

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
МЕЛИОРАЦИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу

«Гидрология и регулирование стока»

для студентов очной и заочной формы обучения специальности
Т.19.06 «Водоснабжение, водоотведение, очистка природных
и сточных вод»

Брест 2001

Методические указания к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу "Гидрология и регулирование стока" для студентов очной и заочной формы обучения специальности Т.19.06 «Водоснабжение, водоотведение, очистка природных и сточных вод» / Стефаненко Ю.В., Волчек А.А. и др. – Брест.: БГТУ, 2001 – 34с.

В методических указаниях изложены методы гидрометрических измерений, гидрологических расчетов по определению параметров среднего годового стока рек при наличии, недостаточности и отсутствии данных гидрометрических наблюдений, внутригодового распределения стока, а также по определению основных параметров водохранилища.

Настоящие методические указания являются практическим руководством в самостоятельной работе студентов специальностей Т.19.06 «Водоснабжение, водоотведение, очистка природных и сточных вод» 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., преподаватель-стажер.

Рецензенты:

- 1 Заведующий кафедрой географии Беларуси Брестского государственного университета, профессор, кандидат географических наук **В.Я.Науменко.**
- 2 Главный специалист группы гидрологии проектного института «Полесье-гипроводхоз», кандидат географических наук **Н.А.Мишустин.**

Практическая работа №1

Тема: Построение гидрографа стока.

Цель работы: 1) Построить гидрограф стока за год.

2) Изучить и нанести на гидрограф ледовые явления.

3) Произвести выборку характерных расходов воды за год.

Краткие сведения из теории

Гидрометрия является частью более обширной науки — гидрологии суши. Основными задачами гидрометрии являются: 1) разработка методов и приборов для количественного определения и учета элементов водного режима; 2) систематическое изучение гидрологического режима с целью получения многолетних характеристик уровней, стока воды и наносов, химического состава и температуры воды, ледовых явлений и др.

При исследовании водного режима рек и озер применяются стационарные и экспедиционные методы. Стационарные наблюдения ведутся на гидрометеорологических станциях (I и II разрядов) и постах (I, II, и III разрядов).

Разряды станциям и постам присваиваются в зависимости от объема выполняемой работы.

На *постах I разряда* ведутся наблюдения за уровнями и температурой воды, ледовыми явлениями, измеряют расходы воды, расходы взвешенных и донных наносов, производят отбор проб воды на мутность и для химического анализа, а также производят метеорологические наблюдения по программе метеорологических постов I разряда.

Посты II разряда ведут наблюдения по программе постов I разряда, за исключением измерения расходов воды, взвешенных и донных наносов.

Посты III разряда ведут наблюдения за уровнем и температурой воды, ледовыми явлениями и обстановкой.

Наблюдения проводятся в два срока — 8 и 20 часов.

Результаты наблюдений за годовой период по всем элементам водного режима помещаются в «Гидрологический ежегодник». Номер тома и выпуска ежегодника соответствует определенной территории, гидрометеорологические данные по которой помещены в этом ежегоднике.

По результатам наблюдений строятся комплексные графики результатов гидрометрических наблюдений в виде гидрографов. Гидрограф гидрометрической величины — это хронологический график изменения этой величины за рассматриваемый период (сутки, месяц, год и т.д.). Могут строиться гидрографы стока (расходы воды), уровней, температуры, расходов донных и взвешенных наносов и т.д.

Построенные гидрографы используются при проектировании гидромелиоративных систем, гидроузлов, водозаборных сооружений, транспортного, промышленного и другого использования поверхностных вод территории.

Ход выполнения работы

1) В работе необходимо построить гидрограф стока за годовой период. Для чего из гидрологических ежегодников выписываются исходные данные (таблицы «Ежедневные расходы воды»).

Для построения гидрографа стока используется миллиметровая бумага стандартного формата. При этом по горизонтальной оси откладывается время (дни года t , сут., рекомендуемый масштаб 1мм-1сутки), а по вертикальной — значения расходов Q , м³/с (масштаб выбирается самостоятельно). Значения расходов наносятся на середину суток, т.е. посередине миллиметрового деления в выбранном масштабе (1мм-1сутки). Пример построения гидрографа стока приведен на рисунке 1.3.

2) Весной и осенью на реках наблюдаются различные ледовые образования. В гидрологических ежегодниках в таблицах «Ежедневные расходы воды» они проставляются справа от значений расходов условными обозначениями (рисунок 1.1).

Необходимо изучить эти обозначения и при построении гидрографа стока нанести их согласно рисунку 1.2. Нанесение ледовых явлений осуществляется на специально отведенной для этого горизонтальной линии, шириной 4-6мм над построенным гидрографом стока (см. рисунок 1.3).

3) Характерными расходами воды являются:

- а) максимальный расход (весеннего половодья или летне-осенних дождевых паводков);
- б) минимальный расход (летне-осенней или зимней межени);
- в) годовой средний расход.

Характерные расходы наносятся на гидрограф стока с помощью горизонтальных линий с надписями на них соответствующих значений расходов (см. рисунок 1.3).

<p><i>При составлении годовой таблицы колебаний расходов, явления ледового режима и некоторые другие характеристики водного объекта отмечаются условными обозначениями, которые проставляются справа от значений уровня.</i></p>)	забереги		вода течет поверх льда
	:	сало	}}	закраина
	×	редкий шугоход	□	подвижка льда
	✱	густой шугоход	▲	затор
	○	редкий ледоход	▣	первый и последний пароход
	●	густой ледоход	#	начало и конец лесосплава
		ледостав		

Рисунок 1.1

При построении графика средних суточных расходов воды аналогично рисунку 1.1 показывают фазы ледового режима условными обозначениями:

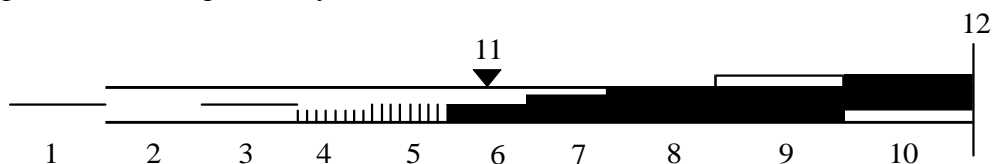


Рисунок 1.2: 1 — сало; 2 — забереги; 3 — сало при заберегах; 4 — редкий шугоход; 5 — шугоход; 6 — редкий ледоход; 7 — ледоход; 8 — неподвижный ледяной покров (ледостав); 9 — вода течет поверх льда; 10 — закраины и лед подняло; 11 — дата зажора или затора; 12 — дата подвижки льда.

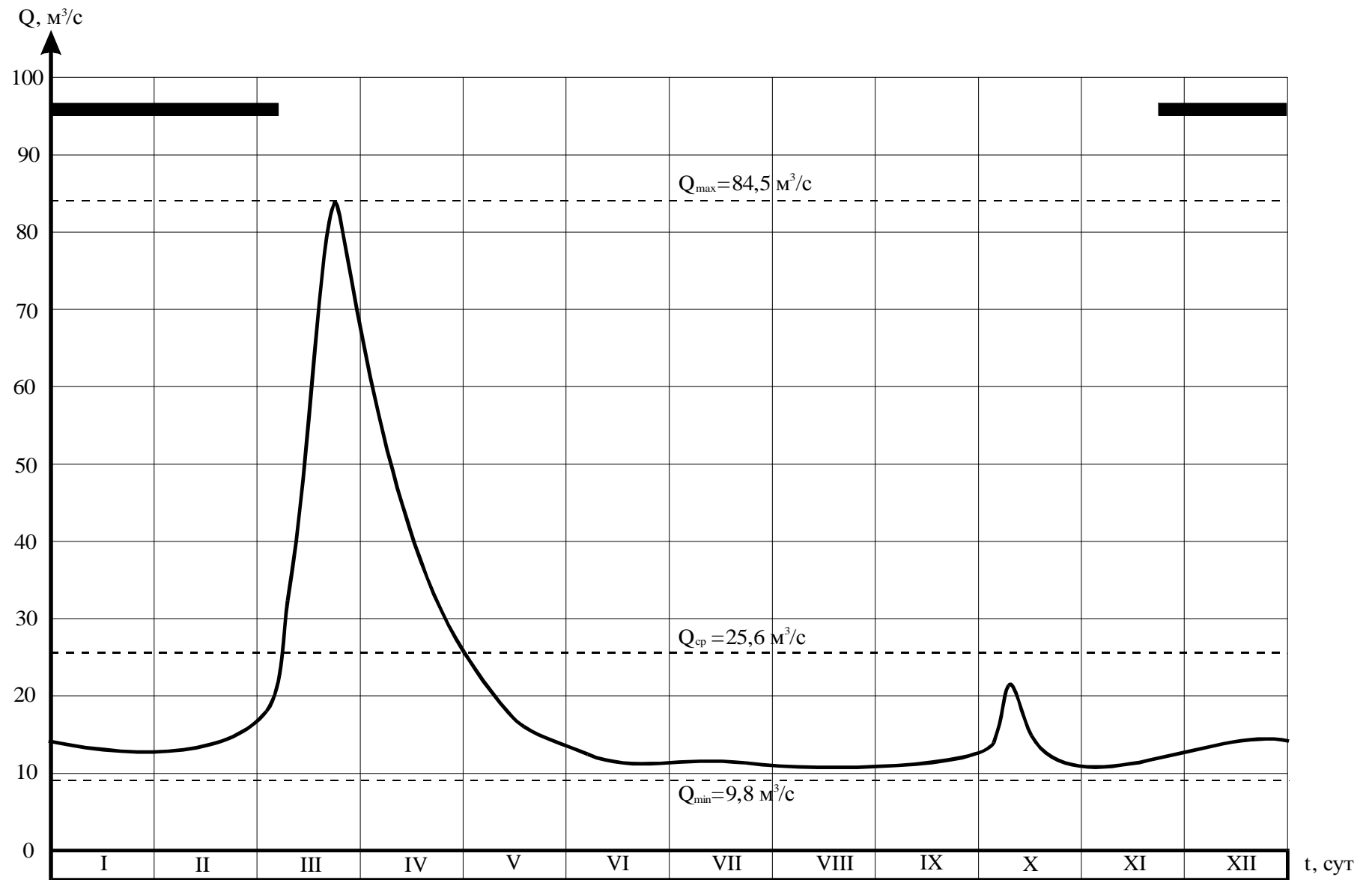


Рисунок 1.3 Гидрограф стока р.Нача — с.Горовицы за 1973 год

Практическая работа №2

Тема: Построение поперечного профиля реки. Определение основных морфометрических характеристик русла. Вычисление расходов воды, измеренных гидрометрической вертушкой.

Цель работы: 1) Построить поперечный профиль реки.
2) Определить основные морфометрические характеристики русла.
3) Вычислить расход Q в $\text{м}^3/\text{с}$ аналитическим способом.

Краткие сведения из теории

В работе используются данные промеров по поперечным профилям. Этот вид измерений позволяет достаточно точно определить положение промерных точек и выявить распределение глубин по ширине реки.

Расстояние по вертикали от свободной поверхности потока до дна или расстояние в плоскости живого сечения от свободной поверхности потока до дна называют *глубиной потока (местной)*. Глубины измеряются гидрометрической штангой (наметкой), лотом и гидрометрическими профилографами. *Гидрометрическая штанга* – круглый шест длиной до 7 м и диаметром 5-6 см с 10-сантиметровыми делениями. Ее можно применять только при сравнительно небольших глубинах (5-6 м) и скоростях течения воды. Точность измерения глубины с помощью штанги – 2%. При глубинах более 6 м применяют механические или ручные лоты. *Ручной лот* представляет собой груз массой 3-6 кг конической или пирамидальной формы, подвешенный на размеченном шнуре (лотнине). Он применяется при небольших скоростях течения воды (до 1 м/с). В *механическом лоте* используется гидрометрический груз, опускаемый в воду на тонком тросе с помощью лебедки. Применяют при любых скоростях течения потока. Если скорость очень велика, необходимо учитывать отклонение троса от вертикального положения. *Гидрометрические профилографы* – приборы автоматической регистрации поперечного профиля водного сечения. Бывают механические, гидростатические и акустические.

Вертикали для измерения глубин воды в реках, водохранилищах и других водоемах называют *глубинными, или промерными, вертикалями*. Водные сечения, в которых располагаются глубинные (промерные) вертикали, называют *промерными сечениями, или промерными профилями*. Расстояния между промерными сечениями и глубинными вертикалями выбирают в зависимости от сложности подводного сечения. Чем сложнее рельеф, тем большая степень сгущения промерных сечений и глубинных вертикалей необходима для его изучения.

Основными приборами для измерения скоростей течения воды в реках и каналах являются гидрометрические поплавки и гидрометрические вертушки.

В зависимости от измеряемой скорости гидрометрические поплавки подразделяют на точечные и интеграционные. Точечные поплавки бывают поверхностные и глубинные. В качестве *поверхностных поплавков* можно использовать бруски дерева, отпиленные от бревна цилиндрические кружки высотой 3-7 см, соединенные крестом две доски и др. Продолжительность хода поплавков между створами при измерении наибольшей скорости должна быть не менее 20 с.

Основные конструктивные элементы вертушек – рабочее колесо с осью вращения, корпус, счетно-контактный механизм и хвостовое оперение. По способу установки вертушки подразделяют на штанговые, тросовые и универсальные.

Вертикали, на которых измеряют местные скорости или непосредственно средние скорости, называют *скоростными вертикалями*. Глубину, измеренную непосредственно перед определением скоростей, называют *рабочей*. По ней устанавливают положение скоростных точек. Основным способом (при отсутствии ледяного покрова) является пятиточечный, при котором скорости измеряют: на поверхности, на глубине 0,2h, 0,6h, 0,8h и у дна. Этот способ обычно применяется при глубине более 1,5м. Затем, зная скорость течения воды и площадь поперечного сечения русла реки, можно определить расход.

Ход выполнения работы

1) Результаты промеров глубин записываются в журнал для записи промеров стандартного образца (см. приложения). По данным журнала (по номеру профиля, который назначается преподавателем) необходимо построить поперечный профиль реки, для чего в начале составляется таблица 2.1.

Таблица 2.1 Таблица для построения поперечного профиля и вычисления морфометрических характеристик русла

Номера промерных вертикалей	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина, м		Расстояние между вертикалями, м	Площадь водного сечения между вертикалями, м ²	Отметка дна (абсолютная), м
		на вертикалях (рабочая)	средняя между вертикалями			
1	2	3	4	5	6	7
Ур.л.б.	10,0	0,00				215,12
			2,00	20,0	40,0	
1	30,0	4,00				211,12
			5,00	20,0	100	
2	50,0	6,00				209,12
			6,50	20,0	130	
3	70,0	7,00				208,12
...
8	170	5,00				210,12
			5,50	20,0	110	
9	190	6,00				209,12
			6,00	20,0	120	
10	210	6,00				209,12
			3,00	20,0	60,0	
Ур.п.б.	230	0,00				215,12
					Σ=1220	

Отметка дна (графа 7 таблицы 2.1) вычисляется как разность абсолютной отметки расчетного уровня воды и величины глубины на данной промерной вертикали.

Поперечный профиль реки строится по графам 1, 2, 3 таблицы 2.1 на миллиметровой бумаге стандартного формата (рекомендуется А4, 210x297мм). За постоянное начало выбирается точка, от которой откладывается расстояние от постоянного начала (в масштабе). Линия дна очерчивается прямыми линиями от одной промерной вертикали до другой. На линии поверхности воды выписывают уровень воды, к которому отнесены промеры глубин (см. рисунок 2.1).

2) Для поперечного профиля вычисляются следующие морфометрические характеристики:

а) площадь водного сечения, F , м^2 .

Рассчитывается аналитическим способом как сумма частных площадей между вертикалями по формуле:

$$F = \frac{h_1}{2} \cdot b_1 + \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot b_2 + \dots + \frac{h_n}{2} \cdot b_{n+1}, \text{ м}, \quad (2.1)$$

где h_1, h_2, \dots, h_n — рабочая глубина на вертикалях, м; b_1, b_2, \dots, b_n — расстояние между вертикалями, м.

Расчеты площади водного сечения выполняются в таблице 2.1 (графа 6). Общая площадь получается как сумма данных графы 6;

б) ширина реки B , м.

Определяется как разность расстояний от постоянного начала:

$$B = L_n - L_1, \text{ м}, \quad (2.2)$$

где L_n — расстояние от постоянного начала до уреза дальнего берега; L_1 — расстояние до уреза ближнего берега.

в) средняя глубина сечения $h_{\text{ср.}}$, м.

Вычисляется как частное от деления площади водного сечения на ширину реки по формуле:

$$h_{\text{ср.}} = \frac{F}{B}, \text{ м}. \quad (2.3)$$

г) наибольшая глубина h_{max} , м.

Выбирается из данных промерного журнала (графа 3 таблицы 2.1).

д) смоченный периметр c , м.

Длина линии дна реки на профиле, заключенная между урезами воды. Определяется по формуле:

$$c = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_3^2 + (h_3 - h_2)^2} + \dots + \sqrt{b_{n+1}^2 + h_n^2}, \text{ м}. \quad (2.4)$$

е) гидравлический радиус R , м.

Определяется как частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра:

$$R = \frac{F}{c}, \text{ м}. \quad (2.5)$$

3) *Расходом воды* называется количество воды, протекающее через поперечное сечение реки в одну секунду. Сущность аналитического метода определения расхода воды в реке заключается в следующем. Измеряется площадь поперечного сечения реки и скорость течения воды в отдельных точках на скоростных вертикалях. Вычисление расхода производится по приближенной формуле, которая представляет собой сумму частичных расходов между скоростными вертикалями:

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n, \quad (2.6)$$

$$Q = k \cdot f_0 \cdot V_1 + \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot f_1 + \dots + k \cdot V_n \cdot f_{n+1}; \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.7)$$

где V_1, V_2 — средние скорости на вертикалях, м/с; f_0 — площадь водного сечения между берегом и первой скоростной вертикалью, м²; f_{n+1} — площадь водного сечения между последней скоростной вертикалью и берегом, м²; f_1, f_2, \dots, f_n — площадь водного сечения между скоростными вертикалями, м²; k — эмпирический коэффициент, который принимается по таблице 2.2.

Таблица 2.2 Значения эмпирического коэффициента k

Наименование	k
Пологий берег с нулевой глубиной на урезе	0,7
Обрывистый берег или неровная стенка	0,8
Гладкая стена	0,9
Наличие мертвого пространства	0,5

Расчет расходов выполняется в таблице 2.4 (графа 5). При этом первое и последнее значение умножается на коэффициент k , который выбирается в зависимости от типа поперечного профиля у берегов реки (анализируется поперечный профиль реки — рисунок 2.1).

Средние скорости на вертикалях, при измерениях в пяти точках, при открытом русле вычисляются по эмпирической формуле:

$$V_{cp} = 0,1 \cdot (V_{нов} + 3 \cdot V_{0,2} + 3 \cdot V_{0,6} + 2 \cdot V_{0,8} + V_{дон}), \text{ м/с}, \quad (2.8)$$

где V_{cp} — средняя скорость на вертикали, м/с; $V_{нов}$, $V_{дон}$ — скорости на поверхности и дне реки на данной скоростной вертикали м/с; $V_{0,2}$, $V_{0,6}$, $V_{0,8}$ — скорости на глубине 0,2h, 0,6h, 0,8h.

Средние скорости, рассчитанные по формуле (2.8), заносятся в таблицу 2.4 (графа 3).

Скорости в отдельных точках на вертикали вычисляются по тарировочному уравнению:

$$V = 0,245 \cdot n + 0,05, \text{ м/с}, \quad (2.9)$$

где n — число оборотов вертушки в секунду, которое определяется по формуле:

$$n = \frac{N}{t}, \text{ об/с}, \quad (2.10)$$

где N — общее число оборотов за время наблюдения, об; t — общая продолжительность измерения в точке, с. N и t выписываются из приложений согласно выданному варианту.

Вычисления производим в таблицах 2.3 и 2.4.

В выводе указываются основные итоги практической работы и анализируются полученные расчетом значения.

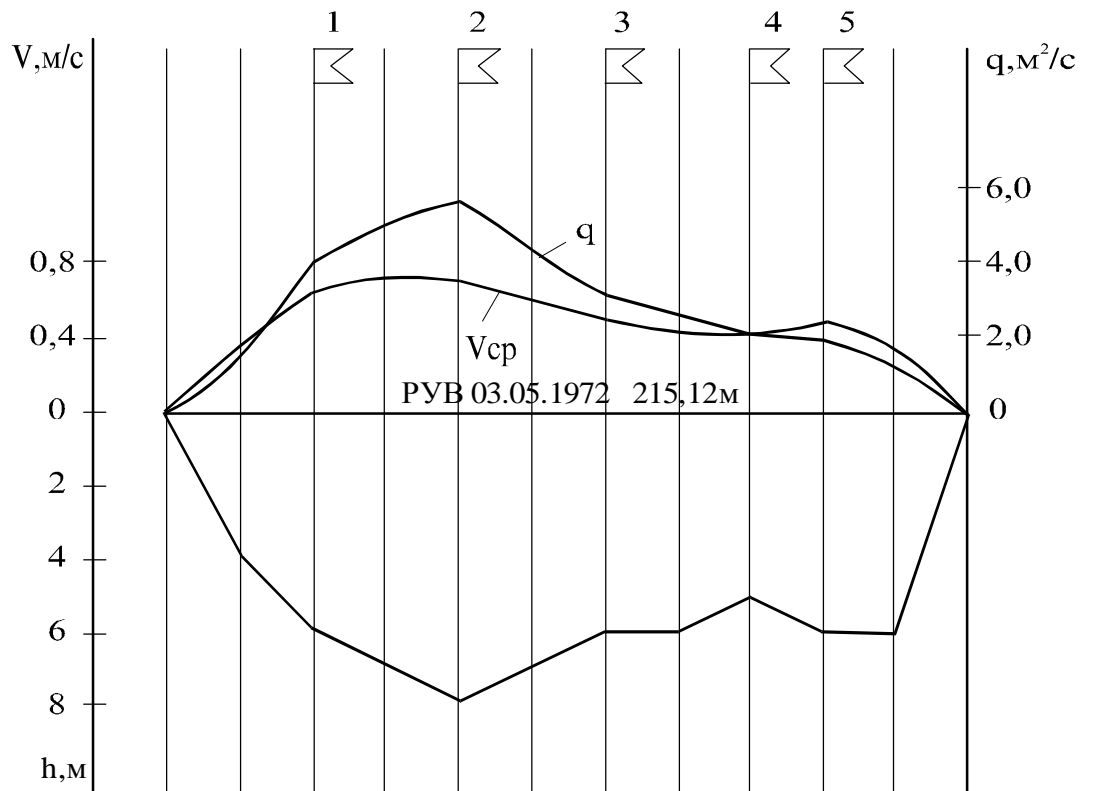
Таблица 2.3 К расчету скоростей течения воды на скоростных вертикалях

Номера скоростных вертикалей	Наименование точек	N , об	t , с	n , об/с	V , м/с	$V_{ср.}$, м/с
1	2	3	4	5	6	7
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					
	Поверхность					
	0,2h					
	0,6h					
	0,8h					
	Дно					

Таблица 2.4 К вычислению расходов воды

Номера скоростных вертикалей	Средняя скорость, м/с		Площадь водного сечения между вертикалями, м ²	Расход воды между вертикалями, м ³ /с
	на вертикалях	между вертикалями		
1	2	3	4	5
Ур.л.б	0,00			
Ур.п.б.	0,00			Σ

$H, \text{м}$	215,12
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	46,2
$F, \text{м}^2$	1220
$B, \text{м}$	220
$h_{\text{ср}}, \text{м}$	6,1
$V_{\text{ср}}, \text{м}/\text{с}$	0,53
$V_{\text{max}}, \text{м}/\text{с}$	0,72



№ вертикалей	Ур.л.б. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ур.п.б.	
Расстояние от пост. начала, м	10.0	30.0	50.0	70.0	90.0	110	130	150	170	190	210	230
Глубина, м	0.00	4.00	6.00	7.00	8.00	7.00	6.00	6.00	5.00	6.00	6.00	0.00
Скорости, м/с	0.00	0.36	0.69	0.72	0.72	0.64	0.53	0.45	0.46	0.42	0.28	0.00
Элементарный расход воды, м ² /с	0.00	1.44	4.12	5.04	5.80	4.48	3.20	2.70	2.28	2.52	1.68	0.00

Рисунок 2.1 Поперечный профиль реки.

Практическая работа №3

Тема: Определение нормы годового стока при наличии и недостаточности данных гидрометрических наблюдений.

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 СНИП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик» норма годового стока определяется по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (3.1)$$

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 (3.1), отличается от истинного среднего значения, т.е. рассчитывается с некоторой относительной средней квадратической ошибкой

$$d_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где C_v – коэффициент изменчивости (вариации) ряда годовых величин стока за n лет (формула 4.6).

Согласно 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 «коротким» и необходимо производить его приведение к многолетнему периоду с привлечением реки-аналога. Основные критерии подбора реки-аналога

$$R \geq 0,7; n' \geq 10, \quad (3.3)$$

где R – коэффициент корреляции между величинами стока исследуемой (расчетной) реки и реки-аналога (формула 3.6) n' – число лет совместных наблюдений.

Коэффициент корреляции R – мера тесноты связи между рассматриваемыми характеристиками (переменными) (формула 3.6). Частный коэффициент корреляции изменяется в пределах от -1 до 1 , чем ближе к единице, тем теснее связь.

Коэффициент автокорреляции $r(t)$ – характеризует связь ряда гидрологических величин с этим же рядом, сдвинутым на некоторый интервал времени t . Коэффициент автокорреляции позволяет судить о случайности и независимости значений характеристики ряда. Значения $r(t) \neq 0,2$ считаются несущественными.

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

Ход выполнения работы

Требуется определить годовой расход воды вероятностью превышения (P), равной 90%, с расчетом параметров кривой распределения методами наибольшего правдоподобия, моментов и графоаналитическим методом для р.Нача у с.Горовцы. Исходный ряд наблюдений дан в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Годовые расходы воды (Q_i) 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
$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	3	0,90	1,06	1,13	1,35	1,84	1,30	1,68	...	1,16	0,90	1,23

Используя матрицу коэффициентов корреляции (приложения), находится его максимальное значение, которое составило 0,82 для реки-аналога Западная Двина – г.Полоцк. Ряд наблюдений по реке-аналогу приведен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Годовые расходы воды (Q_i) р. Западная Двина у г.Полоцк за 1947-1981 гг.

№ члена ряда	1	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

Для продления короткого ряда наблюдений по исследуемой реке подсчитывается коэффициент корреляции и параметры уравнения регрессии (таблица 3.3). Используется два метода продления: аналитический (по уравнению регрессии) и графический (по графику связи).

Таблица 3.3 Определение коэффициента корреляции и параметров уравнения регрессии.

№ пп	Годы	Расходы воды, $\text{ м}^3/\text{с}$		$\Delta y = y_i - \bar{y}$	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	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				0,00	0,00	4,317	133465,79	585,953
Среднее		1,32	316					

Определяются средние квадратические отклонения рядов:

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{133465,79}{18}} = 86,11; \quad (3.4)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,317}{18}} = 0,49. \quad (3.5)$$

Коэффициент корреляции

$$R = \frac{\sum [(y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x})]}{\sqrt{\sum Dx^2 \cdot \sum Dy^2}} = \frac{585,953}{\sqrt{133465,79 \cdot 4,317}} = 0,772. \quad (3.6)$$

Вероятная ошибка коэффициента корреляции

$$E_p = \pm 0,674 \cdot \frac{1 - R^2}{\sqrt{n}} = \pm 0,674 \cdot \frac{1 - 0,772^2}{\sqrt{19}} = \pm 0,062. \quad (3.7)$$

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

$$K_{y/x} = R \cdot \frac{s_y}{s_x} = 0,772 \cdot \frac{0,49}{86,11} = 0,0044. \quad (3.8)$$

Уравнение прямой регрессии

$$(Q - \bar{Q}) = K_{y/x} \cdot (Q_A - \bar{Q}_A); (Q - 1,32) = 0,0044 \cdot (Q_A - 316,11); Q = 0,0044 \cdot Q_A - 0,07. \quad (3.9)$$

Далее строится график связи расходов исследуемой реки с расходами реки-аналога (рисунок 3.1).

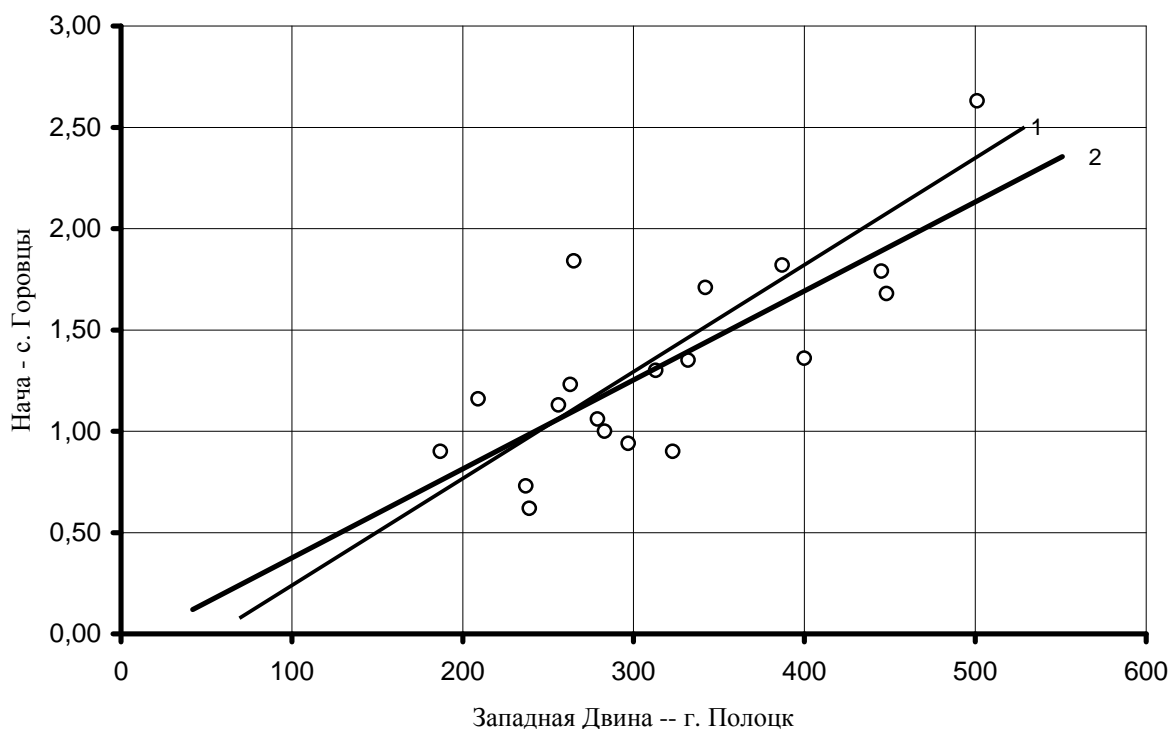


Рисунок 3. 1 Графики связи средних годовых расходов воды р.Западная Двина-г.Полоцк и р.Нача-с.Горовцы: 1 – графический метод; 2 – аналитический (по уравнению) метод.

Приведение исходного ряда к длительному периоду наблюдения осуществляется по двум методам (графическому и аналитическому). Результаты сводим в таблицу 3.4. При этом в графы 3 и 4 таблицы 3.4 просто переписываются наблюденные значения, а восстановленные *берутся в скобки*.

Восстановленные по уравнению значения расходов воды рассчитаны по формуле (3.9), а по графику – сняты с рисунка 3.1 с использованием расходов реки-аналога.

Согласно СниП 2.01.14-83 систематическое преуменьшение коэффициента вариации исключается путем дополнительного расчета погодичных значений Q_i' (графа 6 таблицы 3.4) по формуле

$$Q_i' = (Q_i - \bar{Q}_n) / R + \bar{Q}_n, \quad (3.10)$$

где Q_i – погодичные значения среднего годового расхода, рассчитанные по уравнению регрессии; \bar{Q}_n – норма годового стока для исследуемой реки, вычисленная за период совместных наблюдений с рекой-аналогом (в нашем примере $n'=19$); R – коэффициент корреляции, рассчитанный по формуле (3.6).

Например, для восстановленного значения за 1979 год получится:

$$Q_i' = (Q_i - \bar{Q}_n) / R + \bar{Q}_n = (1,07 - 1,32) / 0,772 + 1,32 = 1,00 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (3.11)$$

Таблица 3.4 Восстановленные и наблюдаемые расходы воды

№ пп	Годы	$Q_A, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$ (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		293,57	1,27	1,22	1,19

Для дальнейших расчетов принимается гидрологический ряд расходов из графы 6 таблицы 3.4. Норма стока при этом составит $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}$.

В выводе указывается полученная норма стока и делается анализ полученных результатов расчета.

Практическая работа №4

Тема: Определение статистических параметров вариационного стокового ряда и расчетных величин годового стока заданной вероятности превышения (обеспеченности).

Цель работы: Определить статистические параметры вариационного стокового ряда тремя методами, построить эмпирическую и теоретические кривые обеспеченности и 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 (формула 4.6).

Коэффициент асимметрии (C_s) – безразмерный статистический параметр, характеризующий степень несимметричности ряда рассматриваемой гидрометеорологической величины относительно ее среднего значения (формула 4.7).

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

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \% \quad (4.1)$$

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:

$$\text{при } P < 50\% \quad N = \frac{100}{P}; \quad (4.2)$$

$$\text{при } P > 50\% \quad N = \frac{100}{100 - P}. \quad (4.3)$$

Например, при $P=0,1\%$ соответствующий расход равен $Q_{0,1\%}=500\text{м}^3/\text{с}$. Следовательно, повторяемость такого или превышающего его расхода, будет 1 раз в 1000 лет.

Если по формуле (4.1) 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. Для этой цели используются *теоретические кривые распределения*: биномиальная асимметричная и трехпараметрического гамма-распределения.

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

При наличии длительных 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 (4.1). Рассчитываются модульные коэффициенты (k_i), а также ($\lg k_i$) и произведения ($k_i \cdot \lg k_i$). Результаты расчетов записываются в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 Параметры кривой распределения годового расхода воды (Q_i), рассчитанные методом наибольшего правдоподобия

№ члена ряда	Год	Q_i , м ³ /с	$Q_{iубыв.}$, 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	-0,059
34	1980	1,25	0,65	94,44	0,55	-0,260	-0,091
35	1981	1,25	0,62	97,22	0,52	-0,284	-0,111
Сумма		41,80			35,12	-0,808	0,927
Среднее		1,19					

По данным таблицы 4.1 на клетчатку вероятности (выдается преподавателем) (рисунок 4.1) наносятся эмпирические точки (графы 4 и 5 таблицы 4.1), и строится сглаженная эмпирическая кривая обеспеченности.

Определяется среднее многолетнее значение расхода воды

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{41,80}{35} = 1,19 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.4)$$

$$\text{затем вычисляются суммы } \sum_{i=1}^n \lg k_i = -0,808, \sum_{i=1}^n k_i \lg k_i = 0,927. \quad (4.5)$$

Для вычисления статистик I_2 и I_3 используются формулы

$$I_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1} = \frac{-0,808}{34} = -0,024; \quad I_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot \lg k_i}{n-1} = \frac{0,927}{34} = 0,027. \quad (4.6)$$

По специальным номограммам [2], в соответствии с вычисленными статистиками (I_2) и (I_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 4.2.

При попадании точки пересечения значений (I_2) и (I_3) вне номограммы, используют лишь значение (I_2), принудительно опускается это значение на кривую $C_s=2C_V$, и на пересечении находится значение C_V .

Таблица 4.2 Ординаты аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения

Р, %	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
$Q_p, \text{ м}^3/\text{с}$	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 4.2 строится аналитическая кривая распределения, по которой определяются искомые значения расходов воды годового стока заданной вероятности превышения (рисунок 4.1). Делается вывод о соответствии построенной теоретической кривой распределения эмпирическим точкам (кривой).

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

$$s_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,09\%; \quad (4.7)$$

$$s_{C_V} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_V^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (4.8)$$

Метод моментов

Применяется при изменчивости годового стока $C_V \leq 0,50$. Расчет статистических параметров производим в порядке, указанном в таблице 4.3.

По результатам расчетов (таблица 4.3) определяются суммы: $\sum_{i=1}^{35} (k_i - 1)^2 = 4,368$,

$\sum_{i=1}^{35} (k_i - 1)^3 = 1,845$; вычисляются смещенные значения коэффициентов вариации (\tilde{C}_V),

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

$$\tilde{C}_V = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n-1}} = \sqrt{4,368 / (35-1)} = 0,36; \quad (4.9)$$

$$\tilde{C}_S = \frac{n \cdot \sum (K_i - 1)^3}{C_V^3 \cdot (n-1) \cdot (n-2)} = \frac{35 \cdot 1,845}{0,36^3 \cdot 34 \cdot 33} = 1,16; \quad (4.10)$$

$$\tilde{C}_S / \tilde{C}_V = \frac{1,16}{0,36} \approx 3,0; \quad (4.11)$$

Таблица 4.3 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	6	7	8	9	10
1	1947	0,90	2,63	2,78	2,20	1,20	1,440	1,728
2	1948	1,06	1,84	5,56	1,54	0,54	0,292	0,157
3	1949	1,13	1,82	8,33	1,52	0,52	0,270	0,141
...
33	1979	1,00	0,72	91,67	0,60	-0,40	0,160	-0,064
34	1980	1,25	0,65	94,44	0,54	-0,46	0,212	-0,097
35	1981	1,25	0,62	97,22	0,52	-0,48	0,230	-0,111
Сумма		41,80			35,01		4,368	1,845

Если полученное соотношение $\tilde{C}_S / \tilde{C}_V$ менее 2,0, то для дальнейших расчетов принимается – $\tilde{C}_S / \tilde{C}_V = 2,0$.

$$s_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,09\%; \quad (4.12)$$

$$s_{C_V} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_V^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (4.13)$$

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 таблице 4.1 [2] для соотношения $C_S/C_V=3$ и коэффициента автокорреляции $r(1)=0$:

$$\begin{aligned} C_V &= \left(a_1 + \frac{a_2}{n}\right) + \left(a_3 + \frac{a_4}{n}\right) \cdot \tilde{C}_V + \left(a_5 + \frac{a_6}{n}\right) \cdot \tilde{C}_V^2 = \\ &= \left(0 + \frac{0,69}{35}\right) + \left(0,98 - \frac{434}{35}\right) \cdot 0,36 + \left(0,01 + \frac{6,78}{35}\right) \cdot 0,36^2 = 0,35; \quad (4.14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_S &= \left(b_1 + \frac{b_2}{n}\right) + \left(b_3 + \frac{b_4}{n}\right) \cdot \tilde{C}_S + \left(b_5 + \frac{b_6}{n}\right) \cdot \tilde{C}_S^2 = \\ &= \left(0,03 + \frac{2,00}{35}\right) + \left(0,92 - \frac{5,09}{35}\right) \cdot 1,16 + \left(0,03 + \frac{8,10}{35}\right) \cdot 1,16^2 = 1,35; \quad (4.15) \end{aligned}$$

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 4.4) по таблице К.1 [2].

По данным таблицы 4.4 на клетчатке вероятности строится аналитическая кривая биномиального распределения модулей годового стока (рисунок 4.1), с которой снимаются искомые значения годового стока заданной вероятности превышения. Анализируется соответствие построенной теоретической кривой эмпирической.

Таблица 4.4 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
$Q_p=K_p \bar{Q}$, м ³ /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 4.1 (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 4.5.

Таблица 4.5 Параметры кривой распределения годового стока, рассчитанные графоаналитическим методом

Расходы воды в м ³ /с									
$Q_{5\%}$	$Q_{50\%}$	$Q_{95\%}$	S	C_S	$\Phi_{5\%}-\Phi_{95\%}$	σ	$\Phi_{50\%}$	$\sigma \cdot \Phi_{50\%}$	C_V
2,00	1,13	0,64	0,246	1,00	3,20	0,43	-0,16	0,069	0,36

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

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}} = \frac{2,00 + 0,64 - 2 \cdot 1,13}{2,00 - 0,64} = 0,279. \quad (4.16)$$

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

$$s = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}} = \frac{2,00 - 0,64}{3,20} = 0,43; \quad \bar{Q} = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \cdot s = 1,13 - (-0,16 \cdot 0,43) = 1,20 \text{ м}^3/\text{с}; \quad (4.17)$$

$$C_V = s / \bar{Q} = 0,43 / 1,20 = 0,36. \quad (4.18)$$

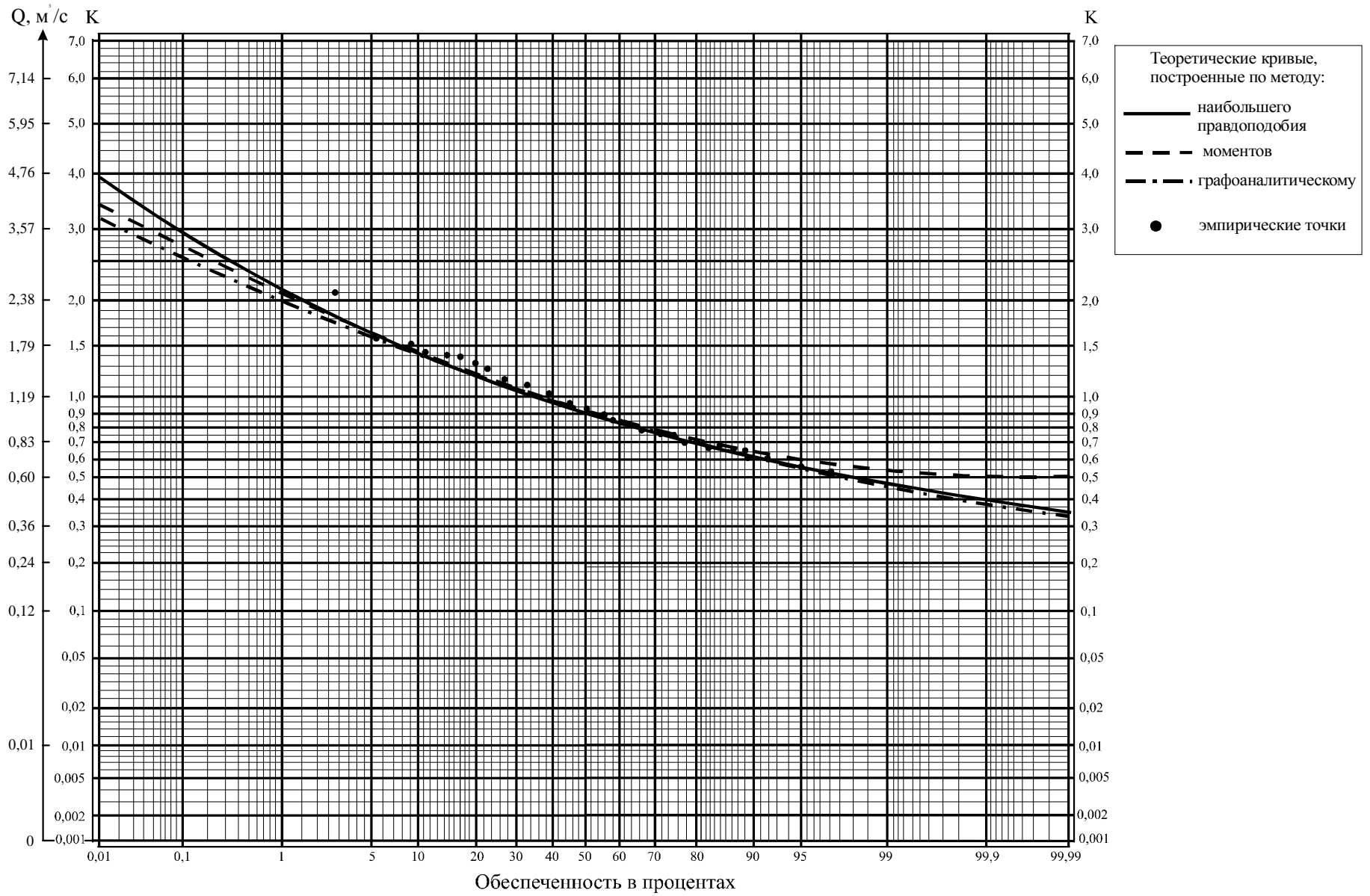


Рисунок 4.1 Кривые распределения годового стока р.Нача-с.Горовцы..

Весь ход вычисления оценок параметров аналитической кривой распределения графоаналитическим методом отражен в таблице 4.5.

По параметрам $\bar{Q} = 1,20 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,36$, $C_s = 1,00$ рассчитываются ординаты аналитической кривой обеспеченности биномиального распределения стока (таблица 4.6), которые наносятся на клетчатку вероятности.

Таблица 4.6 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
Φ_p	5,96	4,53	3,02	1,88	1,34	0,55	-0,16	-0,73	-1,32	-1,59	-1,79
$K_p = \Phi_p C_v + 1$	3,15	2,63	2,09	1,68	1,48	1,20	0,94	0,74	0,52	0,43	0,36
$Q_p = K_p \bar{Q}$, $\text{м}^3/\text{с}$	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.

$$s_{\bar{Q}} = \pm \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100 = \pm \frac{0,36}{\sqrt{35}} \cdot 100 = \pm 6,04\%; \quad (4.20)$$

$$s_{C_v} = \pm \sqrt{\frac{3}{2n \cdot (3 + C_v^2)}} \cdot 100 = \pm \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 35 \cdot (3 + 0,36^2)}} \cdot 100 = \pm 11,70\%. \quad (4.21)$$

Вывод.

На клетчатке вероятности видно (рисунок 4.1), что наилучшее соответствие точек эмпирических и теоретических кривых наблюдается у кривой трехпараметрического гамма-распределения при $C_v = 0,36$ и $C_s = 4C_v$. Поэтому определяем расход заданной обеспеченности по теоретической кривой, построенной по методу наибольшего правдоподобия $Q_{90\%} = 0,74 \text{ м}^3/\text{с}$. 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 №5

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

Цель работы: 1) Рассчитать норму годового стока воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

2) Определить расход заданной вероятности превышения.

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 статистическим параметрам кривых распределения \bar{q}_o , C_v и C_s или C_s/C_v . При этом \bar{q}_o 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, регламентируемой формулой

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

где \bar{q}_o – 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 [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 для биномиального распределения.

Среднее многолетнее значение стока (\bar{q}_o) 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

$$q_o^{карт} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{oi} \cdot A_i}{A}, \quad (5.2)$$

где $q_{o1}, q_{o2}, \dots, q_{oi}, \dots, q_{on}$ – 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.

Ход выполнения работы

Рассмотрим ход выполнения работы на конкретном примере.

а) Требуется определить среднегодовой расход воды обеспеченности 95% р. Саморувки у д. Зарудье. Площадь водосбора – 74 км². координаты центра водосбора: 25°32'; 52°10'.

Расчет производится в следующем порядке:

1) по картам изолиний (*приложение Л, П*) определяются значения нормы годового стока и коэффициент вариации: $\bar{q}_o = 3,6 \text{ л/сжм}^2$, $C_v = 0,39$; соотношение (C_s/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 ($k_{95\%} = 0,460$);

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

$$Q_{95\%} = 3,674 \times 0,460 \times 10^{-3} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.3)$$

В выводе дается обоснование полученных результатов расчетов.

Практическая работа №6

Тема: Внутригодовое распределение стока.

Цель работы: 1) Рассчитать внутригодовое распределение стока методом реального года.

Краткие сведения из теории

Для расчета внутригодового стока воды при наличии данных гидрометрических наблюдений за период не менее 15 лет применяются согласно СНИП 2.01.14-83:

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

Внутригодовое 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.

Ход выполнения работы

Для расчета внутригодового 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 внутригодовое 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 май-март (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 6.1 Суммы средних месячных расходов р.Нача у с.Горовцы за сезоны и год, м³/с.

Водохозяйственный год	Весна (III-V)	Лето-осень (VI-IX)	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 6.1, 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 6.2, куда выписываются суммы средних месячных расходов воды за год и лимитирующий период (се-

зоны) в убывающем порядке. В графу 8 таблицы 6.2 записывается вычисленная по формуле (4.1) эмпирическая обеспеченность.

Таблица 6.2 Сумма средних месячных расходов р.Нача у 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	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 6.2, приходим к выводу, что наиболее близким к очень маловодному году является 1959-1960 водохозяйственный год (выделенный в таблице 6.2), 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 6.3. Используя внутригодовое распределение стока реального года (таблица 6.3), получено внутригодовое распределение стока для расходов заданной обеспеченности (таблица 6.4).

Полученное значение расхода заданной обеспеченности $Q_{90\%} = 0,74 \text{ м}^3 / \text{с}$, 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 6.3, получаем для III (марта) месяца значение $X = \frac{8,88 \cdot 31,9}{100} = 2,83 \text{ м}^3 / \text{с}$, которое заносим в таблицу 6.4. Продолжая расчет таким образом, получают необходимые данные для составления таблицы 6.4.

Таблица 6.3 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 6.4 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

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

Практическая работа №7

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

Цель работы: 1) 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

$$V = f(H), F = f_1(H), h_{cp} = f_2(H), \quad (7.1)$$

где V — объем воды при уровне H , м³; F — площадь водного зеркала при уровне H ; h_{cp} — средняя глубина водохранилища, 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. 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 7.1 (F_i).

Первый от начальной плоскости элементарный объем определяется по формуле усеченного параболоида

$$DV_{1,2} = \frac{2}{3} \cdot (F_1 + F_2) \cdot DH_{1,2}. \quad (7.2)$$

Последующие объемы для любого значения H находятся по формуле

$$DV_{i,i+1} = 0,5 \cdot (F_i + F_{i+1}) \cdot DH_{i,i+1}, \quad (7.3)$$

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

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

Далее все вычисления сводим в таблицу 7.1. По результатам таблицы строятся графики зависимости $V = f(H)$, $F = f(H)$, $h_{cp} = f(H)$ — рисунок 7.2.

После определения мертвого и полезного объемов (пр. работы №8,9) на графики (рис.7.2) наносятся отметки уровня мертвого объема (УМО) и нормального подпорного уровня (НПУ).

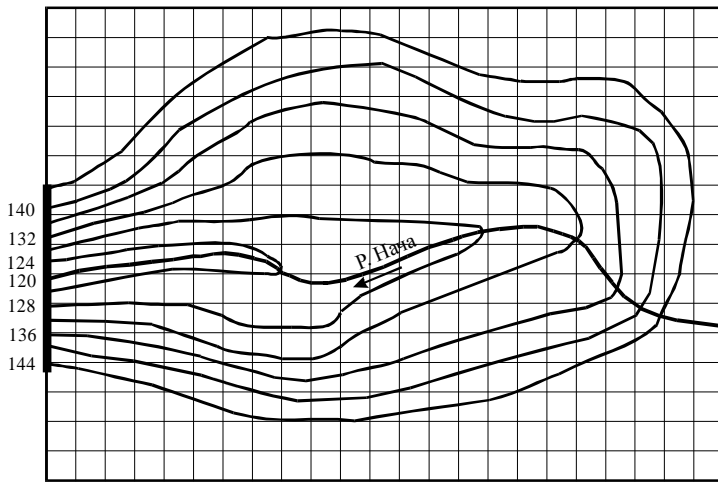


Рисунок 7.1 Топографические условия района строительства водохранилища М1:20 000 (сечение горизонталей 4 м).

Таблица 7.1 Определение данных к построению характеристик водохранилища.

H_i , м	ΔH_i , м	F_i , млн.м ²	$F_{ср}$, млн.м ²	ΔV_i , млн.м ³	V_i , млн.м ³	$h_{ср}$, 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

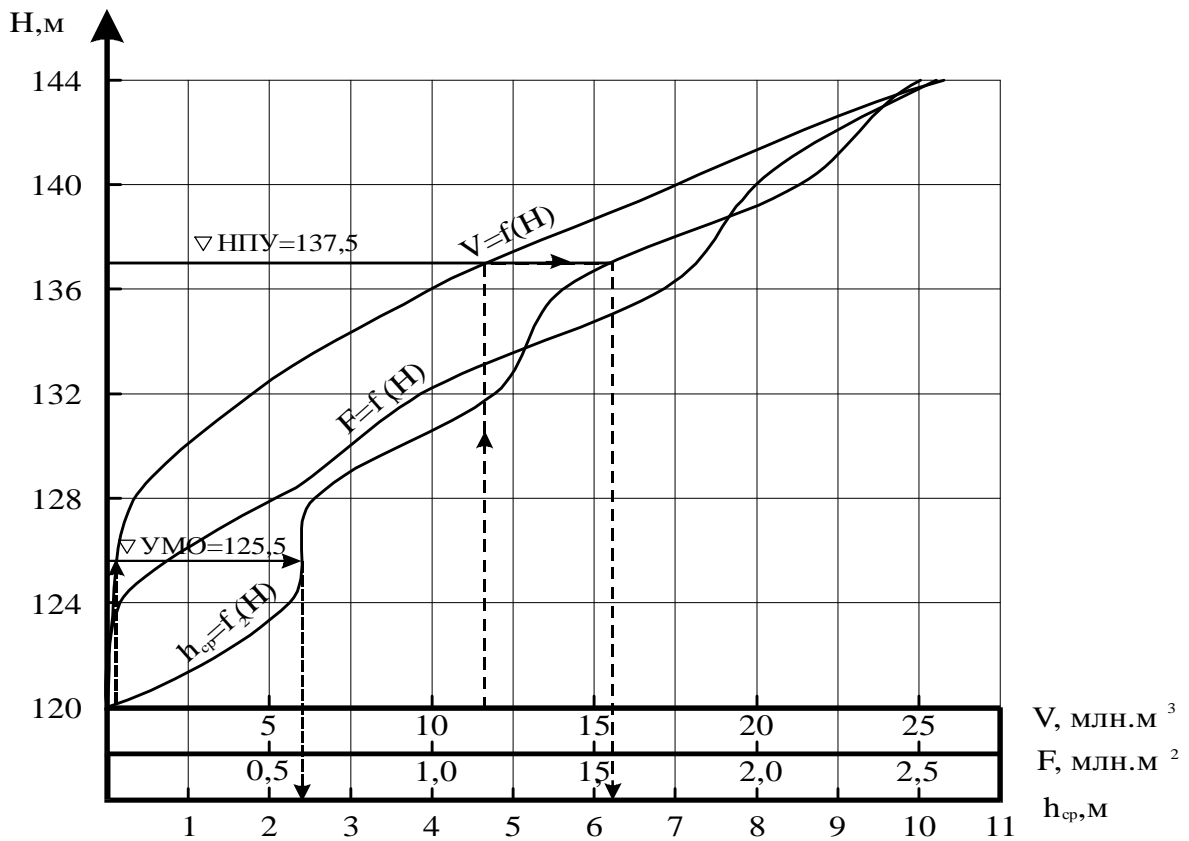


Рисунок 7.2 Характеристики водохранилища.

Практическая работа №8

Тема: Определение мертвого объема и потерь воды из водохранилища. Расчет потерь воды из водохранилища.

Цель работы: 1) Определить мертвый объем водохранилища и отметку УМО.

2) Рассчитать потери воды из водохранилища на фильтрацию и испарение.

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 1,5-2,0м.

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

$$V_{н.год.} = 31,5 \cdot \bar{r} \cdot \bar{Q} \cdot g^{-1} = 31,5 \cdot 55 \cdot 1,19 \cdot 1 = 2061,68 \text{ м}^3, \quad (8.1)$$

где $\bar{Q} = 1,19 \text{ м}^3 / \text{с}$ – норма годового стока для реки Нача у с.Горовцы (см. практическую работу №4); \bar{r} — норма годовой мутности, г/м^3 (из задания на курсовое проектирование); g — объемный вес наносов, в работе принимается равным $1,0 \text{ т/м}^3$.

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

$$V' = V_{н.год.} \cdot T = 2061,68 \cdot 105 \approx 0,216 \text{ млн. м}^3. \quad (8.2)$$

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

$$V_{н.б.} = 0,05 \cdot V' = 0,05 \cdot 0,216 = 0,01 \text{ млн. м}^3. \quad (8.3)$$

Тогда полный объем заиления составит

$$V = V' + V_{н.б.} = 0,216 + 0,01 \approx 0,23 \text{ млн. м}^3. \quad (8.4)$$

Далее по рисунку 7.2 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. $V = V_{MO} = 0,23 \text{ млн. м}^3$.

Примечание: если полученная глубина $h_{cp} < 2,0 \text{ м}$, то для определения мертвого объема

необходимо по глубине 2,0м, используя график средних глубин и объемов (рисунок 7.2) получить величину мертвого объема.

Далее на рисунок 7.2, 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=125,5м.

Потери из водохранилища

Потери на испарение

В работе определяем потери воды на испарение и фильтрацию.

Суммарная за год величина слоя дополнительного испарения определяется по формуле

$$Z_{дон} = Z_e - X \cdot (1 - a_c) = 575 - 720 \cdot (1 - 0,35) = 107 \text{ мм}, \quad (8.5)$$

где Z_e и X – испарение с водной поверхности и норма осадков для района проектирования, соответственно (таблица 8.1), мм; a_c – коэффициент стока (в работе принимается равным 0,35).

Таблица 8.1 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

Значения испарения по месяцам устанавливаем, имея процентное распределение по месяцам (таблица 8.2), которое в работе принимается одинаковым для всех районов.

Таблица 8.2 Значения испарения по месяцам года.

Месяцы	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сумма
$Z_{доп}$, %	-8	4	10	18	26	24	16	8	2	100
$Z_{доп}$, мм	-8,56	4,28	10,7	19,26	27,82	25,68	17,12	8,56	2,14	107

Процент со знаком минус в марте указывает на то, что расчетное испарение в марте не дает потерь (конденсация). 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 применяются потери на фильтрацию – 12% в год или 1% в месяц от наличного объема воды в водохранилище.

Практическая работа №9

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

В практической работе 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 9.1.

Исходные данные для расчета (приток W и потребление Sq) рассчитываем следующим образом. Имея внутригодовое распределение стока (таблица 6.4), умножается значение каждого месячного расхода ($\text{м}^3/\text{с}$) на количество секунд в месяце (2592000) и получается приток W за месяц. Например, для III месяца $W = 2,83 \cdot 2592000 = 7335360 \text{ м}^3 = 7,34 \text{ млн. м}^3$. Далее, рассчитанная сумма притока за год (23,00 млн.м³), 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 Sq). Далее находится разница между притоком и потреблением и записывается в графы 4 и 5 (в зависимости от знака).

Дальнейший расчет ведется *построчно*. Записывается мертвый объем (0,23) в графы 6 и 13 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 8.2. Определяются потери на испарение по формуле $W_z = (Z_{дон} \cdot F) / 1000 = (0 \cdot 0,38) / 1000 = 0,00$. 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 при-

бавляются суммарные потери в графе 12 и записываются в графу 13: $1,54+0,01=1,55$. И так далее до получения максимального значения величины $V_{ок}$.

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

$$R = V_{ок} + (W - \sum q) - V_{max\ раб.} - W_n. \quad (9.1)$$

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

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

По результатам расчета проводится проверка

$$\sum W = \sum q + \sum W_n + \sum R \quad (9.2)$$

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

$$23,00 = 23,00$$

и рассчитывается полезный объем водохранилища

$$V_{плз} = V_{плн} - V_{мо} = 12,03 - 0,23 = 11,80 \text{ м}^3. \quad (9.3)$$

Далее по рисунку 7.2 определяется, что отметка НПУ=137,5м.

Таблица 9.1 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	Погребление, Σq	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		
IV	11,64	1,44	10,20		12,03	9,07	1,26	4	0,01	0,09	0,10	6,11	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	12,03	
VII	0,18	1,44		1,26	9,65	10,40	1,37	28	0,04	0,10	0,14	11,17	
VIII	0,05	1,44		1,39	8,17	8,96	1,17	26	0,03	0,09	0,12	9,77	
IX	0,05	1,44		1,39	6,71	7,48	0,97	17	0,02	0,07	0,09	8,26	
X	0,10	1,44		1,34	5,32	6,04	0,84	9	0,01	0,06	0,07	6,78	
XI	0,21	1,44		1,23	4,06	4,71	0,77	2	0,00	0,05	0,05	5,37	
XII	0,29	1,44		1,15	2,89	3,49	0,72	0	0,00	0,03	0,03	4,09	
I	0,10	1,44		1,34	1,54	2,22	0,63	0	0,00	0,02	0,02	2,91	
II	0,13	1,44		1,31	0,23	0,89	0,38	0	0,00	0,01	0,01	1,55	
												0,23	
Σ	23,00	17,28									0,94		4,78

Литература

1. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. – М.: Стройиздат, 1985. – 35с.
2. Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83 "Определение расчетных гидрологических характеристик". – Минск, 2000 – 220с.
3. 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.
4. 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 Лукаша
Татьяна Евгеньевна Мозоль

Методические указания

к выполнению практических заданий и курсовой работы по курсу

"Гидрология и регулирование стока"

для студентов очной и заочной формы обучения специальности Т.19.06

«Водоснабжение, водоотведение, очистка природных и сточных вод».

Ответственный за выпуск *Лукаша В.В.*

Редактор *Строкач Т.В.*

Подписано к печати Офсетная печать. Бумага писчая. Формат
60x84/16. Уч.изд.л Усл.печ.л. Заказ Тираж
Отпечатано на ризографе Брестского государственного технического
университета. 224017, Брест, ул.Московская, 267.