

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный
университет» (ННГАСУ)

Кафедра гидравлики

Расчет максимальных расходов воды водотоков

Методические указания к выполнению курсовой работы по гидрологии для
студентов специальности 270104.65 – Гидротехническое строительство и
проведения практических занятий специальности 270205.65 –
Автомобильные дороги и аэродромы

Нижегород – 2011

УДК 556.16 (088.74)

Расчет максимальных расходов воды водотоков. Методические указания. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит. – строит.ун-т, 2011–29 с.

Методические указания предназначены для студентов специальности 270104.65 – Гидротехническое строительство и специальности 270205.65 – Автомобильные дороги и аэродромы. В указаниях приводится методика определения максимальных расходов воды водотоков по СП 33-101-2003.

Составитель: Битюрин А.К.

Агеева В.В.

Рецензент: Гоголев Е.С.

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Содержание

Введение.....	4
1. Основные термины и гидрологические характеристики	5
2. Общие положения	8
3. Максимальные расходы при наличии данных гидрометрических наблюдений	9
3.1. Расчет методом наибольшего правдоподобия	11
3.2. Расчет методом моментов	16
3.2.1. Основной метод моментов	16
3.2.2. Упрощенный метод моментов.....	19
3.3. Расчет графоаналитическим методом	20
4. Максимальные расходы при недостаточности данных гидрометрических наблюдений	22
5. Приведение короткого ряда наблюдений к длительному периоду.....	22
5.1. Графический метод	23
5.2. Коррелятивный метод	24
Литература.....	28

Введение

Гидрологические данные необходимы для принятия проектных решений, которые обеспечат стабильное функционирование проектируемого сооружения.

На основе инженерно-гидрологических изысканий определяются условия, при которых выполняются главные требования, предъявляемые к объекту строительства, его устойчивость и долговечность. Кроме того, большое количество факторов использования результатов гидрологических изысканий и выявленных в ходе исследования гидрологических характеристик местности обуславливают важность применения инженерно-гидрологических изысканий при грамотном проектировании строительства. Это делает проведение гидрологических изысканий значимым не только на этапах разработки объекта и выполнения строительных работ, но и во время эксплуатации сооружения.

Учебным планом специальности 270104.65 «Гидротехническое строительство» предусмотрено выполнение курсовой работы по дисциплине «Инженерная гидрология» и практические занятия по этой же дисциплине специальности 270205.65 «Автомобильные дороги и аэродромы».

Настоящие методические указания предназначены для студентов этих специальностей.

Указания составлены на основании свода правил СП 33-101-2003, одобренным для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26.12. 2003 г.

При составлении настоящих методических указаний использованы методические указания прошлых лет кандидатов технических наук, доцентов ГИСИ им. В.П. Чкалова В.Н. Козина и А.Л. Сучкина.

1. Основные термины и гидрологические характеристики

В настоящих методических указаниях использованы следующие термины:

Гидрологические расчеты -раздел инженерной гидрологии, в задачи которого входит разработка методов, позволяющих рассчитать значения различных характеристик гидрологического режима.

Гидрологические характеристики -количественные оценки элементов гидрологического режима.

Клетчатка вероятностей -специальные клетчатки с прямоугольной системой координат, построенные таким образом, что на них спрямляются (полностью или частично) различные кривые обеспеченности.

Методы гидрологических расчетов -технические приемы, позволяющие рассчитать, обычно с оценкой вероятности их появления, значения различных характеристик гидрологического режима.

Обеспеченность гидрологической характеристики -вероятность того, что рассматриваемое значение гидрологической характеристики может быть превышено среди совокупности всех возможных ее значений.

Расчетная обеспеченность -обеспеченность гидрологической характеристики, принимаемая при строительном проектировании для установления значения параметров гидрологического режима, определяющих проектные решения.

Расчетный расход воды -расход воды заданной вероятности превышения, принимаемый в качестве исходного значения для определения размеров проектируемых сооружений.

Влагоотдача снежного покрова -процесс поступления на поверхность почвы избыточной (не удерживаемой снегом) гравитационной талой или дождевой воды.

Время добегания -время, в течение которого водная масса проходит заданное расстояние.

Запас воды в снежном покрове - общее количество воды в твердом и жидком состоянии, содержащееся в рассматриваемый момент времени в снежном покрове.

Интенсивность дождя - слой осадков, выпадающих за единицу времени, мм.

Интенсивность снеготаяния - количество воды, образующееся в процессе таяния снега в единицу времени, мм.

Коэффициент редукции - коэффициент, характеризующий интенсивность изменения (убывания) какого-либо одного значения с изменением другого, связанного с ним значения.

Объем стока - количество воды, протекающее через рассматриваемый створ водотока за какой-либо период времени (чаще всего год).

Редукция интенсивности дождя - изменение (убывание) средней интенсивности дождя с увеличением его продолжительности.

Редукция максимального модуля стока - изменение (убывание) максимального модуля стока с увеличением площади водосбора.

Уклон водной поверхности - отношение разности отметок уровня воды на рассматриваемом участке к длине этого участка.

Водохозяйственный год - расчетный годичный период, начинающийся с самого многоводного сезона.

Лимитирующий период - часть водохозяйственного года, неблагоприятная для осуществления проектируемых мероприятий либо по водопотреблению и водопользованию, либо по борьбе с наводнениями и осушению болот.

Нелимитирующий период - часть водохозяйственного года за вычетом лимитирующего периода.

Свободное состояние русла - состояние русла, характеризующееся отсутствием препятствий (ледяных образований, водной растительности,

сплавного леса и т.д.), которое влияет на зависимость между расходами и уровнями, а также отсутствием подпора.

Подпор воды - повышение уровня воды из-за наличия в русле препятствия для ее движения.

Соответственные уровни воды - уровни воды на двух гидрологических постах, относящиеся к одинаковым фазам уровенного режима, - гребням резко выраженных подъемов или самым низким точкам.

Гидрограф - график изменения во времени расходов воды за год или часть года (сезон, половодье или паводок) в данном створе водотока.

К основным гидрологическим характеристикам относятся [1, с.4], [3, с. 89]:

Расход воды Q , м³/с – количество воды, протекающее через живое сечение потока в единицу времени.

$$Q = \frac{W}{T} \quad (1.1)$$

Объем стока воды W , м³ – количество воды, протекающее через живое сечение потока за определенный период времени T (год).

$$W = Q \cdot T \quad (1.2)$$

Модуль стока воды q , м³/(с·км²) – количество воды, стекающее с единицы площади водосбора в единицу времени:

$$q = \frac{Q}{A}, \quad (1.3)$$

где A – водосборная площадь, км².

Слой стока h_y , мм – высота слоя воды, стекающей с водосбора за какой-либо промежуток времени, полученная при равномерном распределении объема стока W по всей площади водосбора

$$h_y = \frac{W}{A} = Q \cdot \frac{T}{A} \quad (1.4)$$

Слой стока, выраженный через среднегодовое количество стока

$$h_y = Q \cdot \frac{T}{A} = \frac{31,56 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{10^6 \cdot 10^3} \cdot q = 31,56 \cdot q, \quad (1.5)$$

где в числителе $31,56 \cdot 10^6 \cdot 10^3$ - переводное число m в $мм$, в знаменателе 10^3 - переводное число m^3 в $л$ и в знаменателе 10^6 - перевод $км^2$ в $м^2$.

Коэффициент стока η – отношение высоты слоя стока $h_{yк}$ высоте слоя выпавших на площадь водосбора осадков X за рассматриваемый период времени

$$\eta = \frac{h_y}{X}. \quad (1.6)$$

Это безразмерная характеристика показывает, какая часть осадков расходуется на образование стока.

Годовой сток – количество воды, стекшее с данного бассейна за год.

Норма стока – среднее значение годового стока за многолетний период длительностью 40 ... 60 лет. Норма годового стока выражается в виде среднегодовых значений расхода воды \bar{Q} ($м^3/с$), объема стока \bar{W} ($м^3$), модуля стока \bar{q} [$м^3/(с \cdot км^2)$], слоя стока \bar{h}_y ($мм$).

2. Общие положения

Одной из основных задач, возникающих при проектировании водопропускных сооружений гидроузлов и искусственных сооружений на автомобильных дорогах, является установление величины максимального водотока. Этот расход определяет тип сооружения, его конструкцию и, соответственно, стоимость.

При определении расчетных максимальных расходов воды устанавливается их происхождение. По своему генетическому происхождению максимальные расходы подразделяются на половодные максимальные расходы, возникающие от таяния снегов, максимальные расходы от дождевого паводка и смешанные, образующиеся от совместного действия снеготаяния и дождей.

За расчетные следует принимать максимальные расходы воды того происхождения, при котором создаются наиболее неблагоприятные условия работы сооружений.

Определение таких расходов основывается на данных гидрометеорологических наблюдений, публикуемых в официальных документах государственного комитета по гидрометеорологии.

При определении расчетных максимальных расходов применяются следующие методики расчетов [1]:

а) при наличии данных гидрометрических наблюдений – непосредственно по этим данным;

б) при недостаточности данных гидрометрических наблюдений – приведением их к многолетнему периоду по данным рек – аналогов с более длительными рядами наблюдений;

в) при отсутствии данных гидрометрических наблюдений – по формулам и картам.

В настоящих указаниях рассматриваются две первых методики.

3. Максимальные расходы при наличии данных гидрометрических наблюдений

Расчет максимальных расходов воды производится на основании теоретической кривой распределения ежегодных вероятностей превышения.

Для построения этой кривой продолжительность периода наблюдений считается достаточной, если рассматриваемый период *репрезентативен* (представителен), а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает 10% для годового и сезонного стоков и 20% - для максимального и минимального стоков [1, с. 4].

По данным [2, с. 98] период считается *репрезентативным*, если длина ряда составляет для весенних половодий не менее 20 лет и для дождевых паводков не менее 50 лет.

Если относительные средние квадратические погрешности превышают указанные допустимые пределы и период наблюдений непрезентативен, необходимо осуществить приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду согласно разделу 6 Свода правил [1].

Величина относительной средней квадратической ошибки вычисляется по формуле [4, с. 6]:

а) для средней многолетней величины рядов

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

б) для коэффициента вариации (изменчивости), определяемого методом моментов

$$\varepsilon_{C_V} = \sqrt{\frac{1+C_V^2}{2n}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

то же методом наибольшего правдоподобия

$$\varepsilon_{C_V} = \sqrt{\frac{3}{2n(3+C_V^2)}} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где C_V – коэффициент вариации, n – число лет наблюдений.

Эмпирическая ежегодная вероятность превышения P_m расходов воды определяется зависимостью [1, с. 4]:

$$P_m = \frac{m}{n+1} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

где m – порядковый номер членов ряда расхода, расположенного в убывающем порядке; n – общее число членов ряда.

Эмпирические и теоретические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды строятся на клетчатках вероятностей, которые выпрямляют кривые [4, с. 7].

Тип клетчатки вероятностей выбирается в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии C_S и коэффициента вероятности C_V .

Теоретическая кривая распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов сглаживает эмпирическую кривую и дает возможность *экстраполировать* последнюю, а этим самым определять расходы для вероятностей превышения, не освещенных эмпирическими точками.

Ординаты теоретической кривой распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды, как правило, находятся *методом наибольшего правдоподобия* (трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля [1, с. 5]) при любом соотношении C_S/C_V .

Принадлежащем обосновании при $C_S > C_V$ допускается ординаты вычислять *методом моментов* (биномиальная кривая распределения) [4, с. 7].

Определение этих ординат для указанных методов требует вычисление следующих трех параметров:

1. \bar{Q} – среднего арифметического (среднего многолетнего) значения максимального расхода воды;
2. C_V – коэффициента вариации (изменчивости);
3. C_S – коэффициента асимметрии.

3. 1. Расчет методом наибольшего правдоподобия

Коэффициент вариации C_V и коэффициент асимметрии C_S для *трехпараметрического гамма-распределения* определяется методом наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам [1, с. 5], [4, с. 8]:

$$\lambda_2 = (\sum \log k_i)/(n-1), \quad (3.5)$$

$$\lambda_3 = (\sum k_i \log k_i)/(n-1), \quad (3.6)$$

где k_i - модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической характеристики, определяемый по зависимости

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (3.7)$$

здесь Q_i – годовые значения расходов воды, \bar{Q} – среднее арифметическое значение максимального расхода воды, определяемое в зависимости от числа лет наблюдений n :

$$\bar{Q} = \sum \frac{Q_i}{n}. \quad (3.8)$$

Расчет можно вести в табличной форме (табл. 1). Вспомогательные вычисления к определению статистик λ_2 и λ_3 заносятся в указанную таблицу.

Таблица 1
К определению статистик λ_2, λ_3

№ п/п	Год	Максимальные расходы в убывающем порядке $Q, \text{ м}^3/\text{с}$	Эмпирическая ежегодная вероятность превышения, P_m	Модульный коэффициент k_i	$\lg k_i$	$k_i \lg k_i$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	1931	1800	1,96	1,8	0,255	0,459
2	1908	1780				
3	1959	1630				
...
n	1930	390	98,04	0,33	-0,48	-0,159
		$\sum Q$		$\sum k_i = n$	$\sum \lg k_i$	$\sum k_i \lg k_i$

Для контроля правильности вычислений рекомендуется выполнить проверку по выражению

$$\sum k_i = n. \quad (3.9)$$

По вычисленным значениям статистик λ_2 и λ_3 по номограммам [3, прилож. 3], [6, прилож. 1] определяются коэффициенты вариации C_V и асимметрии C_S .

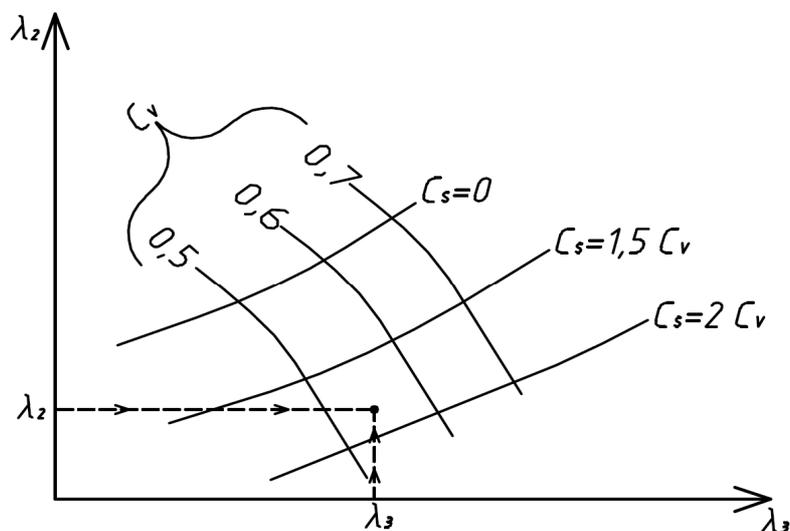


Рисунок 1 - К определению C_V, C_S

Ординаты кривой распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов $k_{p\%}$ выписываются из таблиц [2, прилож. 7.3, с. 301]; [3, прилож. , с. 455] и заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

Ординаты теоретической кривой трехпараметрического гамма-распределения максимальных расходов воды [2, прилож. 7.3, с. 302]

(для примера $C_V=0,54$ $C_S=2 C_V; \bar{Q}=1000 \text{ м}^3/\text{с}$)

Параметр	Обозначение	Ежегодная вероятность превышения P , %					
		0,01	0,1	1	10	...	99,9
Модульный коэффициент (ордината кривой распределения)	$k_{p\%}$	4,91	3,89	2,89	1,81	...	0,05
Максимальный расход воды $Q_{p\%}$, $\text{м}^3/\text{с}$	$k_{p\%} \cdot \bar{Q}$	4910	3890	2890	1810	...	50

Для примера представлена таблица 3, взятая из [2, прилож. 7.3, с. 302].

Таблица 3

Ординаты кривых распределения вероятностей
трехпараметрического гамма-распределения при $C_S=2C_V$
будут следующие [3, с. 455], [2, с. 302]

P, %	$C_S=2 C_V$				
	$C_V=0,1$	$C_V=0,2$	$C_V=0,3$...	$C_V=1,2$
0,1	1,34	1,73	2,19	...	8,65
...
1,0	1,25	1,52	1,83	...	5,30
...
99,9	0,72	0,49	0,32	...	0,00

Здесь же определяются максимальные расходы воды различного процента вероятности:

$$Q_{p\%} = k_{p\%} \cdot \bar{Q}. \quad (3.10)$$

В зависимости от значения C_S/C_V выбирается клетчатка вероятностей.

Если $C_S/C_V \leq 2$ принимается клетчатка вероятностей с умеренной асимметричностью.

Если $C_S/C_V > 2$ принимается клетчатка со значительной асимметричностью.

На клетчатке вероятностей по данным таблицы 2 строится теоретическая кривая распределения (рис. 2).

На этом же рисунке изображаются эмпирические точки, (наблюденные) взятые из таблицы 1 (графа 4, 5).

Далее выполняется сопоставление теоретической кривой эмпирических точек.

Клетчатка вероятностей для кривых с умеренной асимметричностью

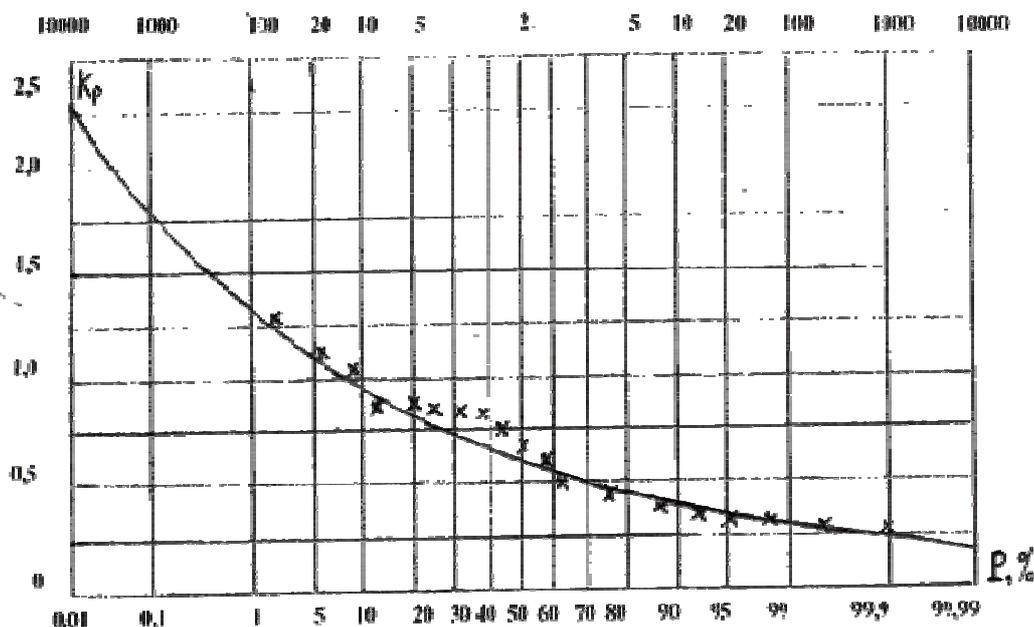


Рисунок2 - Кривая распределения ежегодных вероятностей
превышения максимальных расходов воды

- теоретическая кривая, xx – эмпирические (наблюденные) точки

Если теоретическая кривая распределения соответствует повторяемости эмпирическим значениям $K_p\%$, т.е. опытные точки легли возле кривой, то следует считать принятые параметры C_S и C_V для ее построения корректными, в случае несовпадения – необходимо выполнить перерасчет теоретической кривой, изменяя соотношение C_S/C_V .

В заключение подсчитываются величины относительных средних квадратических ошибок $\varepsilon_{\bar{Q}}$ и ε_{C_V} по формулам (3.1), (3.3).

$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_V}{\sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,54}{\sqrt{50}} \cdot 100\% = 7,6\%;$$

$$\varepsilon_{C_V} = \sqrt{\frac{3}{2n(3+C_V^2)}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{3}{2 \cdot 50 (3+0,54^2)}} \cdot 100\% = 9,5\%.$$

Так как их значения не превышают 10%, то расчет кривой распределения вероятностей на этом заканчивается, т.е. теоретическую кривую можно применять для вычисления максимального расхода любого процента вероятности превышения.

В случае невыполнения этого условия необходимо *продлить ряд* наблюдений расходов *графическим* или *коррелятивным* методами [5, с.24].

Приведение короткого ряда наблюдений к длительному периоду представлено в разделе 6 настоящих указаний.

3.2. Расчет методом моментов

3.2.1. Основной метод моментов

Расчетный коэффициент вариации C_V и коэффициент асимметрии C_S для трехпараметрического распределения методом моментов определяется по формулам [1, с.5], [4, с.13]:

$$C_V = (a_1 + a_2/n) + (a_3 + a_4/n) \cdot \widetilde{C}_V + (a_5 + a_6/n) \cdot \widetilde{C}_S; \quad (3.11)$$

$$C_S = (b_1 + b_2/n) + (b_3 + b_4/n) \cdot \widetilde{C}_S + (b_5 + b_6/n) \cdot \widetilde{C}_S^2, \quad (3.12)$$

где $a_1, \dots, a_6; b_1, \dots, b_6$ – коэффициенты, определяемые по приложению Б [1, с.59] в зависимости от значения C_S/C_V и коэффициента автокорреляции $r(I)$ между смежными членами ряда; \widetilde{C}_V и \widetilde{C}_S – соответственно смещенные коэффициенты вариации и асимметрии, определяемые по формулам [1, с.5]:

$$\widetilde{C}_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}; \quad (3.13.)$$

$$\widetilde{C}_S = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{\widetilde{C}_V^3 (n-1)(n-2)}, \quad (3.14)$$

где k_i – модульный коэффициент ($k_i = Q_i / \bar{Q}$).

Коэффициент автокорреляции $r(I)$ вычисляется по формуле [4, с.14], [1, с.59]:

$$r(I) = 0,01 + 0,98 \tilde{r}(I) - 0,06 \tilde{r}(I)^2 + [1,66 + 6,46 \tilde{r}(I) + 5,69 \tilde{r}(I)^2] \frac{1}{n}, \quad (3.15)$$

где $\tilde{r}(I)$ – смещенная оценка определяется зависимостью [1, с.59] [6, с. 24] [4, с.14]

$$\tilde{r}(I) = \frac{\sum_{i=2}^n (Q_i - \bar{Q}_1)(Q_{i-1} - \bar{Q}_2)}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (Q_i - \bar{Q}_1)^2 \sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_2)^2}} \quad (3.16)$$

$$\bar{Q}_1 = \frac{\sum_{i=2}^n Q_i}{n-1}; \bar{Q}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} Q_i}{n-1}. \quad (3.17)$$

Вспомогательные вычисления смещенных коэффициентов вариации и асимметрии рекомендуется вести в табличной форме табл. 4, в которой максимальные расходы воды записываются в убывающем порядке.

Таблица 4

К вычислению \tilde{C}_V и \tilde{C}_S

№ п/п	Год	Максимальные расходы воды Q , м ³ /с	Эмпирическая жеговая вероятность P_m , %	Модульный коэффициент k_i	$k_i - 1$	$(k_i - 1)^2$	$(k_i - 1)^3$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	1931	1800	1,96				
2	1908	1700					
3	1959	1600					
...
n	1930	300	98,04	0,33			
		ΣQ		$\Sigma k_i = n$	$\sum_{i=1}^n (k_i - 1)$	$\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2$	$\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3$

После определения коэффициента $r(I)$ выписываются значения коэффициентов $a1, \dots, a6, b1, \dots, b6$ и определяются \tilde{C}_V и \tilde{C}_S . Далее вычисляются коэффициенты вариации C_S и C_V по зависимостям (3.1) и (3.2).

Ординаты кривой распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды, выраженных в значениях модульных коэффициентов k_i [3, прилож.1],[2, с.301] и заносятся в таблицу 4.

Правильность расчета величин проверяется условием:

$$\sum^n (k_i - 1) = 0. \quad (3.18)$$

Эти же ординаты для *биномиального распределения* вычисляются по формуле [4, с.18]

$$k_{p\%} = \Phi_{p\%} \cdot C_V + 1, \quad (3.19)$$

где $\Phi_{p\%}$ - нормированное отклонение от среднего значения ординаты биномиальной кривой распределения, определяемое по таблице, составленной Фостером-Рыбкиным [2, с.305], $\Phi_{p\%} = f(p\%, C_S)$.

Результаты расчета сводятся в таблицу 5.

Таблица 5

Ординаты теоретической кривой биномиального распределения максимальных расходов воды

Параметр	Обозначение	Ежегодная вероятность превышения p , %						
		0,01	0,1	1	...	95	99	99,9
Отклонение ординаты кривой распределения от середины при $C_V=1$ и C_S равным вычисленному значению	$\Phi_{p\%}$							
Действительное отклонение ординаты от середины для расчетного C_V	$\Phi_{p\%} \cdot C_V$							
Модульный коэффициент $k_{p\%}$	$\Phi_{p\%} \cdot C_V + 1$							
Максимальный расход воды $Q_{p\%}$, м ³ /с	$k_{p\%} \cdot \bar{Q}$							

По данным табл. 5 (или табл.3) строится теоретическая кривая распределения (рис.2). На этом же рисунке наносятся значения модульных коэффициентов $k_{p\%}$, взятые из таблицы 4 (графа 4, 5).

Далее рассматривается соответствие теоретической кривой экспериментальным точкам аналогично методу наибольшего правдоподобия.

Величины относительных средних квадратических ошибок $\varepsilon_{\xi_Q}, \varepsilon_{C_V}$ определяются по тем же формулам. В случае необходимости ряд наблюдений удлиняется.

3.2.2. Упрощенный метод моментов

Для упрощения расчетов значения коэффициента вариации C_V и коэффициента асимметрии C_S принимаются по следующим зависимостям [5]:

$$C_V = \tilde{C}_V, \quad (3.20)$$

$$C_S = n_0 \cdot C_S. \quad (3.21)$$

Число n_0 принимается в зависимости от генетического происхождения максимальных расходов воды (табл. 6).

Таблица 6
Значения n_0

Генетическое происхождение максимального расхода воды	n_0
Талые воды равнинных рек (весеннее половодье)	2÷3
Дождевые паводки равнинных и горных рек с муссонным климатом	3÷4
Талые воды горных рек	4

Вычисления параметра \tilde{C}_V можно выполнить в форме таблицы 4, исключив из нее графу $(k_i - 1)^3$.

3.3. Расчет графоаналитическим методом

Графоаналитический метод рекомендуется на начальных стадиях проектирования [1, п.5.11].

Параметры биномиального распределения в этом случае определяются по формулам [1, с.7],[4, с.19]:

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}}, \quad (3.22)$$

$$\sigma = C_V \cdot \bar{Q} = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}}, \quad (3.23)$$

$$\bar{Q}^* = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \cdot \sigma, \quad (3.24)$$

где S - коэффициент скошенности; σ - среднее квадратическое отклонение; \bar{Q}^* - средний многолетний расход; C_V - коэффициент вариации; $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$, $\Phi_{95\%}$ - нормированные ординаты биномиальной кривой распределения, соответствующие вычисленному значению коэффициента S [3, прилож.2], [2, с.305], [7].

Для реализации этого метода необходимо, используя данные таблицы 4 (графы 4; 5), нанести на клетчатку вероятностей эмпирические точки модульных коэффициентов k_i для всех имеющихся ежегодных вероятностей превышения P_m . Через эти точки провести сглаженную кривую, которая и будет являться эмпирической кривой распределения. С этой кривой снимаются модульные коэффициенты $k_{5\%}$, $k_{50\%}$, $k_{95\%}$, соответствующие вероятностям превышения 5%, 50%, 95%. Затем находятся величины расходов

$$Q_{5\%} = k_{5\%} \cdot \bar{Q}; \quad Q_{50\%} = k_{50\%} \cdot \bar{Q}; \quad Q_{95\%} = k_{95\%} \cdot \bar{Q}; \quad (3.25)$$

где \bar{Q} - среднее многолетнее значение расхода. По формуле (3.22) вычисляются коэффициент S , а по его значению из таблицы ординат биномиальной кривой распределения выписывается величина

4. Максимальные расходы при недостаточности данных гидрометрических наблюдений

При отсутствии гидрометрических наблюдений в расчетном створе параметры распределения и расчетные значения рекомендуется определять с помощью следующих основных методов [1, с.23]:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами.

5. Приведение короткого ряда лет наблюдений к длительному периоду

Для приведения короткого ряда лет наблюдений в рассматриваемом створе к длительному периоду необходимо выбрать *створ-аналог*, при выборе которого следует выполнять следующие рекомендации [1, с.23]:

- а) должно быть сходство физико-географических условий реки в изучаемом створе и реки-аналога;
- б) аналог должен иметь длительный период наблюдений;
- в) аналог должен быть расположен в бассейне изучаемой реки или хотя бы в смежном бассейне;
- г) площади водосбора реки в изучаемом створе и в створе-аналоге не должны значительно отличаться друг от друга.

Требуемое число членов ряда вычисляется из формулы (3.1)

$$n = \left(\frac{100C_V}{\varepsilon_{\bar{Q}}} \right)^2, \quad (5.1.)$$

где $\varepsilon_{\bar{Q}}$ - задаваемая величина относительной средней квадратичной ошибки ($\varepsilon_{\bar{Q}} \leq 10\%$).

5.1. Графический метод

Предварительно выписываются максимальные расходы по двум станциям (створам) за одни и те же годы. Расходы с коротким рядом наблюдений обозначаются через Y (станция А), а с длительным периодом наблюдений – X (станция В). Данные заносятся в таблицу 8.

Таблица 8

Максимальные расходы воды по двум станциям

Год	Максимальные расходы воды Q , м ³ /с	
	станция А (например, Муром)	станция В (например, Горбатов)
1961	$Q_1=Y_1$	$Q_1=X_1$
1962	$Q_2=Y_2$	$Q_2=X_2$
1963	$Q_3=Y_3$	$Q_3=X_3$
...
1971	$Q_n=Y_{11}$	
1980	нет данных	$Q_n=X_{20}$
$n =$	11	20

По результатам таблицы 8 строится графическая зависимость расходов между двумя станциями (рис. 3).

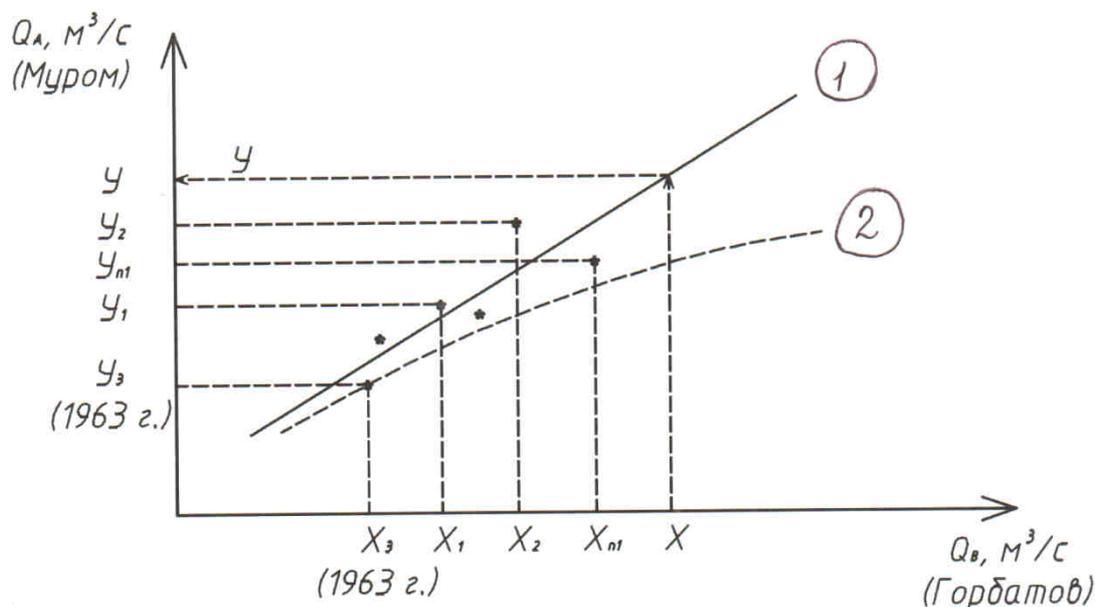


Рисунок 3 - Графическая связь максимальных расходов реки.

Y – ряд короткий (достраивается); X – ряд длительных наблюдений.

С помощью этого графика пополняется ряд наблюдений.

Если линия связи между расходами двух станций представляется прямой линией (1), то расчет надежен.

Если линия связи получается в виде кривой (2), то вместо значений расходов рекомендуется брать их десятичные логарифмы. В этом случае линия связи выпрямляется, и расчет будет надежен.

Графический метод может привести к ошибкам при значительном разбросе точек, т.е. когда связь между рассматриваемыми величинами очень приближенная.

5.2. Коррелятивный метод

Этот метод дает возможность оценить плотность связи между расходами и вероятную ошибку полученных результатов.

Метод основан на применении уравнения прямой регрессии [5, с.27]

$$y_i - y_0 = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x_i - x_0), \quad (5.2)$$

где y_i, x_i – текущие величины;

y_0, x_0 - средние арифметические значения ряда;

r - коэффициент корреляции, определяющий связь между рассматриваемыми величинами x и y .

σ_y, σ_x - квадратические отклонения y_i, x_i от средних значений y_0, x_0 .

Значения

$$y_0 = \frac{\sum_1^n y_i}{n_y}, \quad (5.3)$$

$$x_0 = \frac{\sum x_i}{n_x}, \quad (5.4)$$

где n_x, n_y - число членов ряда x и y .

Коэффициент корреляции

$$r = \frac{\sum (y_i - y_0) \cdot (x_i - x_0)}{\sqrt{\sum (y_i - y_0)^2 \cdot \sum (x_i - x_0)^2}} \quad (5.5)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_0)^2}{n-1}}, \quad n=20, \quad (5.6)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_0)^2}{n-1}}, \quad n=11. \quad (5.7)$$

Для удобства определения параметров σ_x, σ_y, r составляется таблица 9.

Таблица 9

К определению σ_y, σ_x, r

№ п/п	Год	Максимальные расходы воды Q , м ³ /с		$y_i - y_0$	$x_i - x_0$	$y_i - y_0 \cdot (x_i - x_0)$	$(y_i - y_0)^2$	$(x_i - x_0)^2$
		станция А (Муром)	станция В (Горбатов)					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	1961	y_1	x_1					
2	1962	y_2	x_2					
3	1963	y_3	x_3					
...
11	1971	y_{11}	x_{11}
...	...	нет значений		нет значений		нет значений	нет значений	
20	1980	нет значений	x_{20}	нет значений	...	нет значений	нет значений	...
		$\sum y_i =$ $y_0 =$	$\sum x_i =$ $x_0 =$			$\sum = (y_i - y_0) \cdot (x_i - x_0)$	$\sum = (y_i - y_0)^2$	$\sum = (x_i - x_0)^2$

В таблице 9

$$y_0 = \bar{Q}^A = \frac{\sum_1^{n=11} y_i}{n} = \frac{\sum_1^{n=11} Q_i^A}{n}, \quad (5.8)$$

$$x_0 = \bar{Q}^B = \frac{\sum_1^{n=20} x_i}{n} = \frac{\sum_1^{n=20} Q_i^B}{n}. \quad (5.9)$$

В результате решения уравнения (5.2) получается следующая зависимость:

$$\left. \begin{aligned} y_i &= R_{y/x}(x_i - x_0) + y_0 \\ Q_i^A &= R_{y/x}(Q_i^B - Q_0^B) + Q_0^A \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

где $R_{y/x} = r \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$ - коэффициент регрессии.

С помощью уравнения (5.10) восполняется недостающее число расходов. Для этого подставляются в уравнение значения имеющихся расходов по станции с длительным периодом наблюдений (ст.В) и вычисляются расходы за те года по станции с небольшим числом лет наблюдений (ст.А).

Вероятная ошибка коэффициента корреляции определяется по зависимости [5, с. 28]:

$$\varepsilon_r = \pm \frac{1-r^2}{\sqrt{n}}. \quad (5.11)$$

Предельная величина ошибки коэффициента корреляции близка к

$$r \pm 4 \varepsilon_r = 1. \quad (5.12)$$

Если $r > 4 \varepsilon_r$, то расчет (корреляцию) можно считать надежным.

Кроме этого, степень надежности (тесноты связи [5, с.28]) связи между расходами может оцениваться по коэффициенту корреляции:

- если $r = 1$, то полученная аналитическая связь между расходами имеет высокую надежность (обеспеченность);
- если $r = 0$, то связь отсутствует;

- если $r < 0,6$, то связь слабая, ненадежная. В этом случае в вычислениях необходимо перейти от значений расходов x , y к десятичным логарифмам расходов $\lg x$, $\lg y$;

- если $r > 0,6$, то связь удовлетворительная.

Литература

1. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.
2. Пособие к СНиП 2.05.03-84 « Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП - 91). - М.: ЦНИИС, 1992. - 347 с.
3. Гидрология и гидротехнические сооружения. Под ред. Г.Н.Смирнова. - М.: Высшая школа, 1988. - 472 с.
4. Козин В.И., Сучкин А.Л. Расчетные максимальные расходы воды. Методические указания к выполнению курсовой работы по инженерной гидрологии для студентов специальности 1203 «Гидротехническое строительство речных сооружений и гидроэлектростанций». Горький: ГИСИ им. В.П.Чкалова, 1986. - 28 с.
5. Сучкин А.Л., Козин В.Н. Гидрологический расчет водохранилища. Методические указания к выполнению курсовой работы по инженерной гидрологии для студентов специальности 1203 «Гидротехническое строительство речных сооружений и гидроэлектростанций». Горький: ГИСИ им. В.П.Чкалова, 1983. - 50 с.
6. СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик (заменен [1]).
7. Пособие к определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 448 с.

Битюрин Александр Константинович
Агеева Вера Валерьевна

Расчет максимальных расходов воды водотоков.

Методические указания к выполнению курсовой работы
по инженерной гидрологии

Подписано к печати 30.06.2011. Формат 60x90 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,90

Уч. изд. л. 1,6. Тираж 200 экз. Заказ № _____

Нижегородский государственный архитектурно-строительный
университет, 603950, Н. Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.