

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Г. В. Пряжина, А. А. Четверова

ПРАКТИКУМ  
ПО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ  
РАСЧЕТАМ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Г. В. Пряжина, А. А. Четверова

ПРАКТИКУМ  
ПО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РАСЧЕТАМ

*Учебное пособие*



УДК 556.5  
ББК 26.222  
П85

Рецензенты: д-р геогр. наук, проф. *В. А. Шелутко* (Российский государственный гидрометеорологический университет), канд. техн. наук, доцент *В. Л. Трушевский* (С.-Петербургский государственный университет)

*Печатается по постановлению  
Ученого совета факультета географии и геоэкологии  
С.-Петербургского государственного университета*

**Пряхина Г. В., Четверова А. А.**  
П85 Практикум по водохозяйственным расчетам: учеб. пособие. — СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2013. — 40 с.  
ISBN 978-5-288-05443-3

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Водохозяйственные расчеты», читаемого на факультете географии и геоэкологии С.-Петербургского государственного университета. В пособии рассматриваются методы и практические приемы водохозяйственных расчетов: расчет полезной емкости водохранилища сезонного и многолетнего регулирования обобщенными методами, построение интегральных кривых, расчет обобщенной водохозяйственной характеристики, оценка влияния проектируемого водохранилища на расходы воды в нижнем бьефе гидроузла.

Пособие предназначено студентам вузов, обучающимся по направлению «Гидрометеорология» и другим смежным направлениям.

**ББК 26.222**

ISBN 978-5-288-05443-3

© Г. В. Пряхина,  
А. А. Четверова, 2013  
© С.-Петербургский  
государственный  
университет, 2013

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее эффективным средством управления водными ресурсами на сегодняшний день является регулирование стока водохранилищами. Водохранилищами считаются искусственные и естественные водоемы с замедленным водообменом, уровень режим которых регулируется гидротехническими сооружениями для перераспределения воды во времени в целях ее оптимального хозяйственного использования [1].

К числу основных параметров водохранилища относят:

- нормальный подпорный уровень (НПУ) — высокий уровень, поддерживаемый длительное время в нормальных условиях эксплуатации;
- форсированный подпорный уровень (ФПУ) — максимальный уровень при пропуске катастрофических половодий и паводков (допускается на короткий срок);
- уровень мертвого объема (УМО) — низкий уровень сработки водохранилища при нормальной эксплуатации;
- полный объем водохранилища — объем воды при НПУ;
- полезный объем водохранилища ( $V_{\text{полес.}}$ ) — часть полного объема, за счет которого непосредственно осуществляется регулирование стока (заключен в слое между НПУ и УМО);
- мертвый объем водохранилища ( $V_{\text{УМО}}$ ) — минимально допустимый объем, предназначенный для поддержания необходимых санитарных условий, минимального напора, предотвращения заиления (рис. 1).

По виду регулирования выделяют водохранилища:

- суточного регулирования — перераспределяют речной сток в течение суток для обеспечения неравномерного водопотребления;

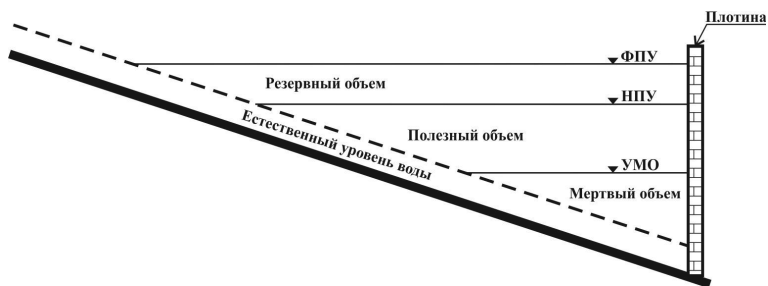


Рис. 1. Схема профиля водохранилища.

- недельного регулирования — перераспределяют речной сток в течение недели для обеспечения неравномерного водопотребления в рабочие и нерабочие дни недели;
- сезонного регулирования — перераспределяют сток между многоводными и маловодными сезонами года — наиболее распространенный вид регулирования. Если сток в течение года полностью выравнивается до величины среднегодового расхода расчетного маловодного года — регулирование называют годичным;
- многолетнего регулирования — перераспределяют сток не только внутри года, но и сток между многоводными и средневодными годами.

При водохозяйственных расчетах регулирования стока среди основных задач следует назвать определение полезной емкости водохранилища  $V_{\text{полез.}}$  в зависимости от гарантированной водоотдачи  $Q_{\text{гар.}}$ ; определение гарантированного расхода воды по известному полезному объему водохранилища и построение графика связи величин  $Q_{\text{гар.}}$  и  $V_{\text{полез.}}$ , а также оценку влияния проектируемых водохранилищ на уровни и расход воды ниже подпорного сооружения.

На стадии проектирования эти задачи решаются с помощью обобщенных методов, а на последующих стадиях — путем расчетов регулирования стока по календарным рядам.

## ЗАДАНИЕ 1

### РАСЧЕТ ПОЛЕЗНОЙ ЕМКОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩА СЕЗОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫМИ МЕТОДАМИ

**Цель работы:** определение полезного объема водохранилища сезонного регулирования для двух случаев: постоянной и неравномерной в течение года гарантированной водоотдачи.

**Основные задачи:** 1) определить полезный объем водохранилища для постоянной в течение года водоотдачи, построить график связи полезного объема водохранилища и коэффициента водоотдачи; 2) определить полезный объем водохранилища для неравномерной в течение года водоотдачи, построить график зависимости коэффициента регулирования водохранилища от коэффициента водоотдачи.

**Исходные данные:** среднегодовые и среднемесячные величины расхода воды за достаточно длительный период наблюдений (более 20 лет).

**Теоретические положения.** Сезонное регулирование является наиболее распространенным видом регулирования стока. Водохранилища, осуществляющие этот вид регулирования, перераспределяют сток из многоводных сезонов года в маловодные. При этом полезный объем водохранилища является единственным источником покрытия дефицита стока маловодного года. Таким образом, сток межени определяет величину полезного объема водохранилища и должен соответствовать расчетной обеспеченности гарантированной водоотдачи.

*Гарантированная водоотдача водохранилища* — минимальная среднесуточная, среднемесячная, среднесезонная или среднегодо-

вая отдача, обеспечиваемая с заданной надежностью. В расчетах гарантированная водоотдача водохранилища может быть также задана в виде коэффициента водоотдачи (регулирования)  $\alpha$ , который представляет собой отношение гарантированного расхода ( $Q_{\text{гар.}}$ ) к среднемноголетнему расходу воды ( $\bar{Q}_r$ ).

Обобщенные методы расчета сезонного регулирования стока широко используются на предпроектных стадиях в случае отсутствия или недостаточности непосредственных наблюдений за стоком, а также для экспертной оценки основных параметров водохранилищ гидроузлов [1, 2].

В качестве расчетного года принимается водохозяйственный год. Водохозяйственный год начинается с фазы половодья. Его граница устанавливается с того месяца, когда отмечалось самое раннее начало половодья в пределах выбранного периода, и является постоянной для всех расчетных лет.

Основные параметры стока и его регулирования задаются в относительных единицах:

- годовой сток в виде модульного коэффициента годового стока расчетной обеспеченности  $K_{\text{гр}\%} = Q_{\text{гр}\%} / \bar{Q}_r$ , где  $Q_{\text{гр}\%}$  — годовой сток расчетной обеспеченности  $p\%$ ;  $\bar{Q}_r$  — среднемноголетний годовой сток, или норма годового стока;
- сток межени расчетной обеспеченности в виде модульного коэффициента стока межени расчетной обеспеченности  $K_{\text{мр}\%} = Q_{\text{мр}\%} / \bar{Q}_m$ , где  $Q_{\text{мр}\%}$  — сток межени расчетной обеспеченности  $p\%$ ,  $\bar{Q}_m$  — средний сток за межень, или норма меженного стока;
- полезный объем водохранилища сезонного регулирования в виде коэффициента полезного объема  $\beta_{\text{сез.}} = V_{\text{сез.}} / \bar{W}_r$ , где  $V_{\text{сез.}}$  — полезный объем водохранилища сезонного регулирования,  $\bar{W}_r$  — среднемноголетний объем годового стока.

Для постоянной в течение года водоотдачи  $\alpha$  коэффициент полезного объема водохранилища определяется по формуле:

$$\beta_{\text{сез.}} = \alpha t_m - t_m K_{\text{мр}\%}, \quad (1)$$

где  $\beta_{\text{сез.}}$  — коэффициент полезного объема в долях среднегодового стока;  $t_m$  — длительность межени в долях года;  $t_m$  — средняя многолетняя доля межени в годовом стоке [1].

При сравнительно небольшой разнице между коэффициентами вариации годового стока и меженного стока ( $C_{\text{гт}} \approx C_{\text{вм}}$ ) может быть использована формула:

$$\beta_{\text{сез.}} = \alpha t_{\text{м}} - m_{\text{м}} K_{\text{гр}}\%. \quad (2)$$

Тогда полезный объем водохранилища сезонного регулирования составит:

$$V_{\text{полез.}} = \beta_{\text{сез.}} \bar{W}_{\text{г}}. \quad (3)$$

При неравномерной отдаче в течение года полезный объем водохранилища сезонного регулирования определяется табличным методом как дефицит стока межени расчетной обеспеченности.

### План выполнения работы

1. *Определить полезный объем водохранилища для постоянной в течение года водоотдачи при обеспеченности годового и меженного стока  $p = 95\%$ , построить график связи полезного объема водохранилища и коэффициента водоотдачи.*

Предварительно определяются статистические параметры (норма —  $\bar{Q}$ , коэффициенты вариации —  $C_v$  и асимметрии —  $C_s$ ) годового стока и меженного стока по исходному ряду гидрологических данных с использованием известных формул:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (4)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{(n-1)}}, \quad (5)$$

$$C_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{(n-1)C_v^3}}. \quad (6)$$

При расчете указанных параметров для меженного стока определяется расчетная продолжительность межени (в целых месяцах). В период межени включаются месяцы, значения среднего расхода воды которых меньше значений среднееголетнего расхода



воды  $\bar{Q}_r$ . Сроки и длительность межени в целых месяцах принимаются постоянными для всего имеющегося ряда исходных данных. Они определяются, как правило, по данным о средних (за многолетие) месячных и годовых расходах воды.

По исходному ряду значений среднегодовых расходов воды определяется среднегодовой расход воды заданной обеспеченности  $Q_{гр\%}$ . Для этого ряд ранжируется в порядке убывания и рассчитывается эмпирическая обеспеченность  $p\%$  каждого члена ряда по формуле:

$$p\% = 100 \cdot m / (n + 1), \quad (7)$$

где  $m$  — порядковый номер члена ряда,  $n$  — длина ряда. Таким же образом определяется расход межени расчетной обеспеченности  $Q_{мр\%}$  по ряду среднемесячных расходов межени.

Определяются модульные коэффициенты годового  $K_{гр\%}$  и межени  $K_{мр\%}$  стока расчетной обеспеченности по формулам:

$$K_{гр\%} = Q_{гр\%} / \bar{Q}_r, \quad (8)$$

$$K_{мр\%} = Q_{мр\%} / \bar{Q}_m. \quad (9)$$

Определяются средне многолетний объем годового стока  $\bar{W}_r$  и средне многолетний объем межени  $\bar{W}_m$ :

$$\bar{W}_r = \bar{Q}_r \cdot \Delta t, \quad (10)$$

$$\bar{W}_m = \bar{Q}_m \cdot \Delta t, \quad (11)$$

где  $\Delta t$  — количество секунд в расчетном периоде.

Длительность межени в долях года  $t_m$  определяется по формуле:

$$t_m = T_m / 12, \quad (12)$$

где  $T_m$  — длительность межени в месяцах.

Средняя многолетняя доля межени в годовом стоке  $m_m$  определяется по формуле:

$$m_m = \bar{W}_m / \bar{W}_r. \quad (13)$$

Для заданных значений  $\alpha$ : 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75 по формулам (1) или (2) (в зависимости от соотношения коэффициентов вариации межени и годового стока) рассчитываются коэффициенты полезного объема  $\beta_{сез.}$ .

По формуле (3) определяются абсолютные размеры полезного объема водохранилища  $V_{полез.}$ .

По результатам расчетов строится зависимость  $V_{полез.} = f(\alpha)$ .

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Задание 1. Расчет полезной емкости водохранилища сезонного регулирования обобщенными методами .....	5
Задание 2. Построение интегральных кривых для расчета сезонного регулирования стока.....	15
Задание 3. Расчет и построение обобщенной водохозяйственной характеристики .....	23
Задание 4. Оценка влияния проектируемого водохранилища на расходы воды в нижнем бьефе гидроузла .....	32
Рекомендуемая литература.....	39

---

---

Учебное пособие

*Галина Валентиновна Пряхина,  
Антонина Александровна Четверова*

### ПРАКТИКУМ ПО ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РАСЧЕТАМ

Редактор *И. В. Пылило*  
Компьютерная верстка *А. М. Вейшторт*

Подписано в печать 03.09.2013. Формат 60 × 84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,32. Тираж 150 экз. Заказ № 151

Издательство Санкт-Петербургского университета.

199004, С.-Петербург, В.О., 6-я линия, 11/21.

Тел./факс (812)328-44-22

E-mail: editor@unipress.ru

www.unipress.ru

Типография Издательства СПбГУ.

199061, С.-Петербург, Средний пр., 41.