



к.г.н., доц. Сикан Александр Владимирович
Российский государственный гидрометеорологический университет

Гидрологические расчеты

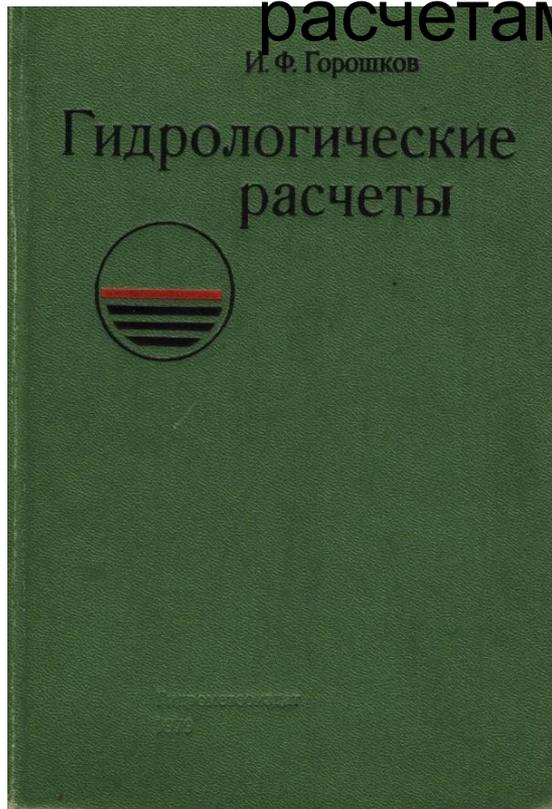
Часть II

для студентов ФЗО V курса РГГМУ

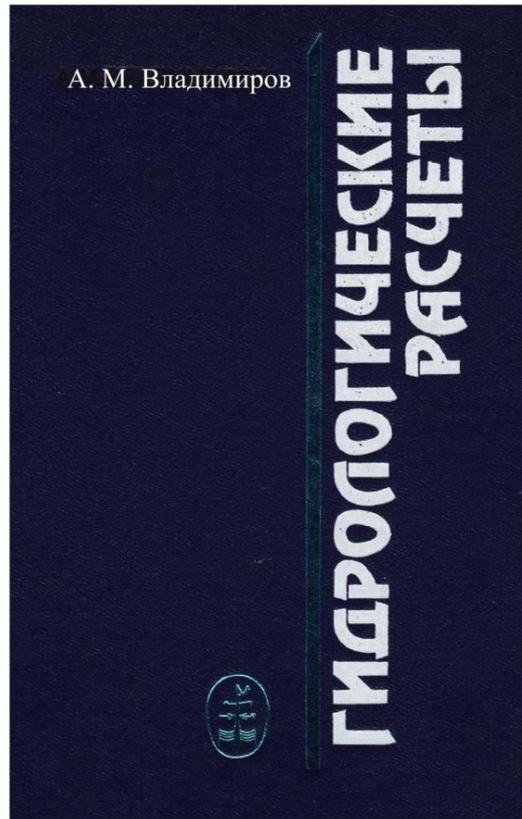
лекция № 1

1. Краткий обзор учебной и учебно-методической литературы по гидрологическим расчетам

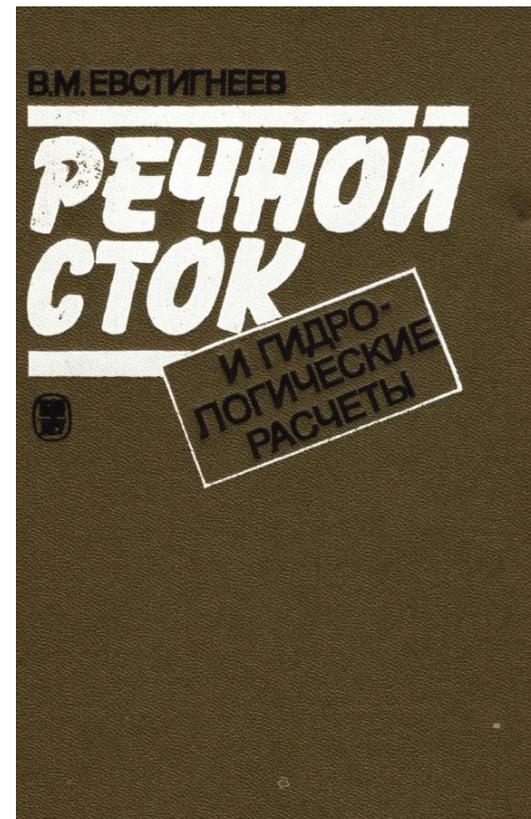
Учебники по гидрологическим расчетам



Горошков И.Ф.
**Гидрологические
расчеты.**
Л.: Гидрометеиздат,
1979. – 431 с.



Владимиров А.М.
**Гидрологические
расчёты. Л.:**
Гидрометеиздат,
1990. – 364с.



Евстигнеев В. М.
**Речной сток и
гидрологические
расчеты.**
М.: Изд-во МГУ,
1990. — 304 с.

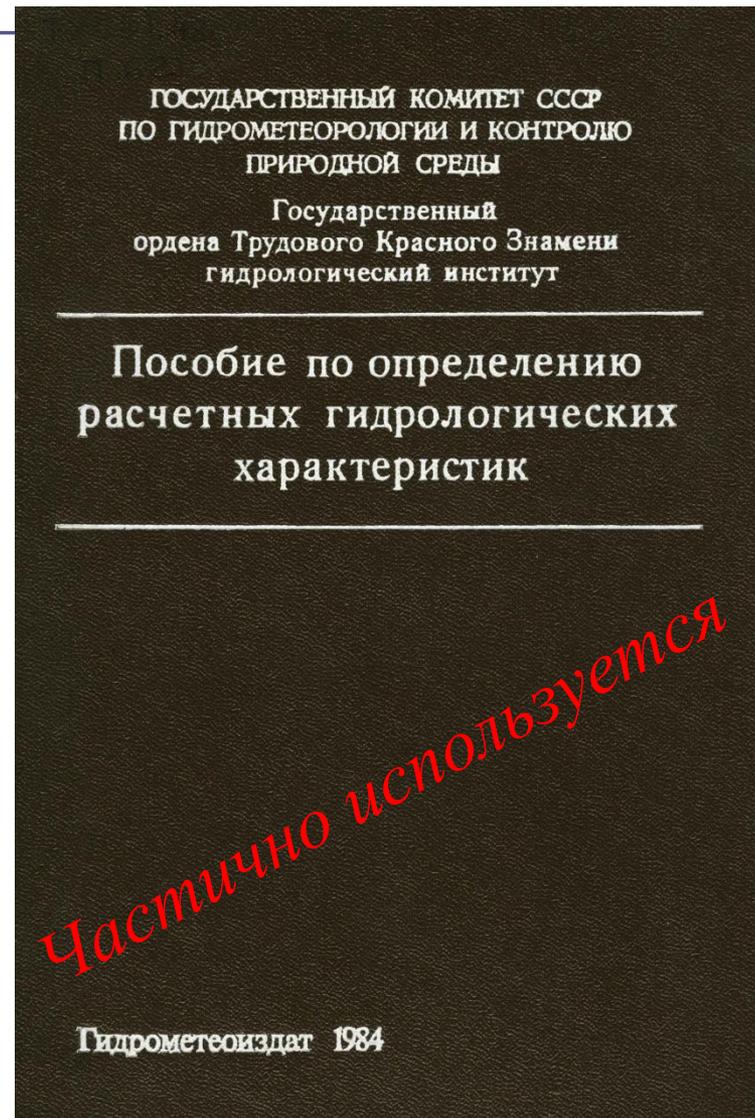
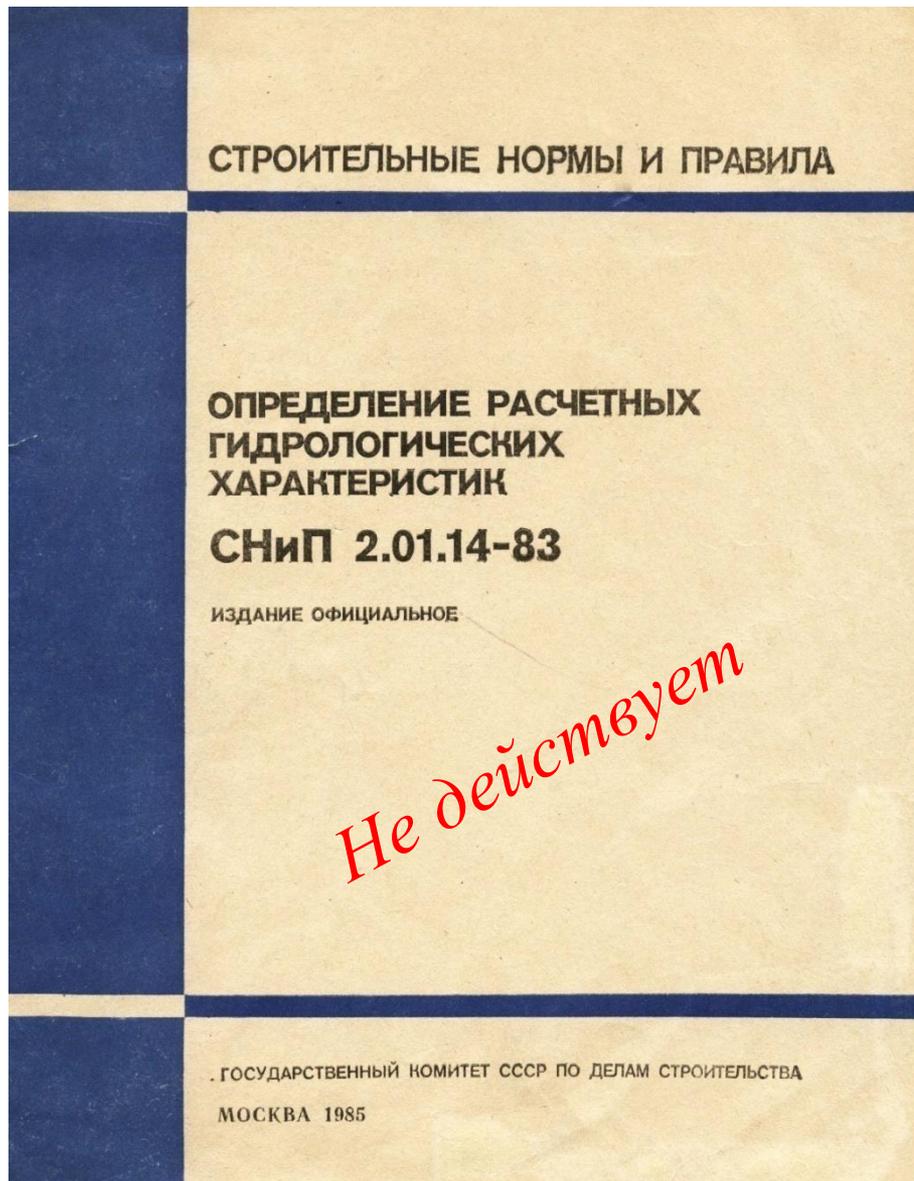
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ
РАСЧЕТНЫХ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

СП 33-101-2003

Одобен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.

Взамен СНиП 2.01.14-83

Система нормативных документов СНиП 2.01.14-83



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

АТЛАС

РАСЧЕТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ И НОМОГРАММ

(Приложение 1 к „Пособию по определению расчетных
гидрологических характеристик“)

*Красным цветом выделены приложения,
Которые можно использовать*

ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ
ЛЕНИНГРАД 1986

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Лист 5. Районирование рек СССР для расчета максимальных расходов весеннего половодья

Лист 6. Среднемноголетний слой стока половодья рек СССР

Лист 7. Физико-географическое районирование СССР

Лист 8. Коэффициент вариации среднемноголетнего слоя стока половодья рек СССР

Лист 9. Районирование значений соотношения C_s/C_v для весеннего половодья рек СССР

Лист 10. Районирование величин показателей степени редукции n и n' максимального модуля дождевого стока рек СССР

Лист 11. Районирование СССР по типовым редукционным уравнениям максимального дождевого стока

Лист 12. Параметр q_{200} вероятностью превышения 1 %, приведенный к средней высоте водосбора, равной 2000 м

Лист 13. Районирование параметров $\lambda_p\%$ и $\lambda'_p\%$ на территории СССР

Лист 14. Районирование территории СССР по типовым кривым редукции осадков

Лист 15. Суточный слой осадков на территории СССР вероятностью превышения 1 % за теплый период

Лист 16. Слой дождевого стока рек СССР вероятностью превышения 1 %

Лист 23. Распространение и характеристика заторных явлений на реках СССР

Лист 24-28. Номограммы для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения методом приближенного наибольшего правдоподобия.

Система нормативных документов в строительстве
СВОД ПРАВИЛ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАСЧЕТНЫХ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

СП 33-101-2003

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ
(ГОССТРОЙ РОССИИ)

Москва
2004

Федеральная служба России по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по определению расчетных гидрологических
характеристик при наличии данных
гидрометрических наблюдений**

Нижний Новгород
2007

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений. – Нижний Новгород: Вектор-Тис. 2007. – 134 с.

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды

Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по определению расчетных
гидрологических характеристик при
недостаточности данных
гидрометрических наблюдений**

Санкт-Петербург
2007г.

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений. – СПб, 2007. – 67 с. (Ротап rint ГНЦ РФ ААНИИ)

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по определению расчетных гидрологических
характеристик при отсутствии данных
гидрометрических наблюдений**

Санкт-Петербург
Нестор-История
2009

Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб, изд. «Нестор-История», 2009. – 193 с.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Государственное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**Методические рекомендации
по оценке однородности гидрологических
характеристик и определению их расчетных
значений по неоднородным данным**

Санкт-Петербург
Нестор-История
2010

<http://www.hydrology.ru/metodic/>

HydroStatCalc



с.н.с. А.В. Кокорев (Валдайский филиал ГУ «ГГИ»),
проф. А.В. Рождественский, к.т.н. А.Г. Лобанова
(ГУ «Государственный гидрологический институт»)

Руководство пользователя
Программные средства автоматизации инженерных гидрологических расчетов
HydroStatCalc

Санкт – Петербург
2010 г.

Выдержки из СП 33-101-2003

4.1 Свод правил (СП) содержит основные методы и схемы расчета...

При применении других методов расчетов следует провести анализ, включающий сравнительную оценку погрешностей расчетов с результатами расчетов по методам, изложенным в настоящем СП.

4.3 Определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в официальных документах Росгидромета, *и неопубликованных данных последних лет наблюдений...*

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений в пункте проектирования *необходимо проводить гидрометеорологические изыскания.*

4.2 Региональные особенности гидрологического режима и соответствующие методы определения расчетных характеристик учитываются и регламентируются *территориальными строительными нормами (ТСН)*, имеющими статус нормативного документа субъекта Российской Федерации.

2. Максимальный сток рек – основные понятия и определения

Половодье

Паводок

Основные характеристики половодий и паводков:

- Максимальный расход воды;
- Слой (или объем стока) за половодье (или паводок);
- Даты начала, максимума и окончания половодья (или паводка);
- Продолжительность подъема, продолжительность спада, общая продолжительность половодья (или паводка).

По характеру происхождения максимальные расходы воды разделяют на:

- сформированные в результате снеготаяния;
- сформированные выпавшими дождями;
- смешанного формирования – от снеготаяния и дождей, когда доли каждого вида питания близки по величине или их трудно разделить.

Факторы, влияющие на формирование весеннего половодья

Метеорологические факторы

Снегозапасы на водосборе

Интенсивность и продолжительность снеготаяния

Предшествующее снеготаянию увлажнение почво-грунтов и степень их промерзания

Испарение в период подъема половодья

Факторы подстилающей поверхности

Рельеф

Размеры и конфигурация водосбора

Озерность, заболоченность и залесенность водосбора

Почво-грунты бассейна реки

Антропогенные факторы

Факторы, влияющие на формирование дождевых паводков

Метеорологические факторы

Суммарный слой осадков

Продолжительность осадков

Средняя и максимальная интенсивность осадков;
Интенсивность ядра осадков

Площадь распространения осадков

Предшествующее увлажнение водосбора

Испарение

Факторы подстилающей поверхности

Рельеф

Размеры и конфигурация водосбора

Озерность, заболоченность и залесенность водосбора

Почво-грунты бассейна реки

Антропогенные факторы

Вопросы для самопроверки по параграфу 2.

1. Раскройте гидрологический смысл терминов «половодье» и «паводок».
2. Перечислите основные характеристики половодий и паводков.
3. Как можно классифицировать максимальные расходы воды по характеру их происхождения?
4. Какие факторы влияют на формирование половодий и паводков?

Рекомендуемые материалы для изучения

Владимиров А.М. Гидрологические расчёты:

вводные части к разделам 9, 11, 12; п.11.1; п.12.1.

3. Катастрофические паводки и наводнения

Катастрофический паводок - выдающийся по величине и редкий по повторяемости паводок, способный вызвать жертвы и разрушения.

Наводнение - затопление территории водой, являющееся стихийным бедствием (ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения)

Наводнение может происходить:

- в результате подъема уровня воды во время половодья или паводка;
- при заторе или зажоре;
- вследствие нагона в устье реки;
- при прорыве гидротехнических сооружений.



Двадцать четыре человека погибли в результате сильных дождей, которые обрушились на юг Японии в июле 2012 г.



В штате Айова и Иллинойс уровень воды поднялся на рекордные 5 метров. Ущерб от наводнения по ориентировочным подсчетам составил около миллиарда долларов (июнь 2008 г).



Наводнение в Краснодарском крае в 2012 году вызванное проливными дождями. В течение 6-7 июля 2012 года выпала более чем трёх-месячная норма осадков. Число пострадавших - более 34 тысяч человек, погиб 171 человек. Максимальный расход, прошедший 7 июля по р. Адагум через г. Крымск составил около $1500 \text{ м}^3/\text{с}$ и почти в два раза превысил исторический максимум 2002 г.

4. Назначение расчетной вероятности превышения максимального расхода воды

основного поверочного

для основного расчетного случая

Пропуск поверочного расчетного расхода воды должен осуществляться при наивысшем технически и экономически обоснованном ФПУ всеми водопропускными сооружениями гидроузла.

При этом, учитывая кратковременность прохождения пика паводка, допускается:

1.	уменьшение выработки электроэнергии ГЭС;
2.	нарушение нормальной работы водозаборных сооружений, не приводящее к созданию аварийных ситуаций на объектах - потребителях воды;
3.	повреждение резервных водосбросов, не снижающее надежности основных сооружений;
4.	размыв русла и береговых склонов в нижнем бьефе гидроузла, не угрожающий разрушением основных сооружений и др.

Ежегодные вероятности P , %, превышения расчетных максимальных расходов воды в зависимости от класса сооружения
(Таблица 2. СНиП 33-01-2003*)

Расчетные случаи	Классы сооружений			
	I	II	III	IV
Основной	0,1	1,0	3,0	5,0
Поверочный	0,01*	0,1	0,5	1,0

* - с учетом гарантийной поправки.

При назначении класса сооружения учитываются (Приложение Б. СНиП 33-01-2003):

- Высота гидротехнического сооружения и тип грунтов основания сооружения
- Уровень социально-экономической ответственности и условия эксплуатации
- Последствия возможных гидродинамических аварий

* - СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения

5. Расчет гарантийной поправки

К значениям расчетных максимальных расходов воды вероятностью превышения $P = 0,01$ % следует прибавлять гарантийную поправку, определяемую по формуле:

$$\Delta Q_{0,01\%} = \frac{\alpha E_{0,01\%}}{\sqrt{N}} Q_{0,01\%} \quad (1)$$

α – коэффициент, характеризующий гидрологическую изученность рек; принимают равным 1,0 для изученных рек, в остальных случаях – 1,5;

N – число лет наблюдений с учетом приведения к многолетнему периоду;

$E_{0,01\%}$ – величина, характеризующая случайную среднеквадратическую ошибку расчетного расхода воды обеспеченностью $P = 0,01\%$, определяемая по приложению Б, таблица Б.6 – СП 33-101-2003.

Поправка $\Delta Q_{0,01\%}$ должна приниматься равной не более чем 20 % значения максимального расхода воды $Q_{0,01\%}$:

Принимаемый расчетный расход с учетом гарантийной поправки не должен быть меньше, чем наибольший наблюдаемый расход.

Значения $E_{0,01\%}$ для распределения Крицкого-Менкеля

Значения C_s / C_v	Значения $E_{0,01\%}$ при коэффициенте вариации C_v														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
2	0,25	0,45	0,60	0,75	0,88	0,96	1,05	1,14	1,22	1,30	1,38	1,46	1,54	1,60	1,67
3	0,30	0,57	0,84	1,10	1,34	1,55	1,74	1,93	2,12	2,28	2,42	2,56	2,68	2,80	2,92
4	0,40	0,77	1,12	1,43	1,73	2,00	2,22	2,42	2,60	2,77	2,94	3,10	3,26	3,41	3,57

Расчетный максимальный расход обеспеченностью $P = 0,01\%$ с учетом гарантийной поправки определяется по формуле:

$$Q_{0,01\%}^* = Q_{0,01\%} + \Delta Q_{0,01\%}$$

Вопросы для самопроверки по параграфам 3-5.

1. Дайте определение понятиям «катастрофический паводок» и «наводнение».
2. Как назначается класс гидротехнического сооружения?
3. От чего зависит расчетная обеспеченность максимальных расходов воды?
4. Чем отличаются расчетные расходы воды для основного и поверочного случая?
5. Что такое гарантийная поправка?

Рекомендуемые материалы для изучения

1. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты: вводная часть к разделу 9; п.9.2.
2. СП 33-101-2003. «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». п.5.31; Прил. Б – табл. Б6.
3. СНиП 33-01-2003. «Гидротехнические сооружения. Основные положения». П.5.1; П.5.4; Прил.Б.

6. Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков при наличии данных гидрометрических наблюдений

Для рек с продолжительностью стояния максимальных расходов воды весеннего половодья и дождевых паводков, равной суткам и более, расчет производят по среднесуточным значениям, менее суток – по срочным расходам воды.

Расчет производится отдельно для ряда максимальных расходов весеннего половодья и ряда максимальных расходов дождевых паводков.

При невозможности разделения максимальных годовых расходов воды на максимумы дождевых и талых вод допускается построение кривых распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных расходов воды независимо от их происхождения.

В соответствии с СП 33-101-2003 продолжительность периода наблюдений за максимальными расходами воды считается достаточной, если рассматриваемый период репрезентативен, а относительные погрешности расчета среднего значения и коэффициента вариации не превышают 20%.

Общая схема расчета включает следующие этапы:

- 1. Предварительный анализ исходных данных**
- 2. Проверка ряда на случайность**
- 3. Проверка ряда на однородность**
- 4. Расчет параметров распределения**
- 5. Расчет погрешностей параметров распределения**
- 6. Построение эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей**

Предварительный анализ исходных данных

На этом этапе производится

- анализ надежности экстраполяции кривой $Q = f(H)$;
- выполняется проверка полноты учета стока воды на поймах и в протоках;
- оценивается точность расчета стока за различные интервалы времени и т. д.

Цель такой проверки – оценить надежность исходной информации и выявить грубые ошибки и опечатки.

Проверка ряда на случайность

Коэффициент автокорреляции незначим если $|r(1)| \leq \sigma_r t_{2\alpha}$ (1)

$$r(1) = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} (x_i - \bar{x})(x_{i+1} - \bar{x})}{(n-2)D_x} \quad (2)$$

$$\sigma_r = \frac{1 - r(1)^2}{\sqrt{n-2}} \quad (3)$$

Проверка ряда на однородность

Проверка однородности гидрологического ряда по дисперсии (критерий Фишера)

$$F^* = \frac{D_1}{D_2} \quad (1)$$

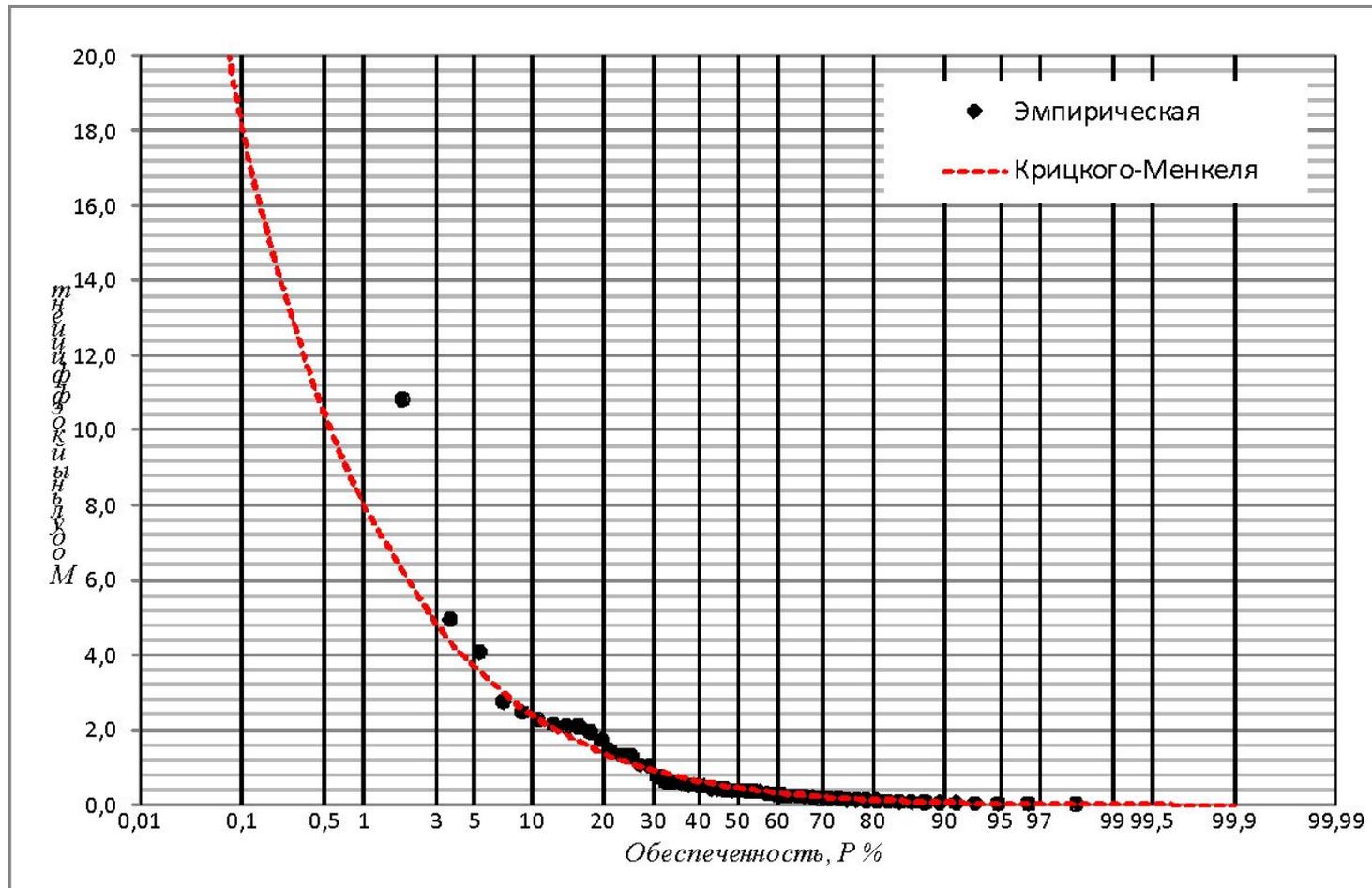
$$F^* < F_{2\alpha} \quad (2)$$

Проверка однородности гидрологического ряда по среднему значению (критерий Стьюдента)

$$t^* = \left[(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}} \quad (3)$$

$$|t^*| < t_{2\alpha} \quad (4)$$

Критерии однородности, используемые при наличии экстремальных значений резко отклоняющихся от кривой обеспеченности



Кривая обеспеченностей максимальных расходов весеннего половодья; р.Тузлов - х. Несветай.

Непараметрические критерии Диксона и Смирнова-Граббса

При использовании указанных критериев исходный ряд ранжируется в возрастающем порядке: $Q_1 < Q_2 < \dots < Q_n$.

Затем определяются значения Q_1 , Q_2 , Q_{n-1} , Q_n , а также среднее значение ряда и среднеквадратическое отклонение. Эти характеристики используются в дальнейшем для расчета статистик Диксона и Смирнова-Граббса.

Q_1	Q_2	Q_{n-1}	Q_n	\bar{Q}	σ^*
6,89	6,94	17,40	18,10	11,5	2,91

Проверка однородности гидрологического ряда по критерию Диксона

$$D_{\max}^* = \frac{Q_n - Q_{n-1}}{Q_n - Q_1} \quad (1) \quad D_{\min}^* = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 - Q_n} \quad (2) \quad D^* < D_{\alpha} \quad (3)$$

Проверка однородности гидрологического ряда по критерию Смирнова-Граббса

$$G_{\max}^* = \frac{Q_n - \bar{Q}}{\sigma^*} \quad (4) \quad G_{\min}^* = \frac{\bar{Q} - Q_1}{\sigma^*} \quad (5) \quad G^* < G_{\alpha} \quad (6)$$

Расчет параметров распределения

Обычно рассчитываются среднее значение ряда, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии. Расчет производится методом моментов.

Если коэффициент вариации больше 0,6, следует произвести уточнение указанных характеристик, используя метод наибольшего правдоподобия.

Если для описания вероятностной структуры гидрологических рядов использовалась модель авторегрессии первого порядка и при этом $C_v > 0,6$, то значение коэффициента вариации корректируется по формуле

$$C_v = \left(a_1 + \frac{a_2}{n} \right) + \left(a_3 + \frac{a_4}{n} \right) \tilde{C}_v + \left(a_5 + \frac{a_6}{n} \right) \tilde{C}_v^2$$

$$a_1 \dots a_6 = f [Cs/Cv, r(1)]$$

Метод моментов

$$m_x^* = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

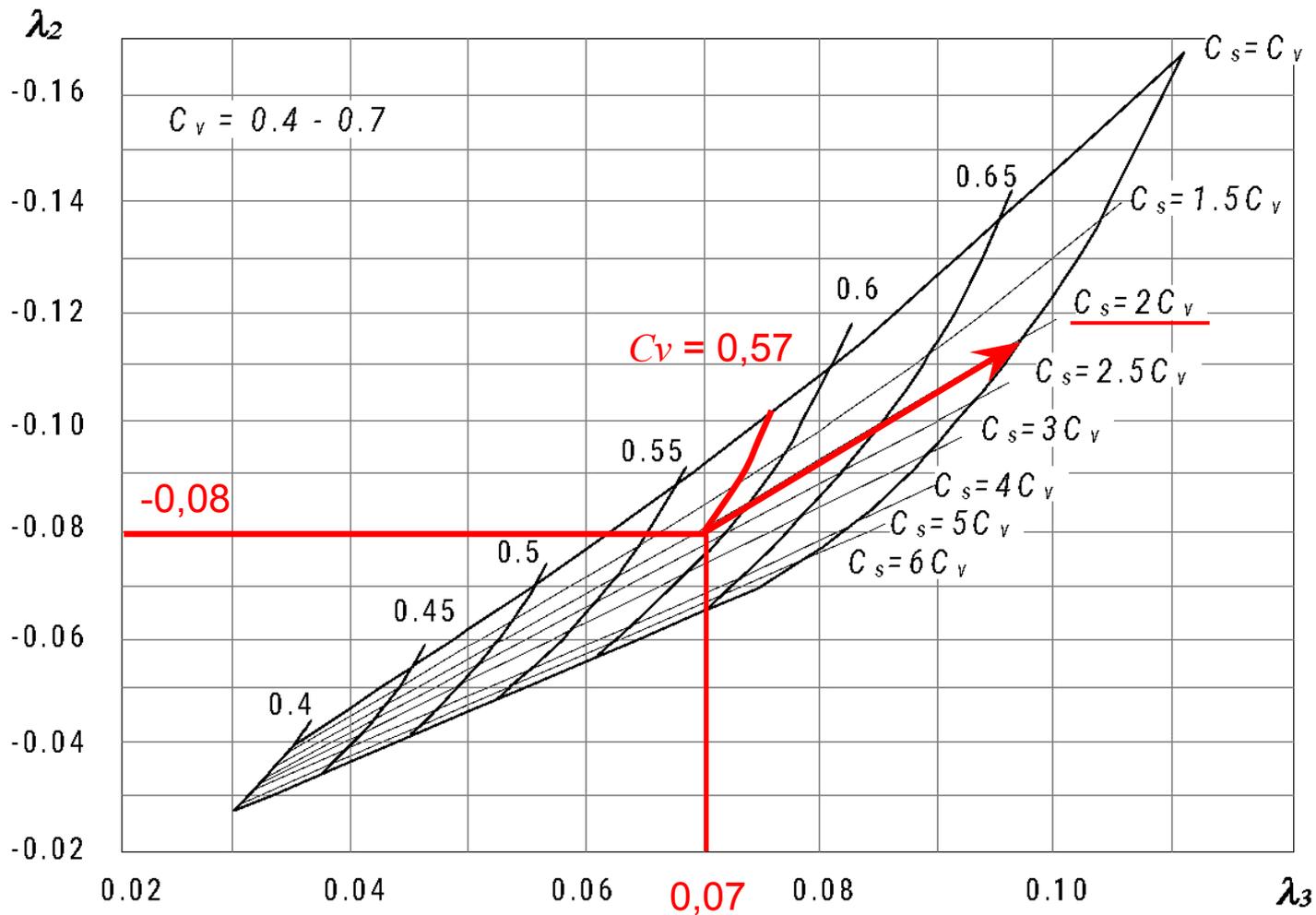
$$C_v^* = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}$$

$$C_{s,H}^* = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)(n - 2)(C_v^*)^3}$$

Метод наибольшего правдоподобия

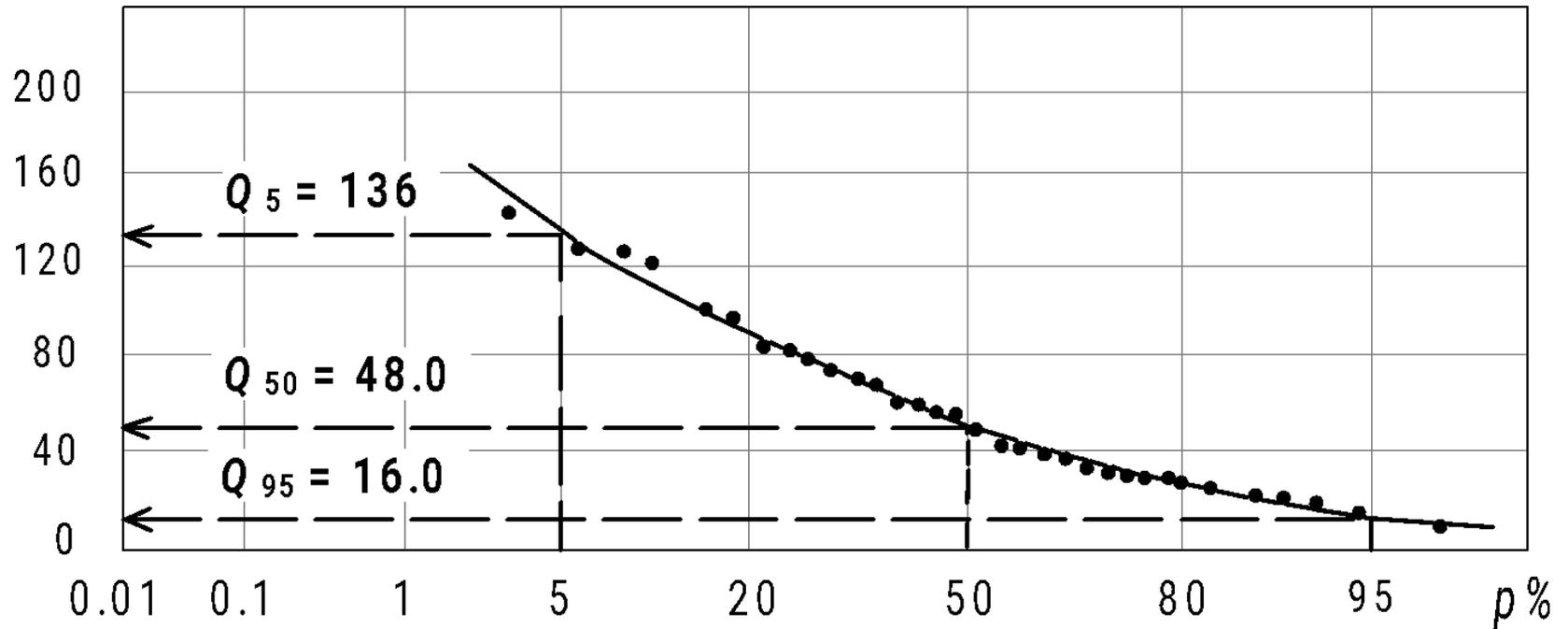
$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1}$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i}{n-1}$$



На начальных стадиях проектирования допускается определение параметров распределения кривой Пирсона III типа графоаналитическим методом

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$



$$S = (Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}) / (Q_5 - Q_{95})$$

$$\sigma = (Q_5 - Q_{95}) / (t_5 - t_{95})$$

$$\bar{Q} = Q_{50} - t_{50}\sigma$$

Расчет погрешностей параметров распределения

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\% \quad (1)$$

$$\sigma_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r}\right)} 100\% \quad (2)$$

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{(6/n)(1+6C_v^2+5C_v^4)} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{(6/n)(1+C_v^2)} \cdot 100\% \quad (4)$$

Построение эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей

Эмпирическую ежегодную вероятность превышения гидрологических характеристик определяют по формуле

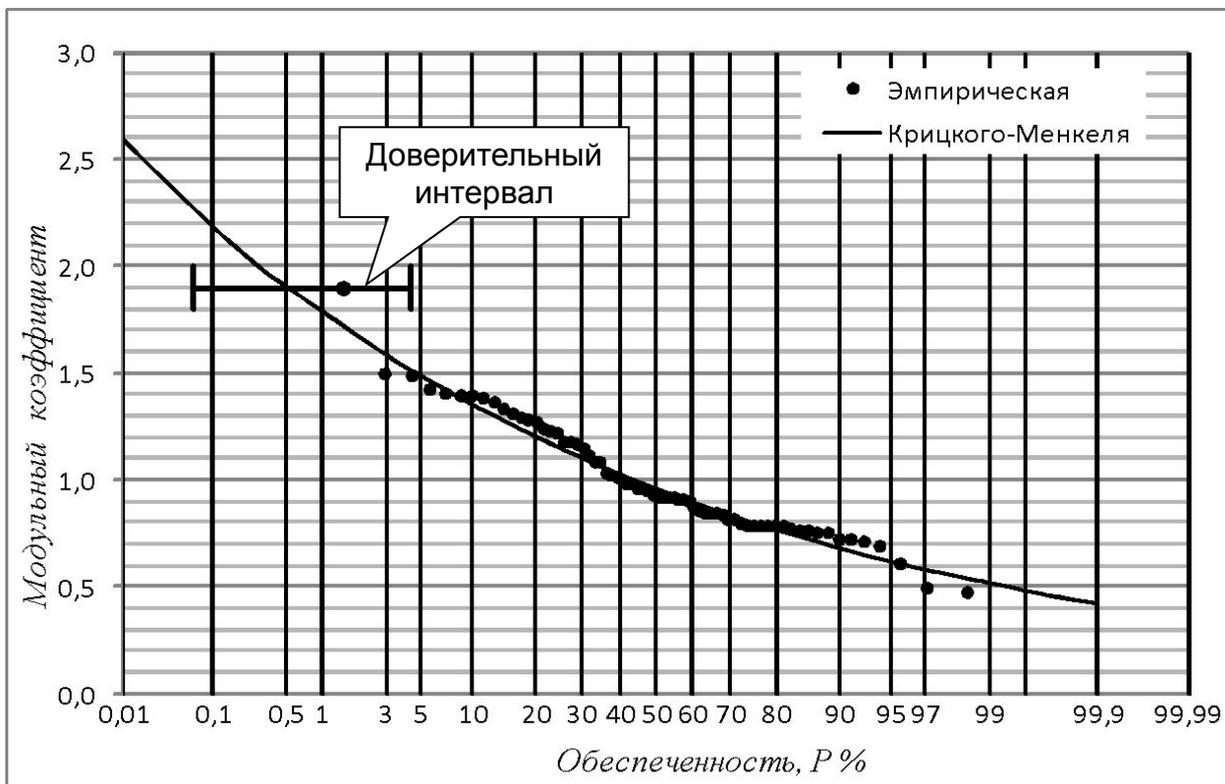
$$P_m = \frac{m}{n+1} 100\%$$

Для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых обеспеченностей, как правило, применяют трехпараметрические распределения:

- Крицкого-Менкеля при любом отношении C_s/C_v
- Пирсона III типа при $C_s/C_v \geq 2$
- Трехпараметрическое логнормальное распределение при $C_s \geq (3C_v + C_v^3)$

При неоднородности ряда гидрометрических наблюдений допускается применение усеченных и составных кривых распределения вероятностей.

Для наибольшего (или наименьшего) члена ряда наблюдений следует указывать доверительные интервалы эмпирической ежегодной вероятности превышения (приложение Б, таблица Б.3 – СП 33-101-2003).



Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей слоев весеннего половодья в модульных коэффициентах, р. Сясь – д. Яхново; длина ряда $n = 68$; 90%-ный доверительный интервал – (0,082-4,44).

Длина ряда	Границы доверительного интервала для наибольшего члена ряда	
	5%	95%
10	0,50	25,90
20	0,27	13,40
30	0,20	9,80
40	0,15	7,70
50	0,10	6,00
60	0,09	5,00
70	0,08	4,30
80	0,07	3,70
90	0,06	3,30
100	0,05	3,00
110	0,04	2,00
120	0,03	1,60

7. Расчет параметров распределения с учетом исторического максимума

При определении расчетных максимальных расходов воды кроме материалов систематических гидрометрических наблюдений должны использоваться данные о наивысших исторических уровнях и расходах изучаемой реки.

Сведения об исторических уровнях могут быть получены путем:

- изучения меток высоких вод,
- опроса населения,
- сбора архивных материалов.

Определение исторического максимального расхода по установленному уровню осуществляется путем экстраполяции кривой $Q = f(H)$, выполняемой обычными гидравлическими приемами.

На основании проведенных исследований получают

сам исторический максимум – Q_N

и продолжительность периода, в течение которого он не превышался – N .

Возможна и другая ситуация, когда в состав ограниченного ряда наблюдений за n лет входит выдающийся максимум.

На кривой обеспеченности такой максимум отклоняется вправо относительно кривой, соответствующей основной массе расходов.

В этом случае исторический максимум известен, а период его непревышения (N) устанавливается путем опроса населения и сбора архивных материалов.

В Своде правил СП 33-101-2003 даны формулы, позволяющие уточнить значения параметров распределения с учетом исторического максимума (см. п.5.16).

При учете одного выдающегося значения, не входящего в ряд наблюдений

При учете одного выдающегося значения, входящего в ряд наблюдений

для метода моментов

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left(Q_N + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i \right)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\left(\frac{Q_N}{Q} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{Q} - 1 \right)^2 \right]}$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N} \left(Q_N + \frac{N-1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} Q_i \right)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\left(\frac{Q_N}{Q} - 1 \right)^2 + \frac{N-1}{n-2} \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{Q_i}{Q} - 1 \right)^2 \right]}$$

для метода наибольшего правдоподобия

$$\lambda_2 = \frac{1}{N} \left(\lg \frac{Q_N}{Q} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \lg \frac{Q_i}{Q} \right)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N} \left(\frac{Q_N}{Q} \lg \frac{Q_N}{Q} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{Q} \lg \frac{Q_i}{Q} \right)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{N} \left(\lg \frac{Q_N}{Q} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \lg \frac{Q_i}{Q} \right)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{N} \left(\frac{Q_N}{Q} \lg \frac{Q_N}{Q} + \frac{N-1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Q_i}{Q} \lg \frac{Q_i}{Q} \right)$$

Вопросы для самопроверки по параграфам 6-7.

1. Общая схема расчета максимальных расходов воды. Перечислите основные этапы.
2. Какие статистические критерии рекомендуются Сводом правил для проверки рядов максимального стока на однородность?
3. Какие методы используются при расчете статистических характеристик максимального стока?
4. Какова допустимая погрешность определения среднего значения и коэффициента вариации при расчетах максимального стока?
5. Какие типы кривых обеспеченностей наиболее часто используются в Российской гидрологической практике?
6. Как и с какой целью строится доверительный интервал для крайних членов выборки при расчете максимального стока?
7. Как учитываются выдающиеся максимумы при расчетах максимальных уровней и расходов воды?

Рекомендуемые материалы для изучения

1. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты: п.9.1-9.2;
2. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации: раздел 7.
3. СП 33-101-2003. «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». п.5.1-5.7; п.5.16; 5.26-5.28.
4. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений: п.1-6; п.9

8. Расчет максимальных расходов воды при неоднородности ряда гидрометрических наблюдений

8.1 Составные кривые обеспеченности

Если максимальные в году расходы воды имеют различное генетическое происхождение то эмпирические и аналитические кривые распределения строят отдельно для каждой однородной совокупности.

При наличии в каждом году наблюдений за всеми однородными элементами общую (составную) кривую распределения вероятностей превышения рассчитывают на основе кривых, установленных по однородным элементам.

$$P = [1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3)]100\% \quad (1)$$

где P_1, P_2, P_3 - ежегодные вероятности превышения однородных элементов (в долях единицы)

Для двух однородных гидрологических характеристик формула (1) принимает вид:

$$P = (P_1 + P_2 - P_1P_2)100\% \quad (2)$$

Если в каждом году имеется лишь одно значение элемента рассматриваемой гидрологической характеристики,
ежегодные вероятности превышения при любом ее значении определяют по формуле

$$P = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2 + n_3 P_3 + \dots + n_k P_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k}$$

где P_1, P_2, P_3 - ежегодные вероятности превышения однородных элементов (в %)

Для двух генетически однородных элементов формула (3) принимает вид:

$$P = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2}{n_1 + n_2}$$

8.2 Усеченные кривые обеспеченности

При использовании этого метода исходный ряд ранжируется и затем делится на две части по медиане.

В дальнейшем рассматривают только верхнюю часть кривой распределения максимальных расходов воды.

В СП 33-101-2003 этот метод реализован для метода наибольшего правдоподобия применительно к кривой гамма-распределения.

Порядок расчетов при использовании усеченного гамма-распределения следующий:

1. исходный ряд располагается по убыванию;
2. по первой половине ранжированного ряда рассчитывают среднее значение и статистику λ_2 :

$$\bar{x}_{n/2} = \frac{1}{(n/2)} \sum_1^{n/2} x_i$$

$$\lambda_{2_{n/2}} = \frac{1}{(n/2)} \sum_1^{n/2} \lg\left(\frac{x_i}{\bar{x}_{n/2}}\right)$$

3. В зависимости от $\lambda 2_{n/2}$ по таблице Б5 определяют коэффициент вариации усеченного Γ -распределения - C_v^*

Таблица Б5

Значения зависимости $C_v = f(\lambda 2_{n/2})$ для вычисления коэффициента вариации C_v усеченного гамма-распределе

C_v	0	1	2	3	4
0,1	0,0005	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013
0,2	0,0025	0,00281	0,00321	0,0343	0,00374
0,3	0,0056	0,00608	0,00656	0,00704	0,00752
0,4	0,0104	0,0109	0,0114	0,0119	0,0124
0,5	0,0161	0,0168	0,0176	0,0183	0,0191
0,6	0,0235	0,0243	0,025	0,0259	0,0267
0,7	0,0314	0,0324	0,0328	0,0335	0,0342
0,8	0,0392	0,04	0,0409	0,0417	0,0426
0,9	0,0482	0,0493	0,0503	0,0514	0,0524

В таблице значения $\lambda 2_{n/2}$
отрицательные

4. В зависимости от полученного C_v^* по таблице Б4 определяют параметр $\varphi(C_v^*)$;

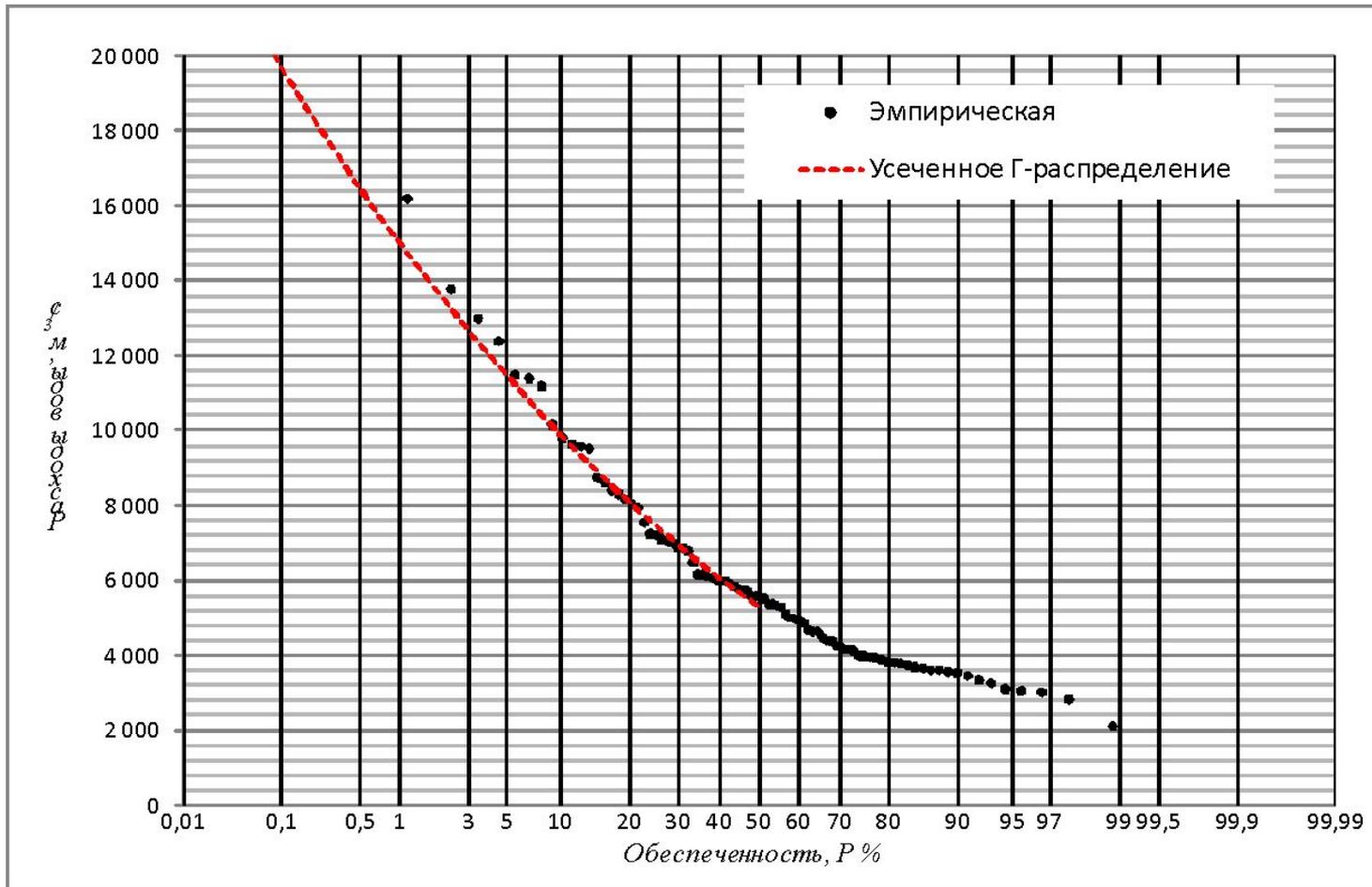
Таблица Б4
Значения функции $\varphi(C_v)$ для вычисления среднего x_0
усеченного гамма-распределения

C_v	0	1	2	3
0,1	0,925	0,919	0,913	0,906
0,2	0,863	0,856	0,852	0,847
0,3	0,809	0,805	0,8	0,795
0,4	0,764	0,76	0,756	0,751
0,5	0,722	0,719	0,715	0,712
0,6	0,688	0,685	0,681	0,678
0,7	0,654	0,652	0,649	0,647

5. По формуле рассчитывают среднее значение для усеченного Γ -распределения.

$$x_0 = \varphi(C_v^*) \cdot \bar{x}_{n/2}$$

6. Для диапазона обеспеченностей от 0,01% до 50% строится аналитическая кривая Γ -распределения при: среднем значении x_0 ; коэффициенте вариации C_v^* ; отношении C_s/C_v для Γ -распределения равно 2.



Вопросы для самопроверки по параграфу 8.

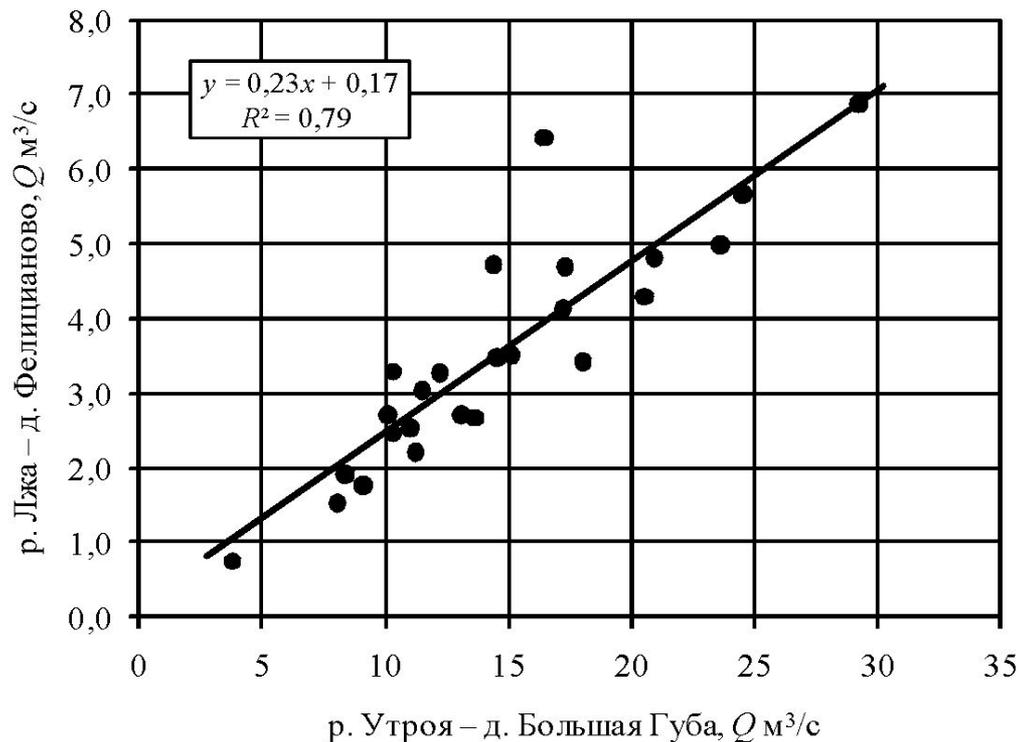
1. В каких случаях допускается применять составные и усеченные кривые обеспеченностей?
2. Как построить составную кривую обеспеченностей для наибольших в году максимальных расходов воды, если весенние и дождевые максимумы близки по величине?
3. Алгоритм построения усеченного Γ -распределения.

Рекомендуемые материалы для изучения

1. СП 33-101-2003. «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». п.5.12; п.5.29.
2. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений: п.3; п.9

9. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений

9.1 Расчет при недостаточности данных гидрометрических наблюдений (6 и более лет)



Параметр	Формула
Коэффициент корреляции, R	$R = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{(n-1)\sigma_x\sigma_y}$
Погрешность коэффициента корреляции, σ_R	$\sigma_R = \frac{1-R^2}{\sqrt{n-1}}$
Коэффициент регрессии, a	$a = R \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$
Погрешность коэффициента регрессии, σ_a	$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \sqrt{\frac{1-R^2}{n-2}}$
Свободный член, b	$b = \bar{y} - a\bar{x}$
Уравнение регрессии	$y = ax + b$

Уравнение регрессии можно рекомендовать для практических расчетов, если выполнены следующие условия:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0,7; \quad |R|/\sigma_r \geq 2; \quad |a|/\sigma_a \geq 2 \quad (1)$$

Восстановление ряда расчетной реки:

$$Q_i = \bar{Q}_n + R \frac{\sigma_n}{\sigma_{n,a}} (Q_{i,a} - \bar{Q}_{n,a}) \quad (2)$$

$$Q_i^* = \frac{Q_i - \bar{Q}_n}{R} + \bar{Q}_n \quad (3)$$

Расчет параметров распределения:

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + R \frac{\sigma_n}{\sigma_{n,a}} (\bar{Q}_{N,a} - \bar{Q}_{n,a}) \quad (4)$$

$$C_{v,N} = \frac{\sigma_n}{\bar{Q}_N \sqrt{1 - R^2 \left(1 - \frac{\sigma_{n,a}^2}{\sigma_{N,a}^2} \right)}} \quad (5)$$

Расчет погрешностей статистических характеристик восстановленного ряда

Относительная среднеквадратическая погрешность среднего значения восстановленного ряда определяется по формуле

$$\varepsilon_{\bar{Q}_N} = \frac{100\sigma_n}{\bar{Q}_N \sqrt{n}} \sqrt{1 + R^2 \left(\frac{n}{N} \frac{\sigma_{N,a}^2}{\sigma_{n,a}^2} - 1 \right)}. \quad (1)$$

Случайные среднеквадратические погрешности восстановленного ряда можно определить по «обычным» формулам с учетом объема информации, эквивалентной наблюдаемым данным.

$$N_{\varepsilon.q} = \frac{N}{1 + \frac{N-n}{n-2} (1 - R^2)} \quad (2)$$

$$N_{\varepsilon.\sigma} = \frac{Nn}{n + (N-n)(1 - R^2)} \quad (3)$$

где: n – число совместных лет наблюдений в расчетном створе и в створе реки-аналога;
 $(N - n)$ – число восстановленных членов ряда по уравнению;
 R – коэффициент парной корреляции.

9.2 Расчет при наличии кратковременных наблюдений (менее 6 лет)

Метод отношений

$$\frac{Q_{\max,2010,a}}{Q_{P\%,a}} = \frac{Q_{\max,2010,pp}}{Q_{P\%,pp}}$$

Неизвестное значение

Вопросы для самопроверки по параграфу 9.

1. Как производится расчет максимального стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений при длине ряда 6 и более лет.
2. Как производится приведение короткого ряда к длинному ряду реки-аналога?
3. Как производится расчет максимального стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений при длине ряда менее 6 лет (метод пропорций)?
4. Какие условия следует учитывать при выборе рек-аналогов?

Рекомендуемые материалы для изучения

1. Владимирова А.М. Гидрологические расчёты: п.9.3;
2. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: п. 4.10; п.6.1-6.24.
3. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.