно-методической конференции. – Воронеж, 2009. – Т. 1. – С. 375-378.

10. Красов В.Д. Стратегия управления водными ресурсами в условиях антропогенных изменений речного стока / В.Д. Красов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2009. – № 1. – С. 13-22.

11. Крицкий С.Н. Расчеты многолетнего регулирования речного стока на основе теории вероятностей / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель // Тр. ВИСУ. Сер. Гидротехн. – 1932. – Сб. № 4. – С. 7-31.

12. Крицкий С.Н. Гидрология и водное хозяйство Волго-Дона / С.Н. Крицкий, М.Ф. Менкель. – Л.: Гидроэнергоиздат, 1969. – 149 с.

13. Водноэнергетические расчеты методом Монте-Карло / ред. А.Ш. Резниковский. – М.: Энергоатомиздат, 1969. – 303 с.

Красов Вячеслав Дмитриевич  
кандидат технических наук, доцент кафедры природопользования факультета географии и геоэкологии Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (4732) 66-56-54, e-mail: root@geogr.vsu.ru

Лысачев Петр Сергеевич  
старший преподаватель факультета компьютерных наук Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (4732) 208-470, e-mail: piit@cs.vsu.ru

14. Саваренский А.Д. Метод расчета регулирования стока / А.Д. Саваренский // Гидротехническое строительство. – 1940. – №2. – С. 24-28.

Krasov Vyacheslav Dmitriyevitch  
Candidate of Technical Sciences, associate professor of the management of nature department of the geography and geocology faculty of the Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 66-56-54, e-mail: root@geogr.vsu.ru

Lysachev Pyotr Sergeyevitch  
Senior lecturer of the computer science faculty of the Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 208-470, e-mail: piit@cs.vsu.ru