

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕЛИОРАЦИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению практических заданий и курсовой работы по
курсу**

***«Инженерная гидрология и регулирование
стока»***

**для студентов специальности 74 05 01 "Мелиорация и водное
хозяйство"**

Брест 2002

Методические указания к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу "Инженерная гидрология и регулирование стока" для студентов специальности 74 05 01 "Мелиорация и водное хозяйство" / Стефаненко Ю.В., Волчек А.А. и др. – Брест.: БГТУ, 2002 – 45 с.

В методических указаниях изложены методы гидрологических расчетов по определению параметров среднего годового стока рек при наличии, недостаточности и отсутствии данных гидрометрических наблюдений, внутригодового распределения стока, максимальных расходов воды весеннего половодья, летне-осенних дождевых паводков при наличии и отсутствии данных наблюдений, трансформации паводкового стока водохранилищем, а также по определению основных параметров водохранилища.

Настоящие методические указания являются практическим руководством в самостоятельной работе студентов специальностей 74 05 01 "Мелиорация и водное хозяйство" при выполнении практических заданий, курсовых и дипломных проектов.

Составители: **Стефаненко Ю.В.**, к.т.н. доцент,
Волчек А.А., к.г.н., доцент,
Лукша В.В., ассистент,
Мозоль Т.Е., ассистент.

Рецензенты:

- 1 Профессор кафедры экологии Белорусской государственной политехнической академии, доктор технических наук **М.Ю. Калинин**.
- 2 Главный специалист группы гидрологии проектного института «Полесьегипрхоз», кандидат географических наук **Н.А. Мишустин**.

Практическая работа №1

Тема: Определение нормы годового стока.

Цель работы: Определить норму годового стока при наличии и недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

Краткие сведения из теории

Одной из основных характеристик гидрологического режима рек является средняя многолетняя величина или *норма стока*. *Нормой годового стока* называется его среднее значение за многолетний период при неизменных географических условиях и одинаковом уровне хозяйственной деятельности в бассейне реки, включающий несколько (не менее двух) четных замкнутых циклов колебаний водности.

При наличии данных гидрометрических наблюдений согласно Пособия к СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» [2] норма годового стока определяется по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (1.1)$$

где \bar{Q} – норма годового стока, м³/с; Q_i – годовые значения стока за длительный период (n лет), при котором дальнейшее увеличение ряда наблюдений не меняет или мало меняет среднюю арифметическую величину \bar{Q} .

Вследствие недостаточной длины фактических рядов наблюдений за годовым стоком норма годового стока, полученная по формуле (1.1), отличается от истинного среднего значения, т.е. рассчитывается с некоторой относительной средней квадратической ошибкой

$$\delta_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где C_v – коэффициент изменчивости (вариации) ряда годовых величин стока за n лет, можно определить методом моментов по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (1.3)$$

где K_i – модульный коэффициент, определяемый по формуле

$$K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}. \quad (1.4)$$

Согласно Пособия к СНиП 2.01.14-83 продолжительность периода считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен (представителен), а величина средней квадратической ошибки нормы стока не превышает 10%. При невыполнении этих условий расчетный ряд считается недостаточным и его необходимо привести к многолетнему периоду с привлечением реки-аналога.

Основные критерии подбора реки-аналога

$$R \geq 0,7; n' \geq 10, \quad (1.5)$$

где R – коэффициент корреляции между величинами стока исследуемой (расчетной) реки и реки-аналога, n' – число лет совместных наблюдений.

Коэффициент корреляции R – мера тесноты связи между рассматриваемыми характеристиками (переменными). Частный коэффициент корреляции изменяется в пределах от -1 до 1 , чем ближе к единице, тем теснее связь.

Коэффициент автокорреляции $r(\tau)$ – характеризует связь ряда гидрологических величин с этим же рядом, сдвинутым на некоторый интервал времени τ . Коэффициент автокорр-

реляции позволяет судить о случайности и независимости значений характеристики ряда. Значения $r(\tau) \leq 0,2$ считаются несущественными.

После подбора реки-аналога производится восстановление значений стока для расчетной реки методами, предусмотренными Пособием к СНиП 2.01.14-83.

Ход выполнения работы

Требуется определить норму годового стока при наличии длительного ряда наблюдение для р. Западная Двина - г. Полоцк. Исходный ряд наблюдений дан в таблице 1.1.

Таблица 1.1 Годовые расходы воды (Q_i) р. Западная Двина - г. Полоцк за 1947-1981 гг.

№ члена ряда	1	2	3	4	5	6	7	...	33	34	35	
Год	2	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	...	1979	1980	1981
$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	3	323	279	256	332	265	313	448	...	259	305	305

По формуле 1.1 определяется норма годового стока

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{10215}{35} = 292 \text{ м}^3/\text{с}.$$

По формуле 1.2 необходимо рассчитать относительную среднюю квадратическую ошибку. При нахождении средней квадратической ошибки, требуется определить коэффициент изменчивости (C_v). Расчеты удобнее вести в табличной форме таблица 1.2

Таблица 1.2 Определение коэффициента изменчивости на р. Западная Двина-г. Полоцк

№ п/п годы	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$K_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}$	K_{i-1}	$(K_{i-1})^2$
1	2	3	4	5
1	323	1,11	0,11	0,011
2	279	0,96	-0,04	0,002
3	256	0,88	-0,12	0,015
...
17	259	0,89	-0,4	0,013
18	305	1,05	-0,05	0,002
19	305	1,05	-0,05	0,002
Сумма	10215			2,31
Среднее	292			

По формуле 1.3 определяется коэффициент изменчивости

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2,31}{35-1}} = 0,26.$$

Средняя квадратическая ошибка

$$\delta_Q = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,26}{\sqrt{35}} \cdot 100\% = 4,41\%.$$

Полученная ошибка $\delta_Q = 4,41\% < 10\%$ меньше допустимой, следовательно длина ряда считается достаточной.

При определении нормы стока р. Нача-с. Горовцы за период 1947-1965 гг. (таблица 1.3) относительная средняя квадратическая ошибка $\delta_Q = 10,1\% > 10\%$, т.е. недостаточно данных гидрометрических наблюдений.

Для продления длины ряда подбирается река-аналог. Для этого можно воспользоваться матрицей коэффициентов корреляции [2]. Характеру колебаний годового стока р.Нача-с.Горовцы больше всего соответствует режим р.Западной Двины-г.Полоцк. Синхронность колебаний режимов этих рек за совместный период наблюдений оценивается коэффициентом корреляции $R=0,82$.

Таблица 1.3 Годовые расходы воды (Q_i) р.Нача-с.Горовцы за 1947-1965 гг., $F=212 \text{ км}^2$

№ члена ряда	1	2	3	4	5	6	7	...	17	18	19	
Год	2	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	...	1963	1964	1965
$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	3	0,90	1,06	1,13	1,35	1,84	1,30	1,68	...	1,16	0,90	1,23

Для продления короткого ряда наблюдений по исследуемой реке, при аналитическом методе, подсчитывается коэффициент корреляции и параметры уравнения регрессии (таблица 1.4). Используется два метода продления: аналитический (по уравнению регрессии) и графический (по графику связи).

Таблица 1.4 Определение коэффициента корреляции и параметров уравнения регрессии.

№ пп	Годы	Расходы воды, $\text{м}^3/\text{с}$		$\Delta y = y_i - \bar{y}$ $-\Delta y_2 = 2,9 - x$	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	Δy^2	Δx^2	$\Delta y \cdot \Delta x$
		$Q(y)$	$Q_A(x)$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1947	0,90	323	-0,42	7,00	0,180	49,000	-2,966
2	1948	1,06	279	-0,26	-37,0	0,070	1369,000	9,756
3	1949	1,13	256	-0,19	-60,0	0,038	3600,000	11,621
...
17	1963	1,16	209	-0,16	-107	0,027	11449,000	17,514
18	1964	0,90	187	-0,42	-129	0,180	16641,000	54,655
19	1965	1,23	263	-0,09	-53,0	0,009	2809,000	4,965
Сумма		25,08	6004	0,00	0,00	4,317	133465,79	585,953
Среднее		(1,32)	(316)					

Определяются средние квадратические отклонения рядов:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{133465,79}{18}} = 86,11; \quad (1.6)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,317}{18}} = 0,49. \quad (1.7)$$

Коэффициент корреляции

$$R = \frac{\sum (y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \cdot \sum \Delta y^2}} = \frac{585,953}{\sqrt{133465,79 \cdot 4,317}} = 0,772. \quad (1.8)$$

Вероятная ошибка коэффициента корреляции

$$E_p = \pm 0,674 \cdot \frac{1-R^2}{\sqrt{n}} = \pm 0,674 \cdot \frac{1-0,772^2}{\sqrt{19}} = \pm 0,062. \quad (1.9)$$

Наиболее вероятное значение коэффициента корреляции $R = 0,772 \pm 0,062$.

Коэффициент регрессии, представляющий тангенс угла наклона линии связи к оси абсцисс, определяется по формуле

$$K_{y/x} = R \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0,772 \cdot \frac{0,49}{86,11} = 0,0044. \quad (1.10)$$

Уравнение прямой регрессии

$$\begin{aligned}
 (Q - \bar{Q}) &= K_{y/x} \cdot (Q_A - \bar{Q}_A); \\
 (Q - 1,32) &= 0,0044 \cdot (Q_A - 316); \\
 Q &= 0,0044 \cdot Q_A - 0,07.
 \end{aligned}
 \tag{1.11}$$

Для проверки правильности расчета строится прямая по уравнению прямой регрессии. (рисунок 1.1).

При продлении ряда графическим методом строится график связи, по таблице 1.4, расходов исследуемой реки с расходами реки-аналога (рисунок 1.1).

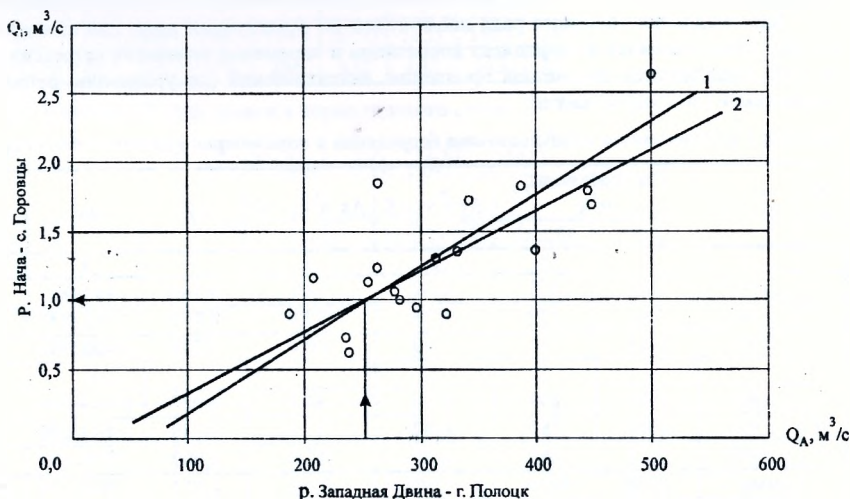


Рисунок 1.1. Графики связи средних годовых расходов воды р. Западная Двина-г. Полоцк и р. Нача-с.Горовацы: 1 - графический метод; 2 - аналитический метод.

Приведение исходного ряда к длительному периоду наблюдения осуществляется по двум методам: графическому - значения расходов воды снимаются по графику, с использованием расходов реки-аналога; аналитическому - значения расходов воды определяются по уравнению прямой регрессии, с использованием расходов реки-аналога. Результаты сводятся в таблицу 1.5. При этом в графы 3 и 4 таблицы 1.5 переписываются наблюдаемые значения, а восстановленные значения расходов, по двум методам, берутся в скобки.

Согласно СНиП 2.01.14-83 систематическое преуменьшение коэффициента вариации исключается путем дополнительного расчета погодичных значений Q_i (графа 6 таблицы 1.5) по формуле

$$Q_i = (Q_i - \bar{Q}_A) / R + \bar{Q}_A,
 \tag{1.12}$$

где Q_i - погодичные значения среднего годового расхода, рассчитанные по уравнению регрессии; \bar{Q}_A - норма годового стока для исследуемой реки, вычисленная за период совместных наблюдений с рекой-аналогом (в рассматриваемом примере $n=19$); R - коэффициент корреляции.

Например, для восстановленного значения за 1979 год имеем:

$$\bar{Q}_i = (Q_i - \bar{Q}_n) / R + \bar{Q}_n = (1,07 - 1,32) / 0,772 + 1,32 = 1,00 \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.13)$$

Таблица 1.5 Восстановленные и наблюдаемые расходы воды.

№ пп	Годы	$Q_n, \text{м}^3/\text{с}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$ (по графику)	$Q, \text{м}^3/\text{с}$ (по уравнению)	$Q, \text{м}^3/\text{с}$ (принятые к расчету)
1	2	3	4	5	6
1	1947	323	0,90	0,90	0,90
2	1948	279	1,06	1,06	1,06
3	1949	256	1,13	1,13	1,13
...
33	1979	259	(1,00)	(1,07)	(1,00)
34	1980	305	(1,30)	(1,27)	(1,25)
35	1981	305	(1,30)	(1,27)	(1,25)
Среднее		294	1,27	1,22	1,19

Для дальнейших расчетов принимается гидрологический ряд расходов из графы 6 таблицы 1.5. Норма стока при этом составит $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}$. Средняя квадратическая ошибка $\delta_{\bar{Q}} = 0,085$.

Таким образом норма стока с учетом продления ряда р.Нача-с.Горовцы равна $\bar{Q} = 1,19 \pm 0,085$.

Практическая работа №2

Тема: Определение статистических параметров вариационного стокового ряда. Построение теоретической кривой обеспеченности годового стока.

Цель работы: 1) Определить статистические параметры вариационного стокового ряда различными методами.

2) Построить эмпирическую и теоретические кривые обеспеченности.

3) Найти величину годового стока заданной вероятности превышения (обеспеченности).

Краткие сведения из теории

При водохозяйственном использовании реки необходимо знать не только среднюю величину (норму стока), но и сток различной вероятности превышения (обеспеченности), т.е. возможные его колебания на весь запланированный период службы сооружения.

Для определения годового стока различной вероятности превышения используются кривые распределения или обеспеченности. В общем случае, если рассматривать изменяющийся (вариационный) стоковый ряд, вид кривой обеспеченности зависит от следующих статистических параметров ряда: средней арифметической величины ряда (нормы стока \bar{Q}), коэффициента вариации (C_v) и коэффициента асимметрии (C_s).

Коэффициент вариации (изменчивости) (C_v) – безразмерный статистический параметр, характеризующий изменчивость гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения.

Коэффициент асимметрии (C_s) – безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности распределения ряда рассматриваемой гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения.

Для построения эмпирических (по данным наблюдений) кривых обеспеченности необходимо определить обеспеченность каждого члена стокового ряда. *Ежегодная вероятность превышения (обеспеченность) расхода воды* ($P, \%$) – это вероятность появления расхода равного или превышающего заданное значение. Определяется по формуле

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \% \quad (2.1)$$

где m – порядковый номер членов ряда соответствующей гидрологической характеристики, расположенной в убывающем порядке; n – общее число членов ряда. Чем больше вероятность превышения, тем меньше значение гидрометеорологической характеристики и наоборот.

От обеспеченности можно перейти к *вероятной повторяемости в годах* (N) расхода равного или превышающего заданный, используя следующие формулы:

$$\text{при } P \leq 50\% \quad N = \frac{100}{P}; \quad (2.2)$$

$$\text{при } P \geq 50\% \quad N = \frac{100}{100 - P}. \quad (2.3)$$

Если по формуле (2.1) вычислить обеспеченность всех членов ряда, расположенных в убывающем порядке, можно по полученным значениям обеспеченности и соответствующим им значениям расходов воды построить эмпирическую кривую обеспеченности. Однако, из-за отсутствия длительных рядов наблюдений, такая кривая не позволяет определить расходы воды редкой повторяемости (1 раз в 100, 500, 1000 лет). Эмпирическую кривую необходимо экстраполировать в верхней и нижней частях значений обеспеченности. Для этой цели используются *теоретические кривые распределения*: трехпараметрического гамма-распределения и распределение Пирсона III типа.

Для построения теоретических кривых необходимо вычислить коэффициент вариации (C_v) и асимметрии (C_s) по которым рассчитываются ординаты теоретических кривых.

При наличии длительных рядов данных однородных гидрометрических наблюдений СНиП 2.01.14-83 предусматривает следующие методы определения этих коэффициентов: метод наибольшего правдоподобия, метод моментов, графоаналитический метод Г.А. Алексеева.

Ход выполнения работы

1) Метод наибольшего правдоподобия

Применяется при любой изменчивости стока. Значения годового расхода воды (Q_i) располагаются в убывающем порядке, и определяется эмпирическая ежегодная вероятность превышения по формуле (2.1). Рассчитываются модульные коэффициенты (k_i), а также ($\lg k_i$) и произведения ($k_i \cdot \lg k_i$). Результаты расчетов записываются в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 Параметры кривой распределения годового расхода воды (Q_i), рассчитанные методом наибольшего правдоподобия

№ члена ряда	Год	Q_i , м ³ /с	$Q_{i\text{убыв.}}$, м ³ /с	P, %	$k_i = \frac{Q_i}{Q}$	$\lg k_i$	$k_i \cdot \lg k_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1947	0,90	2,63	2,78	2,21	0,344	0,760
2	1948	1,06	1,84	5,56	1,55	0,190	0,295
3	1949	1,13	1,82	8,33	1,53	0,185	0,283
...
33	1979	1,00	0,72	91,67	0,61	-0,215	-0,131
34	1980	1,25	0,65	94,44	0,55	-0,260	-0,143
35	1981	1,25	0,62	97,22	0,52	-0,284	-0,148
Сумма		41,80			35,12	-0,808	0,927
Среднее		1,19					

По данным таблицы 2.1 на клетчатку вероятности (рисунок 2.1) наносятся эмпирические точки (графы 4 (б) и 5 таблицы 2.1), и строится сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности.

Определяется среднее многолетнее значение расхода воды

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{41,80}{35} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.4)$$

затем вычисляются суммы $\sum_{i=1}^n \lg k_i = -0,808$, $\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i = 0,927$, для вычисления статистик λ_2 и λ_3 , которые рассчитываются по формулам

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1} = \frac{-0,808}{34} = -0,024; \quad \lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i}{n-1} = \frac{0,927}{34} = 0,027. \quad (2.5)$$

По специальным номограммам (приложение Е) [2], в соответствии с вычисленными статистиками (λ_2) и (λ_3), определяется коэффициент вариации $C_v = 0,36$, отношение $C_s/C_v = 4,0$. Далее, по этим параметрам и $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}$, согласно таблице Ж.1 [2], вычисляются ординаты кривой трехпараметрического гамма-распределения и заносятся в таблицу 2.2.

При попадании точки пересечения значений (λ_2) и (λ_3) вне номограммы, используют лишь значение (λ_2), принудительно опускается это значение на кривую $C_s = 2C_v$ (для Беларуси), и на пересечении находится значение C_v .

Таблица 2.2 Ординаты аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения

P, %	0,01	0,1	1	5	10	25	50	75	95	99	99,9
k_p	3,93	2,99	2,16	1,67	1,46	1,18	0,93	0,75	0,56	0,46	0,37
$Q_p, м^3/с$	4,68	3,56	2,57	1,99	1,74	1,40	1,11	0,89	0,66	0,54	0,44

По данным таблицы 2.2 строится аналитическая кривая распределения, и делается вывод о соответствии построенной теоретической кривой с эмпирическими точками (кривой). При условии приемлемости согласования эмпирической и теоретической кривых распределения определяются искомые значения расходов воды годового стока заданной вероятности превышения (рисунок 2.1).

Определяются средние квадратические ошибки: нормы годового стока и коэффициента вариации без учета автокорреляции по формулам

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,09\%; \quad (2.6)$$

$$\sigma_{C_V} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_V^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (2.7)$$

Полученная ошибка для нормы стока $6,09\% < 10\%$ не противоречит условию.

Метод моментов

Метод моментов является вспомогательным методом. Применяется при изменчивости годового стока $C_V \leq 0,50$. Расчет статистических параметров производим в порядке, указанном в таблице 2.3.

Таблица 2.3 Параметры кривой распределения годового расхода воды, рассчитанные методом моментов

№ члена ряда	Год	Q_i	Q_i убыв	P, %	k_i	$k_i - 1$	$(k_i - 1)^2$	$(k_i - 1)^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1947	0,90	2,63	2,78	2,21	1,21	1,464	1,772
2	1948	1,06	1,84	5,56	1,55	0,55	0,303	0,166
3	1949	1,13	1,82	8,33	1,53	0,53	0,281	0,149
...
33	1979	1,00	0,72	91,67	0,61	-0,41	0,168	-0,069
34	1980	1,25	0,65	94,44	0,55	-0,45	0,203	-0,091
35	1981	1,25	0,62	97,22	0,52	-0,48	0,230	-0,111
Сумма		41,80			35,12		4,368	1,845

По результатам расчетов (таблица 2.3) определяются суммы: $\sum_{i=1}^{33} (k_i - 1)^2 = 4,368$,

$\sum_{i=1}^{33} (k_i - 1)^3 = 1,845$; вычисляются смещенные значения коэффициентов вариации (\tilde{C}_V), асим-

метрии (\tilde{C}_S) и средние квадратические ошибки по формулам

$$\tilde{C}_V = \sqrt{\frac{\sum (k_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{4,368 / (35 - 1)} = 0,36; \quad (2.8)$$

$$\tilde{C}_S = \frac{n \cdot \sum (k_i - 1)^3}{C_V^3 \cdot (n - 1) \cdot (n - 2)} = \frac{35 \cdot 1,845}{0,36^3 \cdot 34 \cdot 33} = 1,16; \quad (2.9)$$

$$\bar{C}_s / \bar{C}_v = \frac{1,16}{0,36} \approx 3,0. \quad (2.10)$$

Если полученное соотношение \bar{C}_s / \bar{C}_v менее 2,0, то для дальнейших расчетов принимается $\bar{C}_s / \bar{C}_v = 2,0$.

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,09\%; \quad (2.11)$$

$$\sigma_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_v^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (2.12)$$

Относительная средняя квадратическая ошибка нормы годового расхода воды $6,09\% < 10\%$ (продолжительность периода $n=35$ года) считается достаточной.

Расчетные несмещенные значения коэффициентов (C_v) и (C_s) для биномиального распределения методом моментов определяются по [2], где коэффициенты a_1-a_6 и b_1-b_6 найдены по таблицам 4.1 и 4.2 [2] для соотношения $C_s/C_v=3$ и коэффициента автокорреляции $r(1)=0$:

$$C_v = \left(a_1 + \frac{a_2}{n} \right) + \left(a_3 + \frac{a_4}{n} \right) \cdot \bar{C}_v + \left(a_5 + \frac{a_6}{n} \right) \cdot \bar{C}_v^2 = \\ = \left(0 + \frac{0,69}{35} \right) + \left(0,98 - \frac{434}{35} \right) \cdot 0,36 + \left(0,01 + \frac{6,78}{35} \right) \cdot 0,36^2 = 0,35; \quad (2.13)$$

$$C_s = \left(b_1 + \frac{b_2}{n} \right) + \left(b_3 + \frac{b_4}{n} \right) \cdot \bar{C}_s + \left(b_5 + \frac{b_6}{n} \right) \cdot \bar{C}_s^2 = \\ = \left(0,03 + \frac{2,00}{35} \right) + \left(0,92 - \frac{5,09}{35} \right) \cdot 1,16 + \left(0,03 + \frac{8,10}{35} \right) \cdot 1,16^2 = 1,35. \quad (2.14)$$

По несмещенным параметрам $C_v=0,35$, $C_s=1,35$ и $\bar{Q}=1,19 \text{ м}^3/\text{с}$ вычисляются ординаты биномиальной кривой распределения (таблица 2.4) по таблице К.1 [2].

По данным таблицы 2.4 на клетчатке вероятности строится аналитическая кривая биномиального распределения модулей годового стока (рисунок 2.1), с которой снимаются искомые значения годового стока заданной вероятности превышения. Анализируется соответствие построенной теоретической кривой эмпирической.

Таблица 2.4 Ординаты аналитической кривой биномиального распределения годового стока (для метода моментов)

P, %	0,01	0,1	1	5	10	25	50	75	95	99	99,9
Φ_p	6,76	5,02	3,24	1,94	1,34	0,50	-0,21	-0,73	-1,19	-1,35	-1,44
$K_p = \Phi_p C_v + 1$	3,37	2,76	2,13	1,68	1,47	1,18	0,93	0,74	0,58	0,53	0,50
$Q_p = K_p \bar{Q}, \text{ м}^3/\text{с}$	4,01	3,28	2,53	2,00	1,75	1,40	1,11	0,88	0,69	0,63	0,60

Графоаналитический метод (метод квантилей Алексева)

Для получения оценок параметров аналитической кривой распределения, по сглаженной эмпирической кривой распределения (клетчатка вероятности), построенной с использованием данных таблицы 2.1 (графы 4,5), определяются ее ординаты, т.е. средние годовые расходы воды с вероятностью превышения (P), равной 5, 50, 95%. Результаты вычислений заносятся в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 Параметры кривой распределения годового стока, рассчитанные графоаналитическим методом

Расходы воды в м ³ /с									
Q _{5%}	Q _{50%}	Q _{95%}	S	C _S	Φ _{5%} -Φ _{95%}	σ	Φ _{50%}	σ Φ _{50%}	C _V
2,00	1,13	0,64	0,279	1,00	3,20	0,43	-0,16	-0,069	0,36

Определение параметров биномиальной кривой обеспеченности графоаналитическим методом (методом квантилей Алексеева) необходимо начать с расчета коэффициента скошенности (S) по формуле

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}} = \frac{2,00 + 0,64 - 2 \cdot 1,13}{2,00 - 0,64} = 0,279 \quad (2.15)$$

С использованием коэффициента скошенности (S), по таблице К.1 [2] определяется коэффициент асимметрии (C_S), разность нормированных отклонений (Φ_{5%}-Φ_{95%}) и нормированное отклонение (Φ_{50%}). Далее рассчитывается среднее квадратическое отклонение (σ), норма годового расхода воды (Q) и коэффициент вариации (C_V) по формулам:

$$\sigma = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}} = \frac{2,00 - 0,64}{3,20} = 0,43; \quad (2.16)$$

$$Q = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \cdot \sigma = 1,13 - (-0,16 \cdot 0,43) = 1,20 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (2.17)$$

$$C_V = \sigma / Q = 0,43 / 1,20 = 0,36 \quad (2.18)$$

Весь ход вычисления оценок параметров аналитической кривой распределения графоаналитическим методом отражен в таблице 2.5.

По параметрам Q = 1,20 м³/с, C_V = 0,36, C_S = 1,00 рассчитываются ординаты аналитической кривой обеспеченности биномиального распределения стока (таблица 2.6), которые наносятся на клетчатку вероятности.

Таблица 2.6 Ординаты аналитической кривой биномиального распределения годового стока (для графоаналитического метода)

P, %	0,01	0,1	1,0	5,0	10	25	50	75	95	99	99,9
Ф _P	5,96	4,53	3,02	1,88	1,34	0,55	-0,16	-0,73	-1,32	-1,59	-1,79
K _P = Φ _P C _V + 1	3,15	2,63	2,09	1,68	1,48	1,20	0,94	0,74	0,52	0,43	0,36
Q _P = K _P Q, м ³ /с	3,78	3,16	2,51	2,02	1,78	1,44	1,13	0,89	0,62	0,52	0,43

Определяются средние квадратические ошибки нормы годового стока и коэффициента вариации без учета автокорреляции для графоаналитического метода.

$$\sigma_Q = \pm \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,04\%; \quad (2.19)$$

$$\sigma_{C_V} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_V^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (2.20)$$

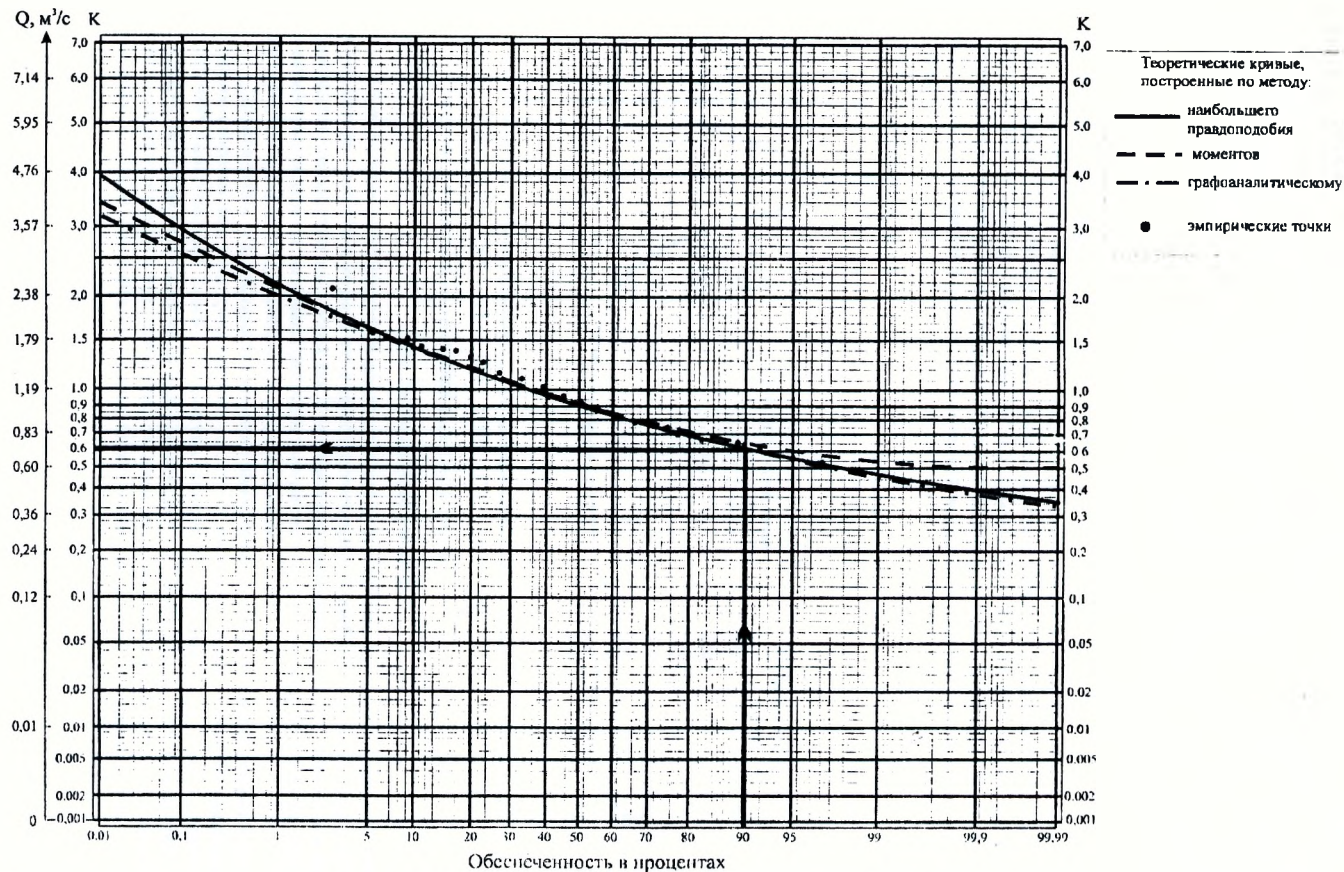


Рисунок 2.1 Кривые распределения годового стока р.Нача-с.Горовцы..

Вывод. На клетчатке вероятности видно (рисунок 2.1), что наилучшее соответствие точек эмпирических и теоретических кривых наблюдается у кривой трехпараметрического гамма-распределения при $Cv=0,36$ и $Cs=4Cv$. Поэтому определяем расход заданной обеспеченности по теоретической кривой, построенной по методу наибольшего правдоподобия $Q_{97\%} = 0,74 \text{ м}^3 / \text{с}$. В качестве расчетной выбирается теоретическая кривая, которая ближе всех проходит возле эмпирических точек. В данном примере – это теоретическая кривая, построенная по методу наибольшего правдоподобия.

Практическая работа №3

Тема: Расчет внутригодичного распределения стока.

Цель работы: Рассчитать внутригодичное распределение стока методом реального года.

Краткие сведения из теории

Для расчета внутригодичного стока воды при наличии данных гидрометрических наблюдений за период не менее 15 лет применяются согласно СНиП 2.01.14-83 следующие методы:

- распределения стока по аналогии с распределением реального года;
- компоновки сезонов.

Внутригодичное распределение стока следует рассчитывать по водохозяйственным годам, начиная с многоводного сезона. Границы сезонов назначаются едиными для всех лет с округлением до месяца. Деление года на периоды и сезоны производится в зависимости от преобладающего вида использования стока. Период года и сезон, в которых естественный сток может лимитировать водопотребление, принимаются за лимитирующие период и сезон (рис. 3.1).

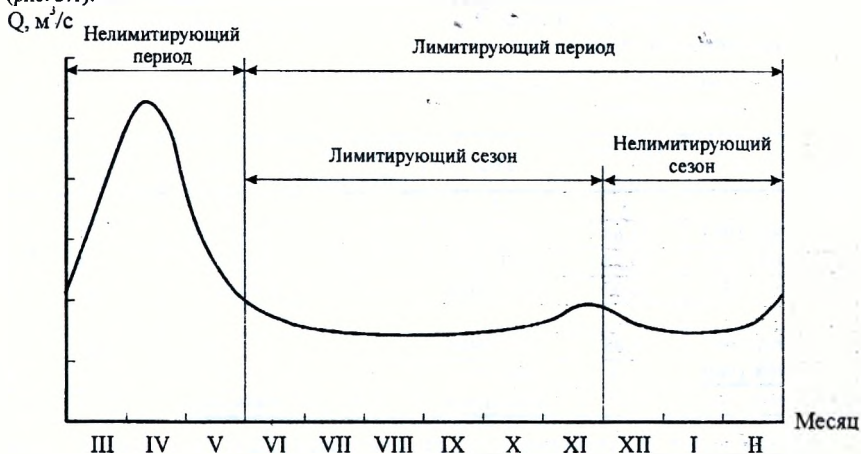


Рисунок 3.1 Средний многолетний гидрограф стока.

Ход выполнения работы

Для расчета внутригодичного распределения стока применяем *метод реального года*. Суть метода – выделить из ряда лет водохозяйственный год наиболее близкий к заданной вероятности превышения как за год так и за лимитирующий период (сезон). Затем, зная процентное распределение месячных расходов внутри этого реального года, по аналогии выполнить внутригодичное распределение для заданного года.

Прежде всего, устанавливается начало и конец сезонов, лимитирующий период и сезон. Проанализировав ход изменения средних месячных расходов, видим, что весна охватывает март-май (многоводный сезон). Лето-осень включает июнь-ноябрь, а зима – декабрь-февраль. Поскольку проектируемое водохранилище на р.Нача-с.Горовцы предназначено для целей гидроэнергетики и водоснабжения, то лимитирующим сезоном будет зима, а лимитирующим периодом – маловодный период, включающий два сезона: лето-осень и зиму.

Таблица 3.1 Суммы средних месячных расходов р. Нача - с.Горовцы за сезоны и год, м³/с.

Водохозяйственный год	Весна (III-V)	Лето-осень (VI-XI)	Зима (XII-II)	Сумма (за год)
1	2	3	4	5
1947-1948	7,57	1,46	3,56	12,59
1948-1949	7,29	1,99	1,33	10,61
1949-1950	8,92	2,76	2,21	13,89
...
1962-1963	13,36	14,45	3,87	31,68
1963-1964	9,54	2,38	1,50	13,42
1964-1965	8,04	1,34	1,88	11,26

Для выбора реальных лет со стоком за год и сезоны, близким к расчетной (в нашем случае 90%) обеспеченности составляется таблица 3.1, в которую записываются суммы средних месячных расходов воды за все сезоны и год (водохозяйственный, т.е. начинающийся с марта текущего года и заканчивающийся в феврале следующего), и таблицу 3.2, куда выписываются суммы средних месячных расходов воды за год и лимитирующий период (сезоны) в убывающем порядке. В графу 8 таблицы 3.2 записывается вычисленная по формуле (2.1) эмпирическая обеспеченность.

Таблица 3.2 Сумма средних месячных расходов р. Нача - с.Горовцы за сезоны и год в убывающем порядке, м³/с.

№ п/п	Год	Q _{ср.м} за год	Год	Q _{ср.м} за лето-осень	Год	Q _{ср.м} за зиму	P, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1962-1963	31,68	1962-1963	14,45	1950-1951	4,64	5,3
2	1956-1957	23,28	1952-1953	10,68	1952-1953	4,07	10,5
3	1951-1952	20,92	1957-1958	8,21	1960-1961	3,88	15,8
...
16	1961-1962	10,48	1947-1948	1,46	1953-1954	0,85	84,2
17	1959-1960	9,94	1964-1965	1,34	1951-1952	0,65	89,5
18	1960-1961	9,07	1959-1960	0,57	1959-1960	0,24	94,7

Внутригодовое распределение стока реального года может быть принято в качестве расчетного, если вероятность превышения стока за год и за лимитирующие период и сезон, а также минимального месячного расхода, близки между собой и соответствуют заданной, по условиям проектирования, вероятности превышения. Анализируя данные таблицы 3.2, приходим к выводу, что наиболее близким к очень маловодному году является 1959-1960 водохозяйственный год (выделенный в таблице 3.2), так как обеспеченность годового стока (89,5%), лимитирующих сезонов лета-осени (94,7%) и зимы (94,7%) наиболее близки к заданной (90%). Этот год и принимается в качестве расчетного.

Распределение стока по месяцам для установленного таким образом маловодного (реального года) показано в таблице 3.3. Используя внутригодовое распределение стока реального года (таблица 3.3), получено внутригодовое распределение стока для расходов заданной обеспеченности (таблица 3.4).

Полученное по клетчатке вероятностей (см. практическая работа №2, рисунок 2.1) значение расхода заданной обеспеченности $Q_{\text{нн}} = 0,74 \text{ м}^3/\text{с}$, предварительно умножив его на 12: $0,74 \cdot 12 = 8,88 \text{ м}^3/\text{с}$ принимают за 100%. Обозначая сток за месяц через X и, пользуясь данными таблицы 3.3, получаем для III (марта) месяца значение $X = \frac{8,88 \cdot 31,9}{100} = 2,83 \text{ м}^3/\text{с}$, ко-

торое заносим в таблицу 3.4. Продолжая расчет таким образом, получают необходимые данные для составления таблицы 3.4.

Таблица 3.3 Внутригодовое распределение стока р. Нача – с.Горовцы за 1959-1960гг.

Очень маловодный год (1959-1960)												
Месяцы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
в м ³ /с	3,17	5,03	0,94	0,32	0,08	0,02	0,02	0,04	0,09	0,12	0,05	0,06
в %	31,9	50,6	9,50	3,20	0,80	0,20	0,20	0,40	0,90	1,20	0,50	0,60

Таблица 3.4 Внутригодовое распределение стока р. Нача – с.Горовцы за расчетный год.

Очень маловодный год (90%)												
Месяцы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
в %	31,9	50,6	9,50	3,20	0,80	0,20	0,20	0,40	0,90	1,20	0,50	0,60
в м ³ /с	2,83	4,49	0,84	0,28	0,07	0,02	0,02	0,04	0,08	0,11	0,04	0,05
млн.м ³ /мес	7,34	11,64	2,18	0,73	0,18	0,05	0,05	0,10	0,21	0,29	0,10	0,13

По данным таблицы 3.4 строится гидрограф стока для года 90%-ной обеспеченности (рисунок 3.2).

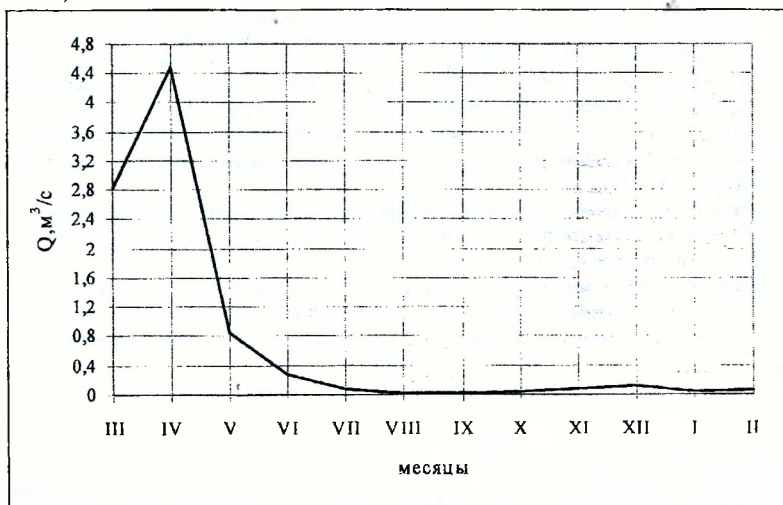


Рисунок 3.2 Гидрограф стока р. Нача - с. Горовцы для года 90% обеспеченности.

Результаты гидрологических расчетов — внутригодовое распределение стока используются для водохозяйственных расчетов.

Практическая работа №4

Тема: Определение расчетных величин максимальных расходов воды при наличии данных наблюдений.

Цель работы: Определить расчетные величины максимальных расходов ежегодной вероятности превышения (обеспеченности) при наличии данных наблюдений.

Краткие сведения из теории

Расчеты максимальных расходов являются обязательными и считаются одной из наиболее ответственных задач в составе проектов гидротехнических сооружений и мелиоративных систем.

От правильного определения максимальных расходов воды и размеров водопропускных отверстий зависит не только стоимость сооружений, но бесперебойность и безаварийность их работы. Занижение максимальных расходов приводит к разрушению сооружений, затоплению прилегающих территорий, материальному ущербу и человеческим жертвам. Завышение максимальных расходов увеличивает общую стоимость сооружения, что снижает его экономическую эффективность.

Максимальные расходы воды заданных обеспеченностей определяются по теоретическим кривым обеспеченности, так же, как обеспеченные значения средних годовых расходов.

Статистическими параметрами кривых обеспеченности максимальных расходов, как и средних годовых расходов, являются средние многолетние значения максимальных расходов Q_{max} , коэффициент вариации C_v , и коэффициент асимметрии C_s . Вычисляются они теми же способами, что и соответствующие параметры годового стока. Определяются средние квадратические ошибки параметров кривых обеспеченности максимальных расходов воды δQ_{max} , δC_v по формулам 4.4 и 4.5.

Расчетные значения отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации следует принимать как среднее из значений, установленных по данным группы рек с наиболее продолжительными наблюдениями за стоком.

При вычислении максимальных расходов для сооружений, разрушение которых из-за недостаточности водопропускных отверстий может привести к катастрофическим наводнениям, к расчетным максимальным расходам прибавляется гарантийная поправка.

$$\Delta Q_{max p} = \frac{\alpha E_p}{\sqrt{n}} \cdot Q_{max p} \quad (4.1)$$

где $\Delta Q_{max p}$ - гарантийная поправка; $Q_{max p}$ - максимальный расход заданной обеспеченности; α - коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность рек: для гидрологически изученных рек принимается равным 1,0, для слабоизученных - 1,5; n - число лет наблюдений; E_p - величина, характеризующая случайную среднюю квадратическую ошибку расчетного расхода воды заданной обеспеченности, определяется по СНиП 2.01.14-83 [1].

Ход выполнения работы

Расчет величин максимальных расходов при наличии данных наблюдений будем вести по методу наибольшего правдоподобия.

Исходный ряд наблюдений дан в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Максимальные расходы воды (Q) р.Нача-с.Горовцы за 1947-1965 гг., $F=212 \text{ км}^2$

№ члена ряда	1	1	2	3	4	5	6	7	...	17	18	19
Год	2	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	...	1963	1964	1965
Q_{max} , м ³ /с	3	10,7	9,27	10,3	5,04	32	7,75	29,7	...	19,5	14,1	15,6

Определяется среднее максимальное значение расхода воды по формуле 2.4

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{\max i}}{n} = \frac{383,7}{29} = 13,2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Значения максимального расхода воды ($Q_{\max i}$) располагаются в убывающем порядке, и определяется эмпирическая ежегодная вероятность превышения по формуле (2.1). Рассчитываются модульные коэффициенты (k_i), а также ($\lg k_i$) и произведения ($k_i \cdot \lg k_i$). Результаты расчетов записываются в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 Параметры кривой распределения максимального расхода воды ($Q_{\max i}$), рассчитанные методом наибольшего правдоподобия р. Нача – с. Горовцы.

№ члена ряда	Год	$Q_{\max i}$, м ³ /с	$Q_{\max i \text{убыв.}}$, м ³ /с	P, %	$k_i = \frac{Q_{\max i \text{убыв.}}}{\bar{Q}}$	$\lg k_i$	$k_i \cdot \lg k_i$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1947	10,70	39,10	3,33	2,95	0,47	1,39
2	1948	9,27	32,00	6,67	2,42	0,38	0,93
3	1949	10,30	29,70	10,00	2,24	0,35	0,79
...
27	1973	4,50	3,49	90,00	0,26	-0,58	-0,15
28	1974	4,45	3,12	93,33	0,24	-0,63	-0,15
29	1975	6,26	2,91	96,67	0,22	-0,66	-0,14
Сумма		383,7			29	-1,43	1,34
Среднее		13,2					

По данным таблицы 4.2 на клетчатку вероятности (см. практическую работу №2, рисунок 2.1) наносятся эмпирические точки (графы 4 (6) и 5 таблицы 4.2), и строится сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности.

Вычисляются суммы $\sum_{i=1}^n \lg k_i = -1,43$, $\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i = 1,34$, для вычисления статистик λ_2 и λ_3 , которые рассчитываются по формулам

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1} = \frac{-1,43}{29-1} = -0,051; \quad \lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i}{n-1} = \frac{1,34}{29-1} = 0,048.$$

По специальным номограммам (приложение Е) [2], в соответствии с вычисленными статистиками (λ_2) и (λ_3), определяется коэффициент вариации $C_v=0,50$, отношение $C_s/C_v=2,5$. Далее, по этим параметрам и $\bar{Q}=13,2 \text{ м}^3/\text{с}$, согласно таблице Ж.1 [2], вычисляются ординаты кривой трехпараметрического гамма-распределения и заносятся в таблицу 4.3.

При попадании точки пересечения значений (λ_2) и (λ_3) вне номограммы, используют лишь значение (λ_2), принудительно опускается это значение на кривую $C_s=2C_v$, и на пересечении находится значение C_v .

Таблица 4.3 Ординаты аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения р. Нача – с. Горовцы.

P, %	0,01	0,1	1	5	10	25	50	75	95	99	99,9
k_p	4,45	3,51	2,59	1,95	1,66	1,26	0,91	0,64	0,37	0,25	0,15
Q_p , м ³ /с	58,9	46,5	34,3	25,8	22,0	16,7	12,04	8,47	4,90	3,31	1,98

По данным таблицы 4.3 строится аналитическая кривая распределения, и делается вывод о соответствии построенной теоретической кривой с эмпирическими точками (кривой).

Определяются средние квадратические ошибки нормы максимального стока и коэффициента вариации без учета автокорреляции по формулам 2.6 и 2.7

$$\sigma_{\bar{Q}_{\max}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,50}{\sqrt{29}} \cdot 100 = \pm 9,29\% ;$$

$$\sigma_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_v^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 29 \cdot (3 + 0,50^2)}} \cdot 100 = \pm 12,62\% .$$

Максимальный расход воды ежегодной вероятности превышения (обеспеченности) определяется по формуле

$$Q'_{\max p} = k'_p \cdot \bar{Q}_{\max p} = 0,59 \cdot 13,2 = 7,81 \text{ м}^3/\text{с} , \quad (4.2)$$

где k'_p – модульный коэффициент определяемый по приложению Ж.1 [2] для трехпараметрического гамма - распределения в зависимости от C_v и C_s/C_v для заданной обеспеченности максимальных расходов, ($C_v=0,34$, $C_s/C_v=2$, $K_p=0,59$); \bar{Q}_{\max} – средний максимальный расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$.

Вычисляется гарантийная поправка по формуле 4.1

$$\Delta Q_{\max p} = \frac{\alpha E p}{\sqrt{n}} \cdot Q'_{\max p} = \frac{1 \cdot 0,67}{\sqrt{29}} \cdot 7,81 = 0,972 \text{ м}^3/\text{с} .$$

Значение величины гарантийной поправки ($\Delta Q_{\max p}$) не должно быть более 20% значения величины максимального расхода воды ($Q'_{\max p}$). Если условие не выполняется, гарантийная поправка принимается равной 20% значения величины максимального расхода воды, т.к. 7,81 больше, чем 20% значения величины максимального расхода воды расчетной обеспеченности, то принимаем $\Delta Q_{\max p} = Q'_{\max p} \cdot 0,2 = 1,56 \text{ м}^3/\text{с}$. Исправленный расход $Q_{\max p}$ определяется по формуле

$$Q_{\max p} = Q'_{\max p} + \Delta Q_{\max p} = 7,81 + 1,56 = 9,37 \text{ м}^3/\text{с} . \quad (4.3)$$

В выводе дается обоснование полученных результатов расчета.

Практическая работа №5

Тема: Определение расчетных величин среднегодовых расходов воды при отсутствии данных наблюдений.

- Цель работы:** 1) Определить годовой расход воды заданной вероятности превышения при отсутствии данных гидрометрических наблюдений и площади водосбора более 100 км².
2) Определить годовой расход воды заданной вероятности превышения при отсутствии данных гидрометрических наблюдений и площади водосбора менее 100 км².

Краткие сведения из теории

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений значения стока согласно [2] определяются следующими методами:

– по аналогии с окружающими реками, на которых имеются многолетние наблюдения за стоком с учетом влияния местных факторов (выходов грунтовых вод, особенностей геологического строения бассейна, характера почв, промерзания и пересыхания водотоков и др.);

– по эмпирическим формулам с использованием статистических параметров кривых распределения \bar{q}_0 , C_v и C_s или C_s/C_v . При этом \bar{q}_0 и C_v определяются по картам изолиний приложения Л и П [2], а соотношение C_s/C_v принимается по рекам-аналогам или равным 2,0 – для рек бассейна Черного моря и 2,5 – для рек бассейна Балтийского моря.

Годовой расход расчетной обеспеченности определяется по зависимости

$$Q_p = \bar{q}_0 \cdot A \cdot k_p \cdot 10^{-3}, \quad (5.1)$$

где \bar{q}_0 – средний многолетний годовой модуль стока, л/с·км²; A – площадь водосбора до расчетного створа, км²; k_p – модульный коэффициент расчетной обеспеченности, определяемый по приложению Ж.1 [2] для трехпараметрического гамма-распределения или по зависимости $k_p = \Phi_p \cdot C_v + 1$, в которой число Фостера (Φ_p) принимается по приложению К [2] для биномиального распределения.

Среднее многолетнее значение стока (\bar{q}_0) по карте изолиний приложения Л [2] определяется для центра тяжести водосбора неизученной реки путем прямолинейной интерполяции между изолиниями стока. В случае пересечения водосбора несколькими изолиниями, вычисляется средневзвешенное значение стока по формуле

$$q_0^{ср} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{0i} \cdot A_i}{A}, \quad (5.2)$$

где $q_{01}, q_{02}, \dots, q_{0i}, \dots, q_{0n}$ – среднее значение стока между соседними изолиниями, пересекающими водосбор, л/с·км²; $A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n$ – соответствующие водосборные площади между изолиниями, км².

Для водотоков, площадью водосбора менее 100 км², норма стока определяется с учетом генетических составляющих годового стока

$$q_0^{генет} = q_{пов} + K_{оп} \cdot q_{подз}, \quad (5.3)$$

где $q_{пов}$ – норма поверхностного стока, определяемая по карте изолиний приложения М [2], л/с·км²; $K_{оп}$ – коэффициент, учитывающий неполное дренирование подземных вод; $q_{подз}$ – подземная составляющая зональных значений нормы стока, определяемая по разности общего и поверхностного стока ($q_{подз} = q_0^{ср} - q_{пов}$).

Расчетам годового стока малых водотоков должно предшествовать их полевое обследование на предмет установления вида питания водотока, наличия родников на водосборе, вы-

клиниваний подземных вод, установления первой критической площади ($A_{1кр}$), т.е. той площади водосбора, при которой водоток начинает получать подземное питание.

Коэффициент, учитывающий неполное дренирование подземных вод ($K_{оп}$), определяется по формуле

$$K_{оп} = th \left[a \cdot (A - A_{1кр})^b \right], \quad (5.4)$$

где $A - A_{1кр}$ - действующая площадь водосбора, км²; th - гиперболический тангенс; a и b - коэффициенты, зависящие от величин критической площади ($A_{1кр}$), определяемые по формулам

$$a = 0,8 \cdot A_{1кр}^{-0,8}; \quad (5.5)$$

$$b = 1 - 0,72 \cdot A_{1кр}^{-0,29}. \quad (5.6)$$

В случае невозможности проведения полевого исследования, величину первой критической площади допускается определять по формуле

$$A_{1кр} = \frac{0,98}{\rho^2} + \frac{1,5 \cdot L_T}{\sqrt{i_T}}, \quad (5.7)$$

где ρ - густота гидрографической сети, км/км²; L_T - длина русла основного тальвега, км; i_T - уклон русла основного тальвега, промилле.

Для водосборов площадью, меньшей или равной первой критической, годовой сток равен поверхностному стоку ($K_{оп}=0$).

Коэффициент вариации годового стока (C_v) для малых водотоков определяется с помощью карты изолиний (приложение П) [2] с учетом поправочного коэффициента (K_{C_v}) по формуле

$$C_v = C_v^{карт} \cdot K_{C_v}. \quad (5.8)$$

Поправочный коэффициент (K_{C_v}) рассчитывается по эмпирической формуле

$$K_{C_v} = 1 + 4,8 \cdot \exp(-5,3 \cdot C_v^{карт}) \cdot [(A - A_{1кр}) + 1]^n, \quad (5.9)$$

где $C_v^{карт}$ - коэффициент вариации по карте изолиний; n - показатель степени, определяемый по формуле

$$n = 0,83 \cdot C_v^{карт} - 1,1. \quad (5.10)$$

При $A = A_{1кр}$, поправочный коэффициент (K_{C_v}) принимается равным единице.

Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

а) Требуется определить среднегодовой расход воды обеспеченности 95% р. Мухавец - г. Пружаны. Площадь водосбора - 106 км².

Расчет производится в следующем порядке:

1) по картам изолиний (приложение Л, П) [2] определяются значения нормы годового стока и коэффициент вариации: $\bar{q}_o = 3,5$ л/с·км², $C_v = 0,43$; соотношение (C_v/C_v) принимается равным 2,0 как для реки бассейна Черного моря;

2) значение ординаты обеспеченности 95% определяется по таблице кривых трехпараметрического гамма-распределения Ж.1 ($k_{95\%} = 0,416$);

3) по формуле (5.1) вычисляется расход воды обеспеченности 95%

$$Q_{95\%} = 3,5 \cdot 106 \cdot 0,416 \cdot 10^3 = 0,154 \text{ м}^3/\text{с}.$$

б) Требуется определить среднегодовой расход обеспеченности 95% канала без названия у д. Сухое. Исходные данные следующие: $A = 18,2$ км²; $i_m = 0,2\%$; $L_m = 3,2$ км; $\rho = 1,2$ км/км².

Расчет производится в следующем порядке:

1) По картам изолиний (приложения Л, М, П) [2] определяются нормы годового, поверхностного стока и коэффициент вариации: $q_0^{карт} = 3,6$ л/с км²; $q_{нов} = 3,0$ л/с км²; $C_v^{карт} = 0,39$; соотношение C_v/C_v принимается равным 2,0 как для реки бассейна Черного моря;

2) по формуле (5.7) определяется величина первой критической площади

$$A_{1,кр} = \frac{0,98}{1,2^2} + \frac{1,5 \cdot 3,2}{\sqrt{0,2}} = 11,4 \text{ км}^2;$$

3) коэффициент неполноты дренирования подземных вод определяется по формуле (5.4)

$$K_{др} = th\{0,114 \cdot (18,2 - 11,4)^{0,04}\} = 0,385;$$

параметры (a) и (b), входящие в формулу, рассчитаны по формулам (5.5), (5.6)

$$a = 0,8 \cdot 11,4^{0,8} = 0,114, \quad b = 1 - 0,72 \cdot 11,4^{0,29} = 0,64;$$

4) норма годового стока определяется по формуле (5.3)

$$q_0^{земт} = 3,0 + 0,385 (3,6 - 3,0) = 3,2 \text{ л/(с км}^2\text{)};$$

5) рассчитывается поправочный коэффициент (K_{Cv}) по формуле (5.9) и определяется исправленное значение ($C_{v испр}$)

$$K_{Cv} = 1 + 4,8 \exp(-5,3 \cdot 0,39) \cdot [(18,2 - 11,4) + 1]^{0,83 \cdot 0,39 - 1,1} = 1,12;$$

$$C_{v испр} = C_v^{карт} \cdot K_{Cv} = 0,39 \cdot 1,12 = 0,44;$$

6) значение ординаты обеспеченности 95% определяется по таблице трехпараметрического гамма - распределения Ж.1 [2] ($k_{95\%} = 0,406$);

7) определяется среднегодовой расход воды обеспеченности 95% по формуле (5.1)

$$Q_{95\%} = 3,2 \cdot 18,2 \cdot 0,406 \cdot 10^3 = 0,024 \text{ м}^3/\text{с}.$$

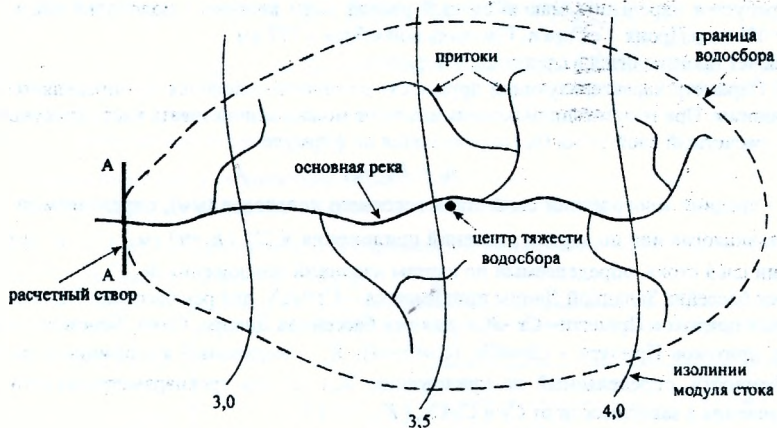


Рисунок 5.1 Схема бассейна.

В выводе дается обоснование полученных результатов расчета.

Практическая работа №6

Тема: Определение расчетных величин максимальных расходов воды весеннего половодья при отсутствии данных наблюдений.

Цель работы: Определить максимальный расход воды весеннего половодья обеспеченностью $P=1; 5; 10; 25\%$.

Краткие сведения из теории

Расчет максимальных расходов воды производится на основе метода аналогии путем подбора водосбора с наличием данных наблюдений по стоку и сравнительно однообразных физико-географических условий формирования весеннего половодья.

Согласно Пособия к СНиП 2.01.14-83 [2] расчетный максимальный расход воды весеннего половодья Q_p (m^3/c) заданной ежегодной вероятностью превышения $P, \%$ определяется по формуле

$$Q_p = \frac{K_0 \cdot h_p \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A + I)^{0.20}} \cdot A, \quad (6.1)$$

где K_0 - параметр, характеризующий дружность весеннего половодья; h_p - расчетный слой суммарного (с учетом грунтового питания) стока, мм, ежегодной вероятностью превышения (P); μ - коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды; δ - коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер; δ_1, δ_2 - коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды, соответственно, в залесенных и заболоченных водосборах; A - площадь водосбора, km^2 .

Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

Требуется определить максимальный расход воды весеннего половодья обеспеченностью $P=1\%$ на р.Проня - с.Горки. Площадь водосбора - $171 km^2$.

Расчет производится в следующем порядке:

1) Параметр характеризующий дружность весеннего половодья K_0 определяется по рек-аналогам. При отсутствии надежных аналогов можно использовать карту (рисунок 6.1).

2) расчетный слой стока (h_p) определяется по формуле

$$h_p = K_p \cdot h_0, \quad (6.2)$$

где h_0 - средний многолетний слой стока весеннего половодья (мм), определяемый по данным рек-аналогов или по картам изолиний приложения У [2], ($h_0=93$ см); C_v - коэффициент вариации слоя стока, определяемый по картам изолиний приложения Ф [2], ($C_v=0,43$); C_s/C_v - для рек бассейна Западной Двины принимается - $C_s=2C_v$, для рек бассейна Немана и левобережных притоков Припяти - $C_s=3C_v$, для рек бассейнов Днепра, Сожа, Березены, правобережных притоков Припяти - $C_s=4C_v$, ($C_s/C_v=4$); K_p - модульный коэффициент расчетной обеспеченности, определяемый по приложению Ж.1 [2] для трехпараметрического гамма-распределения в зависимости от C_v и C_s/C_v , ($K_{1\%}=2,45$);

$$h_{1\%} = 2,45 \cdot 93 = 228 \text{ мм.}$$

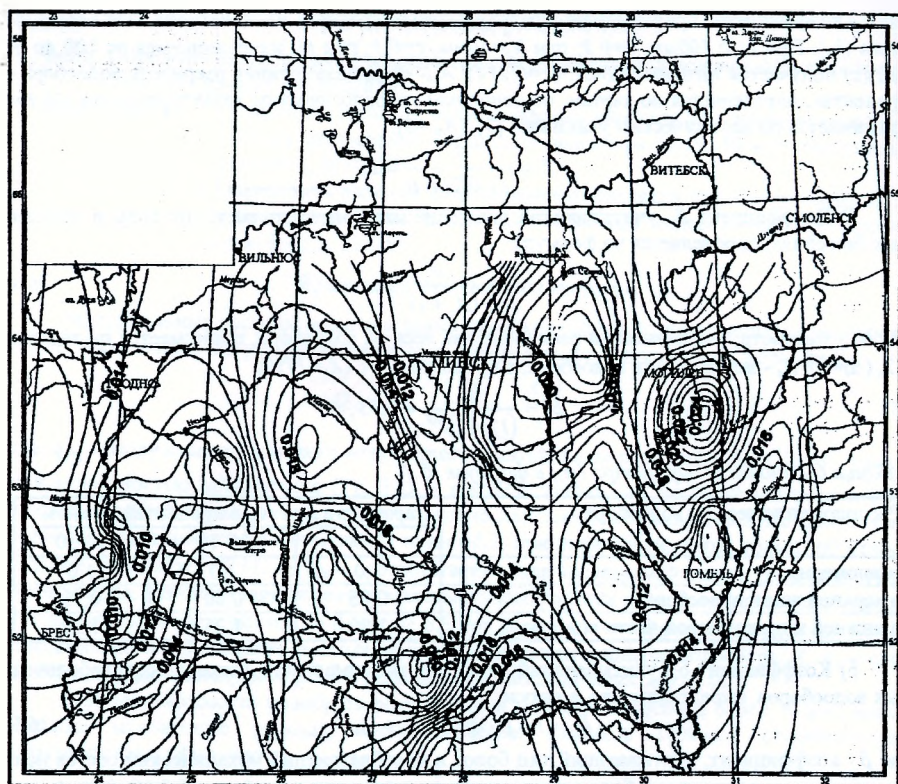


Рисунок 6.1 Карта параметра «дружности» половодья (K_0) для Белорусского Полесья и прилегающих территорий

3) Коэффициент (μ), учитывающий неравенство статистических параметров слоя стока и максимальных расходов воды, определяется по таблице 6.1, ($\mu=1,0$).

Таблица 6.1 Значения коэффициента μ учитывающего неравенство параметров слоя стока и максимальных расходов воды

Водосбор	Значения коэффициента μ при обеспеченности, в процентах, равной							
	1	2	3	5	10	25	50	75
Правобережные притоки р. Припяти	1,0	0,95	0,94	0,93	0,87	0,81	0,74	0,66
Остальные реки Беларуси	1,0	0,96	0,93	0,90	0,84	0,75	0,65	0,55

4) Коэффициент δ , учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{оз}}, \quad (6.3)$$

где c - коэффициент, принимаемый в зависимости от среднего многолетнего слоя весеннего стока (h_0). При $h_0 \geq 100$ мм, $c=0,2$; при $h_0=50$ мм, $c=0,3$; при h_0 , изменяющемся от 100 до 50 мм, (c) получается интерполяцией, ($c=0,214$); A_{07} - средневзвешенная озерность водосбора в процентах, определяется по картам, по основным гидрологическим характеристикам [4] или принимается по методическим указаниям [3], ($A_{07}=0$).

$$\delta = \frac{1}{1 + 0,214 \cdot 0} = 1,$$

5) Коэффициент δ_1 , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{\alpha_1}{(A_1 + 1)^{0,22}}, \quad (6.4)$$

где α_1 - параметр, учитывающий расположение леса на водосборе; принимается по таблице 6.2, ($\alpha_1=1$); A_1 - залесенность водосбора, в процентах, [3], ($A_1=17\%$).

$$\delta_1 = \frac{1}{(17 + 1)^{0,22}} = 0,53,$$

Таблица 6.2 Значения параметра (α_1) в формуле (6.4)

Расположение леса на водосборе	Параметр α при A_1 , в процентах, равном		
	3-9	10-19	20-30
равномерное	1,0	1,0	1,0
в верхней части водосбора	0,85	0,80	0,75
в нижней и прирусловой части водосбора	1,20	1,25	1,30

6) Коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных водосборов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \cdot \lg(0,1 \cdot A_6 + 1), \quad (6.5)$$

где β - коэффициент, учитывающий тип болот и преобладающий механический состав почв (грунтов) вокруг болота и заболоченных земель; принимается по таблице 6.3 ($\beta=0,3$); A_6 - заболоченность водосбора, в процентах, [3], ($A_6=2\%$).

$$\delta_2 = 1 - 0,3 \cdot \lg(0,1 \cdot 2 + 1) = 0,98.$$

Таблица 6.3 Значение коэффициента (β) в формуле (6.5)

Типы болот и почвогрунтов на их водосборах	β
Низинные болота и заболоченные леса и луга на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,8
Болота разных типов на водосборе	0,7
Верховые болота на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,5
Верховые болота на водосборах, сложенных среднесуглинистыми и глинистыми почвами (грунтами)	0,3

7) по формуле 6.1 вычисляется максимальный расход воды весеннего половодья 1%-ной обеспеченности

$$Q_{1\%} = \frac{0,008 \cdot 227,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,53 \cdot 0,98}{(171 + 1)^{0,20}} \cdot 171 = 57,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В выводе дается обоснование полученных результатов расчета.

Практическая работа №7

Тема: Определение расчетных расходов воды летне-осенних дождевых паводков при отсутствии данных наблюдений.

Цель работы: 1 Определить расходы воды дождевых паводков при невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора более 50 км² обеспеченностью P=1; 5; 10; 25%.

2 Определить расходы воды дождевых паводков при невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора менее 50 км² обеспеченностью P=1; 5; 10; 25%.

Краткие сведения из теории

Максимальные расходы воды дождевых паводков (Q_p), м³/с, при площадях водосборов более 50 км² и наличии рек-аналогов следует определять по редуцированной формуле 7.1

$$Q_p = q_{pa} \cdot \frac{\delta \cdot \delta_r}{\delta_a \cdot \delta_{za}} \cdot \left(\frac{A_a}{A} \right)^n \cdot A \quad (7.1)$$

где q_{pa} - модуль максимального мгновенного расхода воды реки-аналога, м³/с·км², расчетной вероятностью превышения (P); δ , δ_a - соответственно, для исследуемой реки и реки-аналога коэффициенты, учитывающие снижение максимальных расходов воды проточными озерами, определяются по формуле 6.3 при $c=0,2$, при наличии сведений только об относительной озерности $c=0,11$; δ_r , δ_{za} - соответственно, для исследуемой реки и реки-аналога коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды вследствие заболоченности водосбора, определяются по формуле 6.5 при $\beta=0,5$; n_r - коэффициент редукиции модуля максимального мгновенного расхода воды с увеличением площади водосбора; A , A_a - соответственно, для исследуемой реки и реки-аналога площади водосборов, км².

При невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора более 50 км², максимальные мгновенные расходы воды дождевых паводков 10%-ной обеспеченности определяются по формуле

$$Q_p = \frac{a_{10\%} \cdot \delta \cdot \lambda_p}{\Phi^{\delta, \lambda}} \cdot A, \quad (7.2)$$

где $a_{10\%}$ - параметр, характеризующий модуль максимального мгновенного расхода воды 10%-ной обеспеченности, определяется интерполяцией между данными наблюдений соседних гидрологически-изученных рек в исследуемом районе или по карте приложения X [2]; A - площадь водосбора до расчетного створа, км²; λ_p - переходной коэффициент от максимальных расходов воды дождевых паводков, 10%-ной вероятностью превышения, к максимальным расходам другой вероятностью превышения, принимается по таблице 7.1

Таблица 7.1 Переходные коэффициенты λ_p в формуле (7.1)

Вероятность превышения, в процентах	1	2	3	5	10	25
Переходной коэффициент	1,96	1,65	1,47	1,29	1,0	0,64

δ - коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер, определяется по формуле 6.3; Φ - морфологическая характеристика русла, определяется по формуле

$$\Phi = \frac{1000 \cdot L}{\chi_p \cdot i_p^{1/3} \cdot A^{1/4}} \quad (7.3)$$

где χ_p - гидравлический параметр русла, принимаемый по таблице 7.2

Таблица 7.2 Параметр χ_p в формуле (7.3)

Характеристики русел и пойм	χ_p , м/мин
Чистые русла постоянных равнинных рек; русла периодически пересыхающих водотоков	11
Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек; периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов	9
Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков	7

i_p – средневзвешенный уклон русла реки, ‰, [3]; L – длина реки, км, [3]; A – площадь водосбора, км².

Максимальные расходы воды дождевых паводков ежегодной вероятностью P для расчета сооружений осушительных и осушительно-увлажнительных систем при площади водосбора менее 50 км² и отсутствии рек-аналогов определяются по формуле

$$Q_{p\max} = \bar{q}_{om} \cdot A \cdot K_p \cdot 10^{-3}, \quad (7.4)$$

где \bar{q}_{om} – средний многолетний модуль стока дождевых паводков, л/с·км² определяется по формуле

$$\bar{q}_{om} = a \cdot \frac{B_{cp}^{0,23} \cdot i_s^{0,143} \cdot (1 + 0,5 \cdot \rho)}{(A + 1)^{0,23} \cdot (1 + 0,2 \cdot A_{оз}) \cdot (1 + 0,02 \cdot A_{лс}) \cdot (1 + 0,02 \cdot A_{лв}) \cdot (1 + 0,01 \cdot A_{лсв})}, \quad (7.5)$$

где a – физико-географический параметр, определяемый по приложению Ш [2]; B_{cp} – средняя ширина водосбора (бассейна), км, определяемая по формуле

$$B_{cp} = \frac{A}{10} \quad (7.6)$$

i_s – средний уклон водосбора, ‰, [3]; ρ – густота речной сети (учитываются водотоки длиной $l \geq 2,0$ км), км/км², [3]; $A_{оз}$ – средневзвешенная озерность водосбора, ‰, [3]; $A_{лс}$ – относительная заболоченность водосбора, ‰, [3]; $A_{лв}$ – относительная площадь заболоченного леса на водосборе, ‰, [3]; $A_{лсв}$ – относительная площадь сухого леса на водосборе, ‰, [3]; A – площадь водосбора, км²; K_p – модульный коэффициент расчетной ежегодной вероятности превышения (обеспеченности) определяется в зависимости от коэффициента вариации (C_v) и отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации (C_s/C_v).

Коэффициент вариации (C_v) средних многолетних модулей стока воды дождевых паводков определяется по формуле

$$C_v = \frac{a'}{(A + 10)^{0,03} (\bar{q}_{om} + 1)^{0,10}}, \quad (7.7)$$

где a' – физико-географический параметр, определяемый по приложению Э [2]; A – площадь водосбора, км²; \bar{q}_{om} – то же, что и в формуле (7.5).

Отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации (C_s/C_v) модулей стока дождевых паводков для рек бассейна Западной Двины принимается – $C_s=2C_v$; для рек бассейна Немана и левобережных притоков Припяти – $C_s=3C_v$; для рек бассейнов Днепра, Сожа, Березины, правобережных притоков Припяти – $C_s=4C_v$.

Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

а) Требуется определить на р.Прона – с.Горки максимальный мгновенный расход воды дождевых паводков 10%-ной обеспеченности при невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора более 50 км². Площадь водосбора 171 км².

Расчет производится в следующем порядке:

- 1) по карте изолиний (приложение X) [2] определяется параметр ($a_{10\%}$), характеризующий модуль максимального мгновенного расхода воды 10%-ной обеспеченности, ($a_{10\%} = 12,2$);
- 2) по формуле 6.3 вычисляется коэффициент (δ), учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{\text{в}}} = \frac{1}{1 + 0,214 \cdot 0} = 1;$$

- 3) по таблице 7.1 определяется переходной коэффициент (λ_p) от максимальных расходов воды дождевых паводков, 10%-ной вероятностью превышения, к максимальным расходам другой вероятностью превышения, ($\lambda_{10\%} = 1,0$);

- 4) по формуле 7.3 определяется морфологическая характеристика русла (Φ), где гидравлический параметр русла (χ_p), принимается по таблице 7.2, ($\chi_p = 11 \text{ м/мин}$)

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 27}{11 \cdot 1,1^{1,3} \cdot 171^{1,4}} = 657,54;$$

- 5) по формуле 7.2 определяется расходы воды 10%-ной обеспеченности

$$Q_{10\%} = \frac{12,2 \cdot 1 \cdot 1}{657,54^{0,8}} \cdot 171 = 11,61 \text{ м}^3/\text{с}.$$

- б) Требуется определить на р. Копылка – г. Горки максимальный мгновенный расход воды дождевых паводков 10%-ной обеспеченности при невозможности подобрать реку-аналог и площади водосбора менее 50 км². Площадь водосбора 20 км².

Расчет производится в следующем порядке:

- 1) по формуле 7.6 определяются средняя ширина водосбора

$$B_{\text{ср}} = \frac{20}{10} = 2 \text{ км};$$

- 2) по формуле 7.5 вычисляется средний многолетний модуль стока дождевых паводков $\bar{q}_{\text{ам}}$

$$\bar{q}_{\text{ам}} = 70 \cdot \frac{2^{0,25} \cdot 24,3^{0,43} \cdot (1 + 0,5 \cdot 0,95)}{(20 + 1)^{0,25} \cdot (1 + 0,2 \cdot 0) \cdot (1 + 0,02 \cdot 1) \cdot (1 + 0,02 \cdot 0) \cdot (1 + 0,01 \cdot 4)} = 85,3 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2;$$

- 3) по формуле 7.7 определяется коэффициент вариации (C_v), где физико-географический параметр (a') определяется по приложению Э [2], ($a' = 1,57$):

$$C_v = \frac{1,57}{(20 + 10)^{0,05} (85,3 + 1)^{0,10}} = 0,85;$$

- 4) значение ординаты обеспеченности 10% (K_p) определяется по таблице кривых трех-параметрического гамма-распределения Ж.1 ($K_{10\%} = 1,94$, $C_v = 0,85$, $C_s/C_v = 4$);

- 5) по формуле 7.4 определяется расходы воды 10%-ной обеспеченности

$$Q_{10\%} = 85,32 \cdot 20 \cdot 1,94 \cdot 10^{-3} = 3,31 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В выводе дается обоснование полученных результатов расчета.

Практическая работа №8

Тема: Построение объемной и топографических (батиграфических) характеристик водохранилища.

Цель работы: Построить батиграфические характеристики водохранилища.

Краткие сведения из теории

Характеристиками водохранилища (или чаши водохранилища) принято называть графическое выражение зависимости объема, площади водной поверхности, средней глубины от отметок уровня воды в нем, т.е. зависимости вида

$$V = f(H), F = f_1(H), h_{cp} = f_2(H). \quad (8.1)$$

где V - объем воды при уровне H , м³; F - площадь водного зеркала при уровне H ; h_{cp} - средняя глубина водохранилища при уровне H , м.

Ход выполнения работы

Нахождение топографических характеристик водохранилища ведем следующим образом. Имеется план местности района проектируемого водохранилища - выбирается согласно заданию (номер топоплана по приложениям). Сечение горизонталей задается преподавателем.

После выбора места и проектирования оси плотины (самое узкое место, перпендикулярно к горизонталям) производится измерение площади водного зеркала, соответствующего различным горизонталям плана. Измерения проводятся с помощью палетки или планиметра. Для этого разбивается вся площадь на квадраты и подсчитывается количество квадратов внутри каждой замкнутой горизонтали. Считаются как полные, так и неполные квадраты. Зная площадь одного единичного квадрата в масштабе, находится площадь внутри каждой горизонтали. Эти площади заносятся в графу 2 таблицы 8.1 (F_i).

Первый от начальной плоскости элементарный объем определяется по формуле усеченного параболоида

$$\Delta V_{1,2} = \frac{2}{3} \cdot (F_1 + F_2) \cdot \Delta H_{1,2}. \quad (8.2)$$

Последующие объемы для любого значения H находятся по формуле и заносятся в графу 5 таблицы 8.2

$$\Delta V_{i,i+1} = 0,5 \cdot (F_i + F_{i+1}) \cdot \Delta H_{i,i+1}, \quad (8.3)$$

где $\Delta V_{i,i+1}$ - частный объем водохранилища между горизонталями, м³; F_i, F_{i+1} - площади зеркала водохранилища соответственно на отметках H_i, H_{i+1} , м²; $\Delta H_{i,i+1}$ - разница отметок горизонталей, м.

Средняя глубина водохранилища при различных значениях H (графа 7) вычисляется путем деления объема воды на площадь зеркала при одной и той же отметке наполнения.

Далее все вычисления сводим в таблицу 8.1. По результатам таблицы строятся графики зависимости $V = f(H)$, $F = f_1(H)$, $h_{cp} = f_2(H)$ - рисунок 8.2.

После определения мертвого и полезного объемов (пр. работы №9,11) на графики (рис.8.2) наносятся отметки уровня мертвого объема (УМО) и нормального подпорного уровня (НПУ).

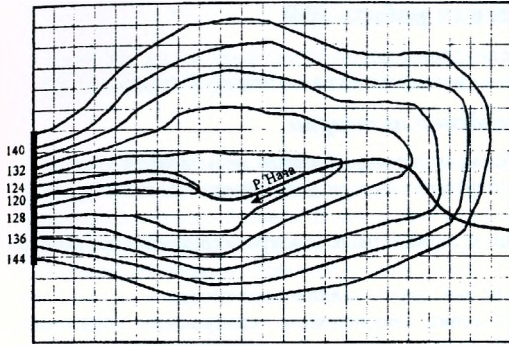


Рисунок 8.1 Топографические условия района строительства водохранилища М1:20 000 (сечение горизонталей 4 м).

Таблица 8.1 Определение данных к построению характеристик водохранилища.

$H_1, \text{ м}$	$\Delta H_1, \text{ м}$	$F_1, \text{ млн. м}^2$	$F_{\text{ср}}, \text{ млн. м}^2$	$\Delta V_i, \text{ млн. м}^3$	$V_i, \text{ млн. м}^3$	$h_{\text{ср}}, \text{ м}$
1	2	3	4	5	6	7
120		0,00			0,00	0,00
	4		0,05	0,20		
124		0,07			0,20	2,86
	4		0,31	1,24		
....
140		2,00			17,08	8,54
	4		2,32	9,28		
144		2,63			26,36	10,02

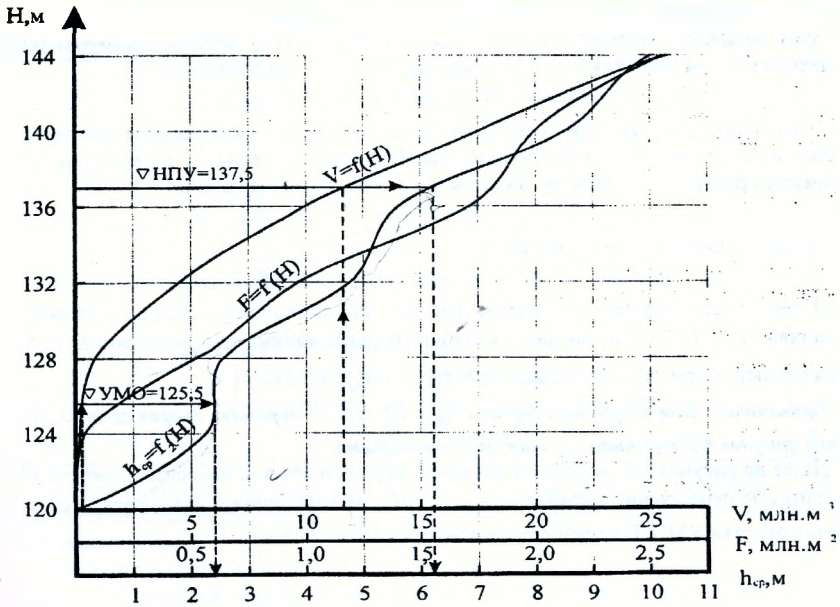


Рисунок 8.2 Характеристики водохранилища.

Практическая работа №9

Тема: Определение мертвого объема водохранилища.

Цель работы: Определить мертвый объем водохранилища и отметку УМО.

Краткие сведения из теории

Мертвый объем водохранилища – объем, заключенный между дном и зеркалом воды на отметке уровня мертвого объема (УМО). Мертвый объем должен удовлетворять ряду требований:

- обеспечивать аккумуляцию наносов, задерживаемых водохранилищем на протяжении всего периода предстоящей работы;
- обеспечивать судоходные глубины на вышерасположенном участке;
- должны соблюдаться санитарные условия, сводящиеся к недопущению образования мелководий во избежание очагов малярии, сильного перегрева воды, сильного зарастания, для чего средняя глубина при УМО не должна быть менее 1,5...2,0 м.

В работе мертвый объем должен обеспечивать аккумуляцию наносов и отвечать санитарно-техническим условиям. В соответствии с этим определяем объем заиления водохранилища за период его работы, а затем полученную величину заиления проверяем - отвечает ли она санитарно-техническим условиям.

Ход выполнения работы

Зная норму стока, объем наносов определяется по формуле

$$V_{н.год} = 31,5 \cdot \bar{\rho} \cdot \bar{Q} \cdot \gamma^{-1} = 31,5 \cdot 55 \cdot 1,19 \cdot 1 = 2062 \text{ м}^3, \quad (9.1)$$

где $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}$ - норма годового стока для реки Нача - с.Горовцы (см. практическую работу №2); $\bar{\rho}$ - норма годовой мутности, $\text{г}/\text{м}^3$ (основные гидрографические характеристики) [3, 4]; γ - объемный вес наносов, в работе принимается равным $1,0 \text{ т}/\text{м}^3$.

Зная величину заиления за год $V_{н.год}$ и период (срок) работы водохранилища T , определяется объем заиления водохранилища за период его эксплуатации

$$V' = V_{н.год} \cdot T = 2061,68 \cdot 105 \approx 216476 \text{ м}^3 \approx 0,216 \text{ млн. м}^3. \quad (9.2)$$

В заилении водохранилища принимают участие наносы, образующиеся при переработке берегов после наполнения водохранилища. Величина заиления от переработки берегов принимается равной 5% от объема заиления, т.е. в численном выражении

$$V_{н.б} = 0,05 \cdot V' = 0,05 \cdot 0,216 = 0,01 \text{ млн. м}^3. \quad (9.3)$$

Тогда полный объем заиления составит

$$V = V' + V_{н.б} = 0,216 + 0,01 \approx 0,23 \text{ млн. м}^3. \quad (9.4)$$

Далее по топографическим кривым (рисунок 8.2) определяется средняя глубина, которая составит $h_{cp} = 2,3 \text{ м}$. Так как данная глубина больше минимально допустимой, то принимается полный объем заиления за мертвый, т.е. $V = V_{МО} = 0,23 \text{ млн. м}^3$.

Примечание: если полученная глубина $h_{cp} < 1,5...2,0 \text{ м}$, используя график средних глубин и объемов (рисунок 8.2) получить величину мертвого объема.

Далее на рисунок 8.2, используя величину мертвого объема, наносится отметка УМО и проводится до пересечения с графиком $h_{cp} = f_2(H)$, на этой линии и указывается конкретное значение отметки УМО. В нашем случае отметка УМО = 125,5 м.

Практическая работа №10

Тема: Расчет потерь воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.

Цель работы: Рассчитать потери воды из водохранилища на испарение и фильтрацию.

Краткие сведения из теории

При создании водохранилища, вследствие затопления и подтопления части территории, подпора и повышения уровня грунтовых вод, происходит изменение соотношения между элементами водного баланса. В результате этих изменений, возникают дополнительные потери воды, основными из которых являются потери на испарение и фильтрацию. Кроме того, к потерям временного характера относят объемы воды, необходимые для заполнения мертвого объема и пополнения запасов подземных вод в начальный период эксплуатации водохранилища, а также временные потери воды из-за оседания льда и покрывающего его снега на берегах водохранилища в период его зимней сработки.

Учет потерь воды – важная часть водохозяйственного расчета водохранилища, необходимая для правильного определения объема и составления баланса водных ресурсов при регулировании стока.

Ход выполнения работы

Потери на испарение

Суммарная за год величина слоя дополнительного испарения определяется по формуле

$$Z_{\text{доп}} = Z_e - X \cdot (1 - \alpha_c) = 580 - 600 \cdot (1 - 0,35) = 190 \text{ мм}, \quad (10.1)$$

где Z_e и X - испарение с водной поверхности и норма осадков для района проектирования, соответственно (таблица 10.1), мм; α_c - коэффициент стока (в работе принимается равным 0,35).

Таблица 10.1 Значения средних значений за год испарения с водной поверхности (Z_e) и осадков (X).

Область проектирования	Z_e , мм	X , мм
Витебская	560	650
Минская	570	650
Гродненская	570	700
Брестская	600	550
Гомельская	620	600
Могилевская	580	600

Внутригодовое распределение испарения по месяцам устанавливаем, имея процентное распределение по месяцам (таблица 10.2), которое в работе принимается одинаковым для всех районов.

Таблица 10.2 Значения испарения по месяцам года.

Месяцы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сумма
$Z_{\text{доп}}, \%$	-8	4	10	18	26	24	16	8	2	100
$Z_{\text{доп}}, \text{мм}$	-15,2	7,6	19	34,2	49,4	45,6	30,4	15,2	3,8	190

Процент со знаком минус в марте указывает на то, что расчетное испарение в марте перекрывается величиной растаявшего льда. Расчетное испарение за XII, I и II месяцы принимается равным нулю.

Потери на фильтрацию

Для приближенной оценки величины потерь на фильтрацию в зависимости от гидрологических условий применяют следующие нормы (в процентах от наличного объема воды в водохранилище):

- 1) при хороших гидрологических условиях - величина потерь от 5 до 10% в год или 0,5...1,0% в месяц;
- 2) при средних гидрологических условиях - 10...20% в год или 1,0...1,5% в месяц;
- 3) при плохих гидрологических условиях - 20...40% в год или 1,5...2,0% в месяц;

В нашем примере при хороших гидрологических условиях принимаются потери на фильтрацию - 12% в год или 1% в месяц от наличного объема воды в водохранилище.

Практическая работа №11

Тема: Определение емкости водохранилища сезонно-годового регулирования стока.

- Цель работы:** 1) Рассчитать полезный объем водохранилища сезонно-годового регулирования с учетом потерь по второму способу с регулированием по второму варианту.
2) Определить отметку НПУ.

Краткие сведения из теории

Полезный объем водохранилища определяется путем сопоставления графика притока и потребления табличным способом с учетом потерь при регулировании по первому варианту, т.е. расчет ведем с момента опорожнения и ведем "ходом назад" (против часовой стрелки), вычитая избытки и прибавляя недостатки и потери, до получения к началу какого-то месяца наибольшей величины объема (после чего объем начнет уменьшаться). Эта наибольшая величина объема и будет равна полезному объему плюс мертвый – полный объем водохранилища. Далее возвращаемся к моменту опорожнения и ведем расчет "ходом вперед", вычитая недостатки и потери и прибавляя избытки до момента, пока расчет не замкнется. Если величина окончательного объема превысит величину полного объема водохранилища, то в графу окончательного объема записываем полный объем, а полученная разница записывается в графу сброса.

Ход выполнения работы

Весь расчет сводим в таблицу 11.1.

Приток воды к водохранилищу принимается по таблице 3.4 строка 5 (практическая работа №3).

Объем потребления определяется путем анализа потребителей. В учебных целях объем воды на потребительские нужды определяется следующим образом. Рассчитанная сумма притока за год ($23,00 \text{ млн. м}^3$), умножается на $0,75$ и распределяется равномерно по месяцам $23,00 \cdot 0,75 = 17,25 / 12 = 1,44 \text{ млн. м}^3$. Заносятся эти одинаковые значения в графу 3 (потребление S_d). Далее находится разница между притоком и потреблением и записывается в графы 4 и 5 (в зависимости от знака). Графа 9 заполняется по данным таблицы 10.2 (практическая работа № 10).

Дальнейший расчет ведется *построчно*. Записывается мертвый объем ($0,23$) в графы 6 и 13 на начало многоводной фазы. Если выделяется две или более фаз, где имеющиеся водные ресурсы превышают потребление, то за расчетный принимается наиболее многоводная фаза. В нашем случае, мертвый объем приходится на начало марта и конец февраля и к значению в графе 13 (нижнему) прибавляется недостаток за II месяц (графа 5) и записывается на начало II месяца (графа 6): $0,23 + 1,31 = 1,54$. Находится среднее между значениями в графах 13 и 6 и записывается в графу 7 напротив II месяца: $(0,23 + 1,54) / 2 = 0,89$. Далее по графику 3 находится площадь зеркала F и записывается в графу 8. В графу 9 переписываются значения дополнительного испарения из таблицы 10.2. Определяются потери на испарение по формуле $W_2 = (Z_{\text{ом}} \cdot F) / 1000 = (0 \cdot 0,38) / 1000 = 0,00$. Потери на фильтрацию принимаются в размере 1% от величины расчетного объема (хорошие гидрологические условия) и заносятся в графу 11: $0,89 \cdot 1 / 100 = 0,01$. В графе 12 записываются суммарные потери: $0,00 + 0,01 = 0,01$. Далее к предварительному объему в графе 6 прибавляются суммарные потери в графе 12 и записываются в графу 13: $1,54 + 0,01 = 1,55$. И так далее до получения максимального значения величины $V_{\text{ок}}$.

Если продолжать расчет дальше, то получаемые объемы будут уменьшаться. Поэтому, полученная наибольшая величина объема и представляет собой искомый полезный объем водохранилища плюс мертвый объем.

Поэтому заканчивается расчет «ходом назад». Возвращаемся к исходному пункту (моменту опорожнения) и продолжается расчет «ходом вперед», т.е. вычитаются недостатки и потери и прибавляются избытки. В нашем случае: $0,23+5,90=6,13$; $(6,13+0,23)/2=3,18$; $6,13-0,02=6,11$. Если в графах 6 или 13 получается значение большее, чем $12,03$, то записывается все равно $12,03$.

Далее рассчитываются сбросы по формуле

$$R = V_{ок} + (W - \sum q) - V_{\max\text{ роб.}} - W_{п.} \quad (11.1)$$

$$R_1 = 6,11 + 10,20 - 12,03 - 0,10 = 4,18 \text{ млн. м}^3;$$

$$R_2 = 12,03 + 0,74 - 12,03 - 0,14 = 0,60 \text{ млн. м}^3.$$

По результатам расчета проводится проверка

$$\sum W = \sum q + \sum W_{п.} + \sum R \quad (11.2)$$

$$23,00 = 17,28 + 0,94 + 4,78$$

$$23,00 = 23,00$$

и рассчитывается полезный объем водохранилища

$$V_{\text{п.из}} = V_{\text{п.в}} - V_{\text{во}} = 12,03 - 0,23 = 11,80 \text{ м}^3. \quad (11.3)$$

Далее по рисунку 8.2, используя величину полного объема, определяется отметка $НПУ=137,5\text{м}$.

Таблица 11.1 Расчет водохранилища сезонно-годового регулирования стока с учетом потерь по второму способу (регулирование по первому варианту)

Месяцы	Объем, млн.м ³		Разность		Предварительный объем V _{пред.} , млн.м ³	Расчетный объем V _{расч.} , млн. м ³	Площадь зеркала F, млн.м ²	Доп. испарение Z _{доп.} , мм	Объем потерь, млн.м ³			Окончат. объем V _{ок.} , млн.м ³	Сброс R, млн.м ³
	Приток W	Потребление, Σд	Избытки +	Недостатки -					на испарение Wz	на фильтрацию Wф	всего Wп		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
					0,23							0,23	
III	7,34	1,44	5,90		6,13	3,18	0,68	-9	-0,01	0,03	0,02	6,11	
IV	11,64	1,44	10,20		12,03	9,07	1,26	4	0,01	0,09	0,10	12,03	4,18
V	2,18	1,44	0,74		11,88	12,03	1,58	11	0,02	0,12	0,14	12,03	0,60
VI	0,73	1,44		0,71	11,03	11,53	1,51	19	0,03	0,12	0,15	11,17	
VII	0,18	1,44		1,26	9,65	10,40	1,37	28	0,04	0,10	0,14	9,77	
VIII	0,05	1,44		1,39	8,17	8,96	1,17	26	0,03	0,09	0,12	8,26	
IX	0,05	1,44		1,39	6,71	7,48	0,97	17	0,02	0,07	0,09	6,78	
X	0,10	1,44		1,34	5,32	6,04	0,84	9	0,01	0,06	0,07	5,37	
XI	0,21	1,44		1,23	4,06	4,71	0,77	2	0,00	0,05	0,05	4,09	
XII	0,29	1,44		1,15	2,89	3,49	0,72	0	0,00	0,03	0,03	2,91	
I	0,10	1,44		1,34	1,54	2,22	0,63	0	0,00	0,02	0,02	1,55	
II	0,13	1,44		1,31	0,23	0,89	0,38	0	0,00	0,01	0,01	0,23	
Σ	23,00	17,28									0,94		4,78

Практическая работа №12

Тема: Построение расчетного гидрографа весеннего половодья.

Цель работы: 1) Определить ординаты расчетного гидрографа стока воды;

2) Построить гидрограф весеннего половодья при отсутствии данных наблюдений.

Краткие сведения из теории

Гидрографы весеннего половодья необходимо рассчитывать при проектировании водохранилищ, прудов, оценке затопления пойм, пропуске высоких вод через дорожные и другие искусственные сооружения. Форма расчетных гидрографов принимается по моделям чзблюдвавшихся высоких половодий и дождевых паводков с наиболее неблагоприятной их формой, для которых основные элементы гидрографов и их соотношение должны быть близки к расчетным. При наличии данных гидрометрических наблюдений параметры расчетного гидрографа весеннего половодья определяются по моделям наблюдаемых гидрографов. При отсутствии данных – используются геометрические формулы или уравнения. Расчетные гидрографы стока воды рек определяются для весеннего половодья – по средним суточным расходам воды.

Максимальный средний суточный расход определяется по формуле

$$Q_p^* = \frac{Q_p}{k_t} \quad (12.1)$$

где Q_p^* – максимальный мгновенный расход воды весеннего половодья принимаемый $Q_p^* = Q_{\max p}$, $Q_{\max p}$ – исправленный расход воды (см. практическую работу №4); k_t – коэффициент перехода от максимального мгновенного расхода воды весеннего половодья (Q_p^*) к среднему суточному расходу (Q_p) определяемый по таблице 12.1

Таблица 12.1 Переходный коэффициент (k_t)

Бассейны рек	Коэффициент (k_t) при площадях водосбора, км ² , равных								
	0,1	0,5	1	5	10	50	100	500	1500
Реки бассейна Западной Двины	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2	1,15	1,0	1,0
Реки других бассейнов	3,5	2,8	2,6	2,1	1,9	1,6	1,4	1,15	1,0

Для водосборов площадью более 1500 км² (k_t) принимается равным 1,0.

Одновершинные гидрографы следует рассчитывать по формуле

$$y = 10^{-\frac{a(t-x)^2}{x}} \quad (12.2)$$

где y – ординаты расчетного гидрографа (Q_t), выраженные в долях максимального мгновенного расхода воды (Q_p^*) – для паводков и максимального среднего суточного расхода воды (Q_p) – для половодий; x – абсцисса расчетного гидрографа, выраженная в долях условной продолжительности подъема паводка (t_n); a – параметр, зависящий от коэффициента формы гидрографа (λ).

Коэффициент формы гидрографа (λ), абсцисса (x) и ордината (y) определяются согласно таблице 12.2. в зависимости от коэффициента несимметричности, вычисляемого по данным рек-аналогов ($k_{s,n}$), по формуле

$$k_{x,a} = \frac{h_{na}}{h_a}, \quad (12.3)$$

где h_{na} – слой стока за период подъема половодья на реке-аналоге, мм; h_a – суммарный слой стока половодья на реке-аналоге, мм.

Ординаты расчетного гидрографа следует определять по формуле

$$Q_i = y \cdot Q_p, \quad (12.4)$$

абсциссы - по формуле

$$t_i = x \cdot t_n, \quad (12.5)$$

где x, y – относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды, принимаются по таблице 12.3; Q_p – расчетный максимальный средний суточный расход воды весеннего половодья или мгновенный расход воды дождевого паводка, $\text{м}^3/\text{с}$, определяемый по формуле 12.1, t_n – продолжительность подъема весеннего половодья, сут, которая определяется по формуле

$$t_n = \frac{0,0116 \cdot \lambda \cdot h_p}{q_p}, \quad (12.6)$$

где λ – коэффициент учитывающий форму гидрографа, для Беларуси $\lambda=0,6$; q_p – расчетный модуль максимального среднего суточного расхода воды весеннего половодья, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$, определяемый по формуле

$$q_p = \frac{Q_p}{A}, \quad (12.7)$$

A – площадь водосбора, км^2 ; h_p – слой стока расчетной обеспеченности, мм, рассчитывается по формуле

$$h_p = K_p \cdot h_0, \quad (12.8)$$

где h_0 – средний многолетний слой стока весеннего половодья (мм), определяемый по картам изолиний приложения У [2]; K_p – модульный коэффициент расчетной обеспеченности, (см. практическую работу №6).

Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

Требуется построить расчетный гидрограф стока воды на р.Нача – с.Горовцы. Максимальный мгновенный расход воды весеннего половодья $Q_p = 9,37 \text{ м}^3/\text{с}$ (см. практическую работу №4). Заданная вероятность превышения (обеспеченность) расхода воды $P=5\%$. Площадь водосбора – 212 км^2 .

Расчет производится в следующем порядке:

1) максимальный средний суточный расход (Q_p) определяется по формуле 12.1 при $k_i = 1,412$, взятый по таблице 12.1

$$Q_p = \frac{9,37}{1,11} = 8,44 \text{ м}^3/\text{с};$$

2) расчетный модуль максимального среднего суточного расхода воды весеннего половодья (q_p), вычисляется по формуле 12.7

$$q_p = \frac{8,44}{212} = 0,4 \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$$

3) по картам изолиний (приложения У, Ф) определяются значения среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья и коэффициент вариации: $h_0=95 \text{ мм}$, $C_v=0,42$; соотношение (C_s/C_v) принимается равным 2,0 как для реки бассейна Западной Двины;

4) значение ординаты обеспеченности 5% определяется по таблице кривых трехпараметрического гамма-распределения Ж.1 ($k_{5\%}=1,78$);

5) по формуле 12.8 определяется слой стока расчетной обеспеченности (h_p)

$$h_p = 1,78 \cdot 95 = 169 \text{ мм};$$

6) по формуле 12.6 определяется продолжительность подъема весеннего половодья (t_n)

$$t_n = \frac{0,0116 \cdot 0,6 \cdot 169}{0,4} = 2,94 \text{ сут};$$

7) по формулам 12.4 и 12.5 вычисляем ординаты расчетного гидрографа стока воды. для более удобного расчета составляется таблица 12.3

Таблица 12.3 Координаты расчетного гидрографа стока воды весеннего половодья

x	y	t_i , сут	Q_i , м ³ /с
1	2	3	4
0,1	0	0,294	0
0,2	0,011	0,588	0,093
0,3	0,099	0,882	0,836
...
6,0	0,003	17,64	0,025
8,0	0	23,52	0

8) по графам 3 и 4 таблицы 12.3 строится расчетный гидрограф стока воды весеннего половодья, рисунок 12.1.

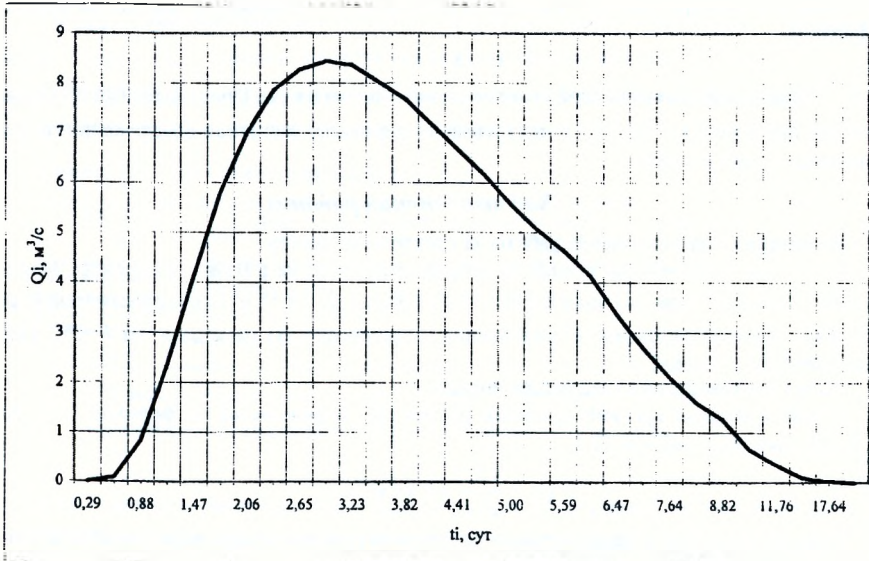


Рисунок 12.1 Расчетный гидрограф стока воды весеннего половодья.

В выводе дается обоснование полученных результатов расчета.

Таблица 12.2 Относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды $y = Q_i / Q_p$, для $x = t_i / t_n$, при различных значениях коэффициентов (λ) и (k_p)

$x = t_i / t_n$	Значения $y = Q_i / Q_p$ при различных $\lambda = q \cdot t_n / (0.0116 \cdot h_p)$, равных																					
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	
0.1	0,023	0,002	0	0	0																	
0.2	0,21	0,091	0,034	0,011	0,003	0	0	0	0													
0.3	0,45	0,29	0,18	0,099	0,050	0,022	0,009	0,003	0,001	0	0	0	0									
0.4	0,66	0,51	0,39	0,28	0,19	0,12	0,076	0,043	0,024	0,013	0,006	0,003	0,001	0	0	0	0	0				
0.5	0,78	0,69	0,59	0,49	0,40	0,31	0,24	0,18	0,13	0,088	0,059	0,039	0,025	0,015	0,009	0,005	0,003	0,002	0	0	0	
0.6	0,88	0,82	0,75	0,69	0,61	0,54	0,47	0,39	0,33	0,27	0,22	0,18	0,14	0,12	0,088	0,066	0,049	0,036	0,017	0,009	0,004	
0.7	0,94	0,91	0,87	0,83	0,79	0,74	0,69	0,64	0,59	0,54	0,48	0,43	0,39	0,34	0,30	0,26	0,22	0,19	0,14	0,094	0,062	
0.8	0,97	0,96	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66	0,62	0,59	0,55	0,52	0,46	0,40	0,34	
0.9	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88	0,87	0,84	0,82	0,79	
1.0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
1.1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,87	0,85	0,82	
1.2	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,80	0,78	0,76	0,73	0,70	0,68	0,65	0,60	0,54	0,49	
1.3	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,64	0,60	0,56	0,52	0,48	0,44	0,41	0,34	0,28	0,22	
1.4	0,95	0,92	0,89	0,85	0,81	0,77	0,72	0,67	0,62	0,57	0,52	0,48	0,43	0,38	0,34	0,30	0,26	0,23	0,17	0,12	0,084	
1.5	0,92	0,88	0,84	0,79	0,74	0,68	0,62	0,56	0,50	0,44	0,39	0,34	0,29	0,25	0,21	0,17	0,14	0,12	0,075	0,046	0,027	
1.6	0,90	0,85	0,79	0,73	0,66	0,59	0,52	0,46	0,39	0,34	0,28	0,23	0,19	0,15	0,12	0,092	0,071	0,054	0,030	0,016	0,008	
1.7	0,87	0,81	0,74	0,66	0,59	0,51	0,44	0,37	0,30	0,25	0,20	0,15	0,12	0,089	0,066	0,047	0,034	0,024	0,011	0,005	0,002	
1.8	0,84	0,77	0,69	0,60	0,52	0,44	0,36	0,29	0,23	0,18	0,13	0,10	0,072	0,050	0,035	0,023	0,015	0,010	0,004	0,001	0	
1.9	0,81	0,73	0,64	0,55	0,46	0,37	0,29	0,23	0,17	0,13	0,089	0,063	0,043	0,028	0,018	0,011	0,007	0,004	0,001			
2.0	0,78	0,69	0,59	0,49	0,40	0,31	0,24	0,18	0,13	0,088	0,059	0,039	0,025	0,015	0,009	0,005	0,003	0,002	0			
2.2	0,73	0,61	0,50	0,40	0,30	0,22	0,15	0,10	0,066	0,042	0,025	0,014	0,008									
2.4	0,67	0,54	0,42	0,32	0,22	0,15	0,096	0,058	0,034	0,019	0,010	0,005	0,002									
2.6	0,62	0,48	0,35	0,25	0,16	0,10	0,060	0,032	0,017	0,008	0,004	0,002	0,001									
2.8	0,57	0,42	0,29	0,19	0,12	0,068	0,036	0,018	0,008	0,004	0,001	0,001	0									
3.0	0,53	0,37	0,24	0,15	0,086	0,045	0,022	0,010	0,004	0,002	0	0										
3.5	0,43	0,26	0,15	0,079	0,037	0,016	0,006	0,002	0	0												
4.0	0,34	0,19	0,092	0,042	0,016	0,005	0,002	0														
5.0	0,21	0,091	0,034	0,011	0,003	0	0															
6.0	0,13	0,044	0,012	0,003	0																	
8.0	0,052	0,010	0,002	0																		
$k_p = h_p / h_p = f(\lambda)$	0,19	0,23	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	

Практическая работа №13

Тема: Расчет трансформации паводкового стока водохранилищем.

Цель работы: 1) Рассчитать и построить кривую сбросных расходов.

2) Определить максимальный сбросной расход.

3) Определить отметку форсированного подпорного уровня.

Краткие сведения из теории

Все методы расчета трансформации паводкового стока основаны на интегрировании уравнения водного баланса водохранилища. Для этого необходимо иметь расчетный гидрограф притока и заданный тип сбросных сооружений.

Расчетный гидрограф принимается по результатам выполненных расчетов в практической работе №12.

В качестве сбросного сооружения принимается водослив с отметкой порога на *НПУ*.

Расход воды через водослив практического профиля определяется по формуле

$$q = m \sqrt{2g \cdot h^{1.5}} \cdot B, \quad (13.1)$$

где B – ширина водосливного фронта, м; h – напор над гребнем водослива; m – коэффициент расхода водослива.

Расчет производится графоаналитическим методом.

Метод заключается в решении уравнения водного баланса водохранилища и конечных разностях, преобразованного к виду

$$V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = \bar{Q} \cdot \Delta t + (V_1 + 0,5 \cdot q_1 \cdot \Delta t) - q_1 \cdot \Delta t \quad (13.2)$$

Для решения данного уравнения необходимо построение вспомогательного графика $q = f(V + 0,5 \cdot q \cdot \Delta t)$. При этом расчетный интервал времени $\Delta t = 2 \text{ сут.} = 0,1728 \text{ млн. сек.}$ Для определения координат графика составляется таблица 13.1, а для построения кривой сбросных расходов – таблица 13.2.

Уточненное значение слоя форсировки рассчитывается по формуле

$$h_\phi = \left(\frac{q_{\max}}{m \cdot \sqrt{2g} \cdot B} \right)^{2/3} \quad (13.3)$$

где q_{\max} – максимальный сбросной расход, снятый с кривой сбросных расходов.

Форсированный подпорный уровень определяется по формуле

$$\Phi ПУ = НПУ + h_\phi \quad (13.4)$$

Объем форсировки (регулирующий объем водохранилища) определяется как разность объемов при $\Phi ПУ$ и $НПУ$

$$V_\phi = V_{\Phi ПУ} - V_{НПУ} \quad (13.5)$$

Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

Требуется рассчитать и построить кривую сбросных расходов, определить максимальный сбросной расход (q_{\max}) и отметку форсированного подпорного уровня ($\Phi ПУ$). Пусть $НПУ = 137,5 \text{ м}$, $Q_{\max 5\%} = 8,44 \text{ м}^3/\text{с}$, $m = 0,46$.

1) Задаваясь предварительно слоем форсировки $h_\phi = \Phi ПУ - НПУ = 1,5 \text{ м}$, определяет ся ориентировочное значение ширины водосливного фронта

$$B = \frac{Q_{\max 5\%}}{m \sqrt{2g} \cdot h^{1.5}} = \frac{8,44}{0,46 \cdot 4,43 \cdot 1,5^{1.5}} = 2,25 \text{ м}$$

В связи с тем, что регулирующая емкость водохранилища уменьшает $Q_{\max 5\%}$ расчетное значение B уменьшают на 10...15% (в примере $B = 2 \text{ м}$).

2) Сбросной расход определяется по формуле 13.1

$$q = 0,46 \cdot 4,43 \cdot 2 \cdot h^{1,5} = 4,08 \cdot h^{1,5}$$

3) Для определения координат графика составляется таблица 13.1

Таблица 13.1 Расчет координат вспомогательного графика

H, м	hф, м	$q=4,08h^{1,5}$ м ³ /с	$V_{п1}$ млн. м ³	$V=V_{п1}-V_{НПУ}$ млн. м ³	$0,5q\Delta t$ млн. м ³	$V+0,5q\Delta t$ млн. м ³
1	2	3	4	5	6	7
НПУ=137,5 м	0	0	12,03	0	0	0
138	0,5	1,44	14,50	2,47	0,06	2,53
138,5	1	4,08	15,00	2,97	0,18	3,15
139	1,5	7,50	16,10	4,07	0,32	4,39

4) По таблице 13.1 (графы 3 и 7) строится кривая $q = f(V + 0,5q\Delta t)$

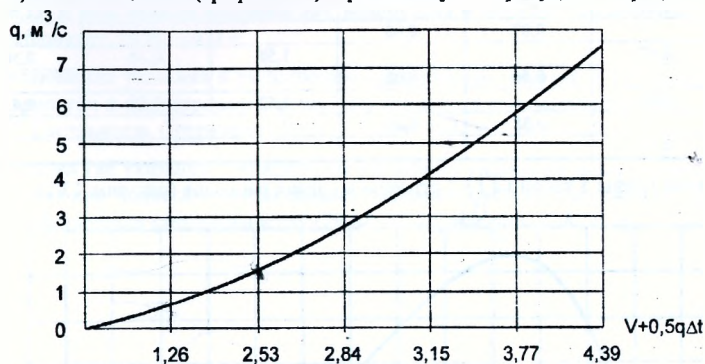


Рисунок 13.1 Кривая $q = f(V + 0,5q\Delta t)$

5) Для построения кривой сбросных расходов составляется таблица 13.2.

В графе 2 таблицы 13.2 записываются расходы паводка на начало (конец) каждого расчетного интервала (суток), снятые с расчетного гидрографа весеннего половодья (см. практическую работу №12, рис. 12.1); в графе 3 – средние за каждый интервал расходы паводка; в графе 4 определяется объем притока воды в водохранилище за каждый интервал. Далее определяется значение правой части расчетного уравнения водного баланса (формула 13.2)

$$V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = \bar{Q} \cdot \Delta t + (V_1 + 0,5 \cdot q_1 \cdot \Delta t) - q_1 \cdot \Delta t$$

$V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = 0,13 + 0 - 0 = 0,13$, по полученной величине с вспомогательного графика (рисунок 13.1) снимается значение q_2 на конец первого интервала (графа 5). Затем определяется графа 6, путем умножения сбросного расхода q (графа 5) на расчетный интервал времени Δt . Далее расчет вновь ведется по уравнению водного баланса на начала второго интервала $V_2 + 0,5 \cdot q_2 \cdot \Delta t = 0,46 + 0,13 - 0,01 = 0,59$. По величине (0,59 млн. м³) и графику 13.1 определяется $q_2 = 0,33$ м³/с на конец второго (или начало третьего) интервала времени и т.д.

Таблица 13.2 Расчет сбросных расходов

Интервалы	Q , м ³ /с	\bar{Q} , м ³ /с	$\bar{Q}\Delta t$, млн. м ³	q , м ³ /с	$q\Delta t$, млн. м ³	$V + 0,5q\Delta t$ млн. м ³
1	2	3	4	5	6	7
	0			0	0	0
1		1,54	0,13			
	3,08			0,07	0,01	0,13
2		5,38	0,46			
	7,68			0,33	0,05	0,59
		7,98	0,69			

1	2	3	4	5	6	7
3	8,29			0,69	0,06	1,25
4	6,87	7,58	0,65	1,12	0,10	1,85
5	5,06	5,96	0,52	1,42	0,12	2,27
6	3,60	4,33	0,37	1,59	0,14	2,52
7	2,46	3,03	0,26	2,03	0,18	2,64
8	1,57	2,02	0,17	2,03	0,18	2,64
9	1,07	1,32	0,11	1,79	0,16	2,58
10	0,67	0,87	0,08	1,58	0,14	2,50
11	0,45	0,56	0,05	1,52	0,13	2,41
12	0,31	0,38	0,03			

6) По данным графы 5 таблицы 13.2 строится кривая расходов (рисунок 13.2).

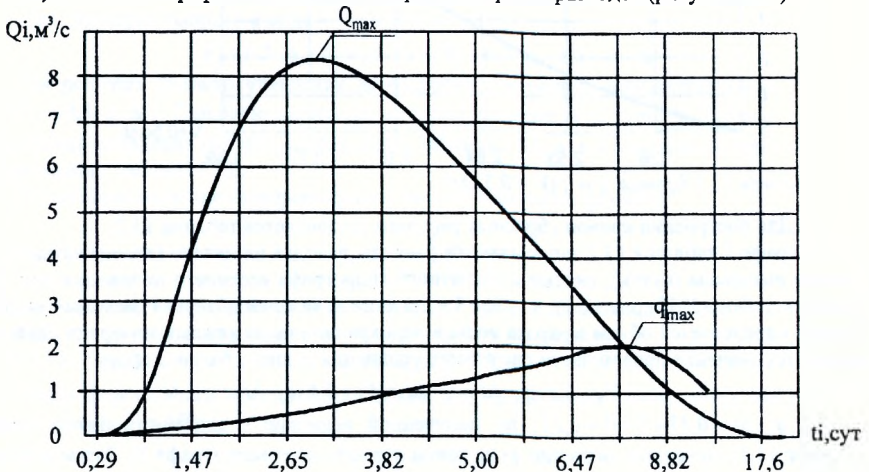


Рисунок 13.2 Расчетный гидрограф притока и кривая сбросных расходов.

7) Рассчитывается уточненное значение слоя форсировки по формуле 13.3

$$h_{\text{ф}} = \left(\frac{2,03}{0,46 \cdot 4,43 \cdot 2} \right)^{2/3} = 0,63 \text{ м.}$$

8) Форсированный подпорный уровень определяется по формуле 13.4

$$\Phi_{\text{ПУ}} = 137,5 + 0,63 = 138,13 \text{ м.}$$

9) Объем форсировки вычисляется по формуле 13.5

$$V_{\text{ф}} = 14 - 12,03 = 1,97 \text{ млн. м}^3.$$

В выводе дается обоснование полученных результатов расчета.

Литература

1. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 35 с.
2. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 “Определение расчетных гидрологических характеристик”. Минск, 2000 – 220 с.
3. Методические указания по расчету в экологических целях годового стока неизученных малых рек (для курсового и дипломного проектирования студентов специальности С.04.02.00 - “Мелиорация и водное хозяйство”, Т.19.06 – “Водоснабжение, водоотведение, очистка природных и сточных вод”). Валуев В.Е., Волчек А.А. и др. – Брест.: БПИ, 1996 – с.28.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963 - 1970 гг. и весь период наблюдений). Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Т.5. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 431 с.
5. Методические указания к выполнению практических занятий и курсовой работы по курсу “Гидрология и регулирование стока” для студентов специальности 1511 – “Гидромелиорация”. Составитель Стефаненко Ю.В.. – Брест.: БИСИ, 1987 – с.25.
6. Методические указания “Определение расчетных гидрологических характеристик (годового стока) при недостаточности данных гидрометрических наблюдений” для студентов водохозяйственных специальностей (29.08; 31.10). Волчек А.А. и др. – Брест.: БПИ. 1990 – с.55.

Учебное издание

Составители: *Юрий Васильевич Стефаненко*
Александр Александрович Волчек
Владимир Валентинович Лукша
Татьяна Евгеньевна Мозоль

Методические указания

к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу
«Инженерная гидрология и регулирование стока»
для студентов специальности 74 05 01 "Мелиорация и водное хозяйство"

Ответственный за выпуск *Мозоль Т.Е.*

Редактор *Строкач Т.В.*

Корректор *Никитчик Е.В.*

Подписано к печати 17.11.01 г. Офсетная печать. Бумага писчая. Формат 60x84/16. Уч.изд.л 2,79. Усл.печ.л. 3,0. Заказ *№51*. Тираж 120 экз.
Отпечатано на ризографе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.