

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

Инженерно-технический институт

Кафедра автомобильного транспорта и транспортной инфраструктуры

Д. В. Демидов

ГИДРОЛОГИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ НОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Методические указания
для проведения занятий семинарского типа,
организации самостоятельной работы, выполнения выпускной
квалификационной работы обучающихся всех форм обучения
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»,
(направленность (профиль) – «Автомобильные мосты и тоннели»),
дисциплины – «Гидрология транспортных сооружений»,
«Гидрология мостовых сооружений в системе нормирования
внешних воздействий»

Екатеринбург
2020

Печатаются по рекомендации методической комиссии Автомобильно-транспортного института.

Протокол № 1 от 30 октября 2019 г.

Автор: канд. техн. наук, доцент Д. В. Демидов

Рецензент – директор Муниципального казенного учреждения «Городское благоустройство» г. Екатеринбурга А. В. Козлов

Дизайн обложки выполнен Д. В. Демидовым

При оформлении обложки издания использовано фотоизображение
(URL: <https://g.zbp.ru/8a/74/7f73bb.io9iej.9x4p.xc.fd.jpg>)

Редактор Н. В. Рощина

Оператор компьютерной верстки О. А. Казанцева

Подписано в печать 16.11.2020		Поз. 38
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,09	Цена руб. коп.

Редакционно–издательский отдел УГЛТУ
Сектор оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для проведения занятий семинарского типа, организации самостоятельной работы, выполнения выпускной квалификационной работы обучающихся всех форм обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (направленность (профиль) – «Автомобильные мосты и тоннели»). Изучаемые дисциплины – «Гидрология транспортных сооружений» и «Гидрология мостовых сооружений в системе нормирования внешних воздействий».

Методические указания составлены на основе:

– Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство», утвержденного приказом Минобрнауки Российской Федерации от 31 мая 2017 г. № 481;

– рабочих программ дисциплин «Гидрология транспортных сооружений» и «Гидрология мостовых сооружений в системе нормирования внешних воздействий» по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» (направленность (профиль) – «Автомобильные мосты и тоннели»);

– стандартов УГЛУТУ СТВ 1.3.0.0–00–15 «Учебное издание. Основные положения» и СТВ 1.3.1.0–00–2015 «Учебная документация. Учебные издания. Учебно–методическое пособие. Основные положения».

Необходимость издания методических указаний вызвана отсутствием систематически подобранного учебного издания по дисциплине и требованием организации самостоятельной работы обучающихся.

Проектирование, строительство и эксплуатация инженерных транспортных сооружений (автомобильных мостов и водопропускных труб) невозможно без знания законов движения водных потоков.

Курс «Гидрология мостовых сооружений в системе нормирования внешних воздействий» («Гидрология транспортных сооружений») формирует у обучающихся систему знаний об основах гидрологии и гидрометрии, а также позволяет получить навыки выполнения гидрологических расчетов при проектировании автомобильных мостов.

Гидрологические и гидрометрические исследования совместно с геодезическими и геологическими составляют основу инженерных изысканий для строительства инженерных сооружений (мостов, водопропускных труб), по материалам которых определяются размеры отверстий водопропускных сооружений и места их расположения на автомобильных дорогах.

Другими словами, гидрологические и гидрометрические исследования выявляют условия проектирования, строительства и эксплуатации участков автомобильных дорог с расположенными на них инженерными сооружениями (автомобильными мостами, водопропускными трубами).

Согласно п. 4.2 ГОСТ 33384–2015 [1]: «Мостовое сооружение должно быть проектировано так, чтобы при выполнении нормативных требований по ремонту и содержанию в течение расчетного срока службы¹ были обеспечены его несущая способность, эксплуатационная пригодность и долговечность². Технические решения, принимаемые при проектировании, должны обеспечить сооружению ... *живучесть*³».

Поэтому мостовой переход через водоток, включающий мост, подходы и регуляционные сооружения, должен обеспечивать *безопасный пропуск высоких вод, ледохода и пльвущих предметов (карчей и т.п.), при расчетных гидрологических условиях* в течение срока службы перехода (п. 4 ПМП–91 [2]).

Кроме того, мостовой переход на водных путях должен обеспечивать выполнение требований судоходства и лесосплава (п. 5.1 СП 35.13330.2011 [6]). При этом «основные технические решения, принимаемые при проектировании, должны быть аргументировано *обоснованными*» (п. 4.5 ГОСТ 33384–2015).

Гидрологические расчеты для искусственных сооружений предусматривают определение расходов воды и соответствующих им уровней расчетной вероятности превышения, нормируемой в зависимости от типа искусственного сооружения и категории дороги. Ежегодные колебания расходов и уровней воды на водотоках подчиняются закону больших чисел, поэтому для вычисления расчетных расходов и уровней используют положения теории вероятности и математической статистики.

При определении расчетных гидрологических характеристик необходимо применять следующие приемы расчетов: *при наличии данных* гидрометрических наблюдений – непосредственно по этим данным; *при недостаточности данных* гидрометрических наблюдений – приведением их к многолетнему периоду по данным рек-аналогов с более длительными рядами наблюдений; *при отсутствии данных* гидрометрических наблюдений – по формулам с применением данных о реках-аналогах и картам, основанным на совокупности данных наблюдений всей сети гидрометрических станций и постов данного района или более обширной территории включая материалы инженерно–гидрометеорологических изысканий.

¹ **Срок службы** – календарная продолжительность от начала эксплуатации мостового сооружения или ее возобновления после реконструкции или ремонта до перехода в предельное состояние (Приложение Б (обязательное) СП 35.13330.2011).

² **Долговечность** – свойство сооружения сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе содержания и ремонта (п. 3.3 ГОСТ 33384–2015).

³ **Живучесть** – 1. Способность сооружения выполнять свои основные функции при повреждении или разрушении отдельных элементов (п. 3.4 ГОСТ 33384–2015).
2. Обеспеченность от прогрессирующего разрушения (Приложение Б (обязательное) СП 35.13330.2011).

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Нормативные документы, определяющие положения и требования по определению гидрологических характеристик для автодорожных мостовых сооружений

Основными нормативными документами, определяющими положения и требования по определению гидрологических характеристик для автодорожных мостовых сооружений (далее – мостов), являются ГОСТ 33384–2015 [1], СП 33–101–2003 [4] и СП 35.13330.2011 [6].

Принята следующая классификация мостов по длине сооружения: малые мосты – длиной до 25 м включительно, средние мосты – длиной свыше 25 м до 100 м включительно, большие мосты – длиной свыше 100 м. Автодорожные, в том числе городские, мосты длиной менее 100 м, но пролетами свыше 60 м также относятся к большим мостам (п. 3.2 ГОСТ 33384–2015, п. 5.7 СП 35.13330.2011).

Свод правил СП 33–101–2003 устанавливает общие положения и требования к организации и порядку проведения инженерных гидрологических расчетов по определению гидрологических характеристик для обоснования проектирования новых, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий, зданий и сооружений для всех видов строительства и инженерной защиты территорий⁴.

Положения СП 33–101–2003 не распространяются на определение расчетных гидрологических характеристик при изысканиях и проектировании объектов, расположенных на участках рек, находящихся в зоне влияния морских приливов, а также на селеопасных реках.

Область применения ГОСТ 33384–2015 и СП 35.13330.2011 для проектирования автодорожных мостов приведена в табл. 1.

1.2. Основные гидрологические характеристики, исходные данные для их определения

К основным гидрологическим характеристикам относятся (п. 4.15 СП 33–101–2003)⁵: расход воды Q , м³/с; объем стока воды W , м³; модуль стока воды q , $\frac{м^3}{с \cdot км^2}$; слой стока воды h , мм; уровень воды H , м.

⁴ Свод правил содержит основные методы и схемы расчета средних годовых, максимальных расходов воды и объемов стока весеннего половодья и дождевых паводков, гидрографов, внутригодового распределения стока, отметок наивысших уровней воды рек и озер и минимальных расходов воды (п. 4.1 СП 33–101–2003).

⁵ Кроме указанных, целесообразно отметить и «скорость потока V , м/с».

Таблица 1

Область применения нормативных документов для проектирования
автодорожных мостов

№ п/п	Наименование	ГОСТ 33384–2015 (п. 1)	СП 33–101–2003 (п. 1)	СП 35.13330.2011 (п. 1)
1. Положения распространяются ... (по виду дорожной деятельности)				
1.1	Проектирование новых и реконструкция постоянных мостов	+	+	+
1.2	Капитальный ремонт постоянных мостов	Не уточнено	+	+
1.3	Проектирование механизмов разводных пролетов мостов	–	Не уточнено	–
1.4	Проектирование галерей	–	+	–
1.5	Проектирование конструкций для пропуска селей (селедуки)	–	+	–
1.6	Проектирование служебных эстакад	–	Не уточнено	–
1.7	Проектирование коммуникационных мостов, не предназначенных для пропуска транспортных средств и пешеходов	–		–
2. Положения распространяются ... (по виду сооружения)				
2.1	Мосты, предназначенные для эксплуатации в любых климатических условиях и в районах с расчетной сейсмичностью до 9 баллов включительно	+	Не уточнено	Не уточнено
2.2	Мосты на автомобильных дорогах общего пользования	+	+	+
2.3	Мосты при прохождении автомобильных дорог общего пользования по территории населенных пунктов	+	+	+
2.4	Мосты на улицах и дорогах населенных пунктов	–	+	+
2.5	Мосты на дорогах под совмещенное движение транспортных средств – автомобильных и поездов железных дорог, трамваев и метрополитена	Не уточнено	+	+
2.6	Мосты пешеходные	+	+	+
2.7	Мосты на автомобильных дорогах лесозаготовительных и лесохозяйственных организаций, не выходящих на сеть дорог общего пользования и к водным путям	–	+	–
2.8	Мосты на внутрихозяйственных дорогах сельскохозяйственных и промышленных предприятий	–	+	+
2.9	Мосты, расположенные на участках рек, находящихся в зоне влияния морских приливов	Не уточнено	–	Не уточнено
2.10	Мосты, расположенные на селеопасных реках	+	–	+

В соответствии с требованиями п. 4.3 СП 33–101–2003:

«Определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в официальных документах Росгидромета, и неопубликованных данных последних лет наблюдений, а также на данных наблюдений, содержащихся в архивах Госгидрометфонда, изыскательских, проектных и других организаций, включая материалы опроса местных жителей. При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений в пункте проектирования необходимо проводить гидрометеорологические изыскания.

Кроме того, следует использовать достоверные данные наблюдений за гидрологическими характеристиками по архивным, литературным и другим материалам, относящимся к периоду до начала регулярных наблюдений. При этом необходимо указать источник, на основании которого установлена гидрологическая информация, и произвести оценку достоверности и точности полученных материалов».

В соответствии с требованиями п. 4.4 СП 33–101–2003 при гидрологических расчетах следует учитывать материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий. Учет кратковременных данных осуществляют методами, изложенными в разделе 6 СП 33–101–2003.

Требованиями п. 4.5 СП 33–101–2003 определено:

«Данные гидрометрических наблюдений, вызывающие сомнение, следует подвергать проверке, включающей анализ:

- полноты и надежности наблюдений за уровнями и расходами воды;
- наличия данных о наивысших (мгновенных и среднесуточных) и наименьших уровнях воды за время наблюдений при свободном ото льда русле, ледяном покрове, ледоходе, заторе льда, заросшем водной растительностью русле, подпоре от нижерасположенной плотины, сбросах воды выше гидрометрического створа, полноты учета стока воды на поймах и в протоках;
- влияния хозяйственной деятельности на речной сток и другие виды анализа.

Ненадежные данные гидрометрических наблюдений при невозможности их уточнения исключают из расчетного ряда наблюдений. В необходимых случаях должен выполняться пересчет стока воды за отдельные периоды».

1.3. Расчет и проектирование мостов на воздействие водного потока

Согласно требованиям п. 6.1 ГОСТ 33384–2015 и п. 5.25 СП 35.13330.2011 расчет мостов и пойменных насыпей на воздействие водного потока следует производить, как правило, по гидрографам и водомерным графикам расчетных паводков, которые строятся в соответствии с требованиями СП 33–101–2003.

При отсутствии гидрографов и водомерных графиков паводков, а также в других обоснованных случаях расчет мостов на воздействие водного потока допускается производить по максимальным расходам и соответствующим им уровням расчетных и наибольших паводков.

Вероятности превышения расчетных паводков следует принимать в соответствии с указанными в табл. 2 и 3 вероятностями превышения максимальных расходов соответствующих паводков (п. 6.1 ГОСТ 33384–2015 и п. 5.25 СП 35.13330.2011).

Согласно п. 5.26 СП 35.13330.2011 и п. 6.1 ГОСТ 33384–2015 в расчетах следует принимать максимальные расходы паводков того происхождения, при которых для заданного значения вероятности превышения создаются наиболее неблагоприятные условия работы сооружения.

Таблица 2

Вероятность превышения максимальных расходов паводков
(Табл. 3, п. 6.1 ГОСТ 33384–2015)

Сооружения	Вероятность превышения максимальных расходов паводков (%) для категории дороги				
	IA, IB, IB	II	III	IV	V и ниже
Мосты средние и большие	1	1	1	2	2
Мосты малые	1	2	2	3	3

Таблица 3

Вероятность превышения максимальных расходов паводков
(Табл. 5.3, п. 5.25 СП 35.13330.2011, выдержка)

Сооружения	Категория дороги (автомобильные дороги, городские улицы и дороги)	Вероятность превышения максимальных расходов паводков, %
Мосты средние и большие	I–III, городские улицы и дороги	1***
	IV	2***
Мосты малые	I	1****
	II, III, городские дороги	2****
	IV	3****

*** В районах с малоразвитой сетью автомобильных дорог для сооружений, имеющих особо важное народнохозяйственное значение, при технико-экономическом обосновании вероятность превышения допускается принимать 0,33 вместо 1 % и 1 вместо 2 %.

**** В районах с развитой сетью автомобильных дорог для автодорожных малых мостов при технико-экономическом обосновании вероятность превышения допускается принимать 2 вместо 1 %, 3 вместо 2 %, 5 вместо 3 %.

Примечания.

1. Степень развития сети автомобильных дорог в районе строительства и народнохозяйственное значение проектируемых сооружений устанавливаются в техническом задании.

2. Классификация дорог вне населенных пунктов принята по СП 34.13330, классификация улиц и дорог в населенных пунктах – по СП 42.13330.

1.4. Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности⁶ осуществляется путем применения *аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченностей* (п. 5.1 СП 33–101–2003).

Эмпирическую ежегодную вероятность превышения $P_{m, \%}$ гидрологических характеристик определяют по формуле (п. 5.2 СП 33–101–2003)

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

где m – порядковый номер членов ряда гидрологической характеристики, расположенных в убывающем порядке;

n – общее число членов ряда.

Эмпирические кривые распределения ежегодных вероятностей превышения строят на *клетчатках вероятностей*. Тип клетчатки вероятностей выбирают в соответствии с принятой аналитической функцией распределения вероятностей и полученного отношения коэффициента асимметрии C_s к коэффициенту вариации C_v .

Клетчатки вероятности изготавливаются типографским способом. При необходимости такая клетчатка может быть изготовлена по данным прил. 1 [2], где даны абсциссы и ординаты клетчаток нормального распределения с равномерной и логарифмической вертикальными шкалами.

Параметры аналитических кривых распределения – среднее многолетнее значение Q , коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации устанавливаются по гидрометрическим рядам наблюдений за рассматриваемой гидрологической характеристикой методом наибольшего правдоподобия, методом моментов или графоаналитическим и графическим методами.

Согласно п. 5.3 СП 33–101–2003 для сглаживания и экстраполяции эмпирических кривых распределения ежегодных вероятностей превышения, как правило, применяют трехпараметрические распределения:

⁶ Продолжительность периода наблюдений считают *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. Если относительные средние квадратические погрешности превышают указанные пределы и период наблюдений нерепрезентативен, необходимо осуществить приведение рассматриваемой гидрологической характеристики к многолетнему периоду согласно разделу 6 СП 33–101–2003 (п. 5.1 СП 33–101–2003).

Крицкого-Менкеля при любом отношении C_s/C_v ; распределение Пирсона III типа (биномиальная кривая) при $C_s/C_v \geq 2$; лог-нормальное распределение при $C_s \geq (3C_v + C_v^3)$ и другие распределения, имеющие предел простираения случайной переменной от нуля или положительного значения до бесконечности.

При надлежащем обосновании допускается применять двухпараметрические распределения, если эмпирическое отношение C_s/C_v и аналитическое отношение C_s/C_v , свойственные данной функции распределения, приблизительно равны. При неоднородности ряда гидрометрических наблюдений (различные условия формирования стока) применяют усеченные и составные кривые распределения вероятностей.

При любом способе определения расходов ряд наблюдений необходимо расположить в ранжированном порядке (в убывающем порядке) по расходу воды паводка.

Для каждого члена ряда необходимо определить ежегодную вероятность превышения по формуле (1) и *модульный коэффициент* рассматриваемой гидрологической характеристики, определяемый по формуле

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (2)$$

где \bar{Q}_i – погодичные значения расходов воды;

\bar{Q} – среднее многолетнее значение расходов воды, определяемое в зависимости от числа лет гидрометрических наблюдений n по формуле

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}. \quad (3)$$

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

По дисциплине предусмотрено выполнение расчетно–графической работы на тему «Определение расчетных максимальных расходов воды в створе расположения проектируемого мостового перехода на автомобильной дороге через водную преграду (при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности)».

Ряд наблюдений за максимальными расходами воды с 1968 по 2018 гг. представлен данными табл. 4.

Исходные данные принимаются по вариантам следующим образом: к значению расхода воды для 2018 года прибавляется значение, определяемое тремя последними цифрами учебного шифра обучаемого.

Таблица 4

Ряд непрерывных наблюдений за значениями максимального расхода воды

Данные ряда		Номер ряда	Данные ряда		Номер ряда
$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	год		$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	год	
2640,0	1968	1	464,2	1994	27
830,5	1969	2	482,9	1995	28
165,0	1970	3	256,3	1996	29
608,3	1971	4	291,5	1997	30
354,2	1972	5	590,7	1998	31
709,5	1973	6	235,4	1999	32
761,2	1974	7	226,6	2000	33
748,0	1975	8	1320,0	2001	34
1529	1976	9	1614,8	2002	35
511,5	1977	10	1382,7	2003	36
404,8	1978	11	624,8	2004	37
259,6	1979	12	1562,0	2005	38
522,5	1980	13	286,0	2006	39
357,5	1981	14	863,5	2007	40
193,6	1982	15	245,3	2008	41
258,5	1983	16	1079,1	2009	42
929,5	1984	17	1210,0	2010	43
577,5	1985	18	448,8	2011	44
1595	1986	19	215,6	2012	45
822,8	1987	20	309,1	2013	46
206,8	1988	21	1037,3	2014	47
280,5	1989	22	518,1	2015	48
347,6	1990	23	353,1	2016	49
148,5	1991	24	1644,5	2017	50
1386,0	1992	25	1284,8	2018	51
277,2	1993	26			

Например, для учебного шифра обучаемого 62531 значение расхода воды для 2018 года равно $1284,8 + 531 = 1815,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Определение расчетных гидрологических характеристик (максимальных расходов воды) производится тремя основными методами.

Метод наибольшего правдоподобия предполагает выполнение следующих этапов: 1) определение расчетного коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения методом наибольшего правдоподобия производится в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 ; 2) располагая данными значений коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s , производится определение ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения, которые наносятся на клетчатку вероятности, тем самым строится кривая вероятностей, по которой определяется модульный коэффициент для заданной вероятности превышения расходов воды; 3) определение максимального расхода воды для заданной вероятности превышения расходов воды.

Метод моментов предполагает выполнение следующих этапов:

1) расчет коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения и биномиального распределения;

2) определение ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения, которые наносятся на клетчатку вероятности, тем самым строится кривая вероятностей, по которой определяется модульный коэффициент для заданной вероятности; 3) определение максимального расхода воды для заданной вероятности превышения расходов воды.

Графоаналитический метод (метод Г.А. Алексеева) предполагает выполнение следующих этапов: 1) вычисление параметров Q , C_v и C_s с помощью трех характерных ординат сглаженной эмпирической кривой обеспеченности (величины максимальных расходов 5 %, 50 % и 95 %); 2) составление ряда ежегодных максимальных расходов в убывающем порядке; 3) вычисление эмпирической вероятности превышения каждого члена ряда и модульных коэффициентов, которые наносятся на клетчатку вероятностей; 4) определение максимального расхода воды для заданной вероятности превышения расходов воды.

Значение максимального расхода воды *принимается в качестве расчетного* в створе расположения проектируемого мостового перехода на автомобильной дороге через водную преграду.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

3.1. Определение расчетных гидрологических характеристик методом приближенно наибольшего правдоподобия

Согласно п. 5.5 СП 33–101–2003 коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s для трехпараметрического гамма-распределения Крицкого-Менкеля следует определять методом приближенно наибольшего правдоподобия в зависимости от статистик λ_2 и λ_3 , вычисляемых по формулам:

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1}, \quad (4)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i}{n-1}, \quad (5)$$

где k_i – модульный коэффициент рассматриваемой гидрологической характеристики, определяется по формуле (2).

По полученным значениям статистик λ_2 и λ_3 определяют коэффициенты вариации и асимметрии по номограммам (См. прил. 2 [2] и [3]).

Зная значения коэффициента вариации C_v и коэффициента асимметрии C_s , по прил. 3 определяют ординаты кривых трехпараметрического гамма-распределения, которые наносятся на клетчатку вероятности.

Обработку ряда наблюдений за максимальными расходами рекомендуется проводить по табличной форме 1, а расчет значений статистик по формулам (4) и (5) рекомендуется проводить по табличной форме 2.

Табличная форма 1

Обработка ряда непрерывных наблюдений за значениями максимального расхода воды (форма для обработки)

Данные ряда		Номер ряда	Ранжированные значения расхода воды $Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	$P_m, \%$	$\kappa_i, \%$
$Q_i, \text{ м}^3/\text{с}$	год				

Табличная форма 2

Параметры для определения статистик λ_2 и λ_3 (форма для обработки)

Номер ряда	κ_i	$\log K_i$	$\kappa_i \log \kappa_i$

Например, необходимо определить расчетный расход высокой воды с расчетной вероятностью превышения $P_{1\%} = 1$ методом наибольшего правдоподобия.

Среднемноголетний максимальный расход определен по формуле (3) и составляет $706,2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Для значений статистик $\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1} = \frac{-5,84465}{51-1} = -0,1169$ и

$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i}{n-1} = \frac{5,50502}{51-1} = 0,1101$ расчетный коэффициент вариации $C_v = 0,8$, а коэффициент асимметрии $C_s = 2,4 C_v$.

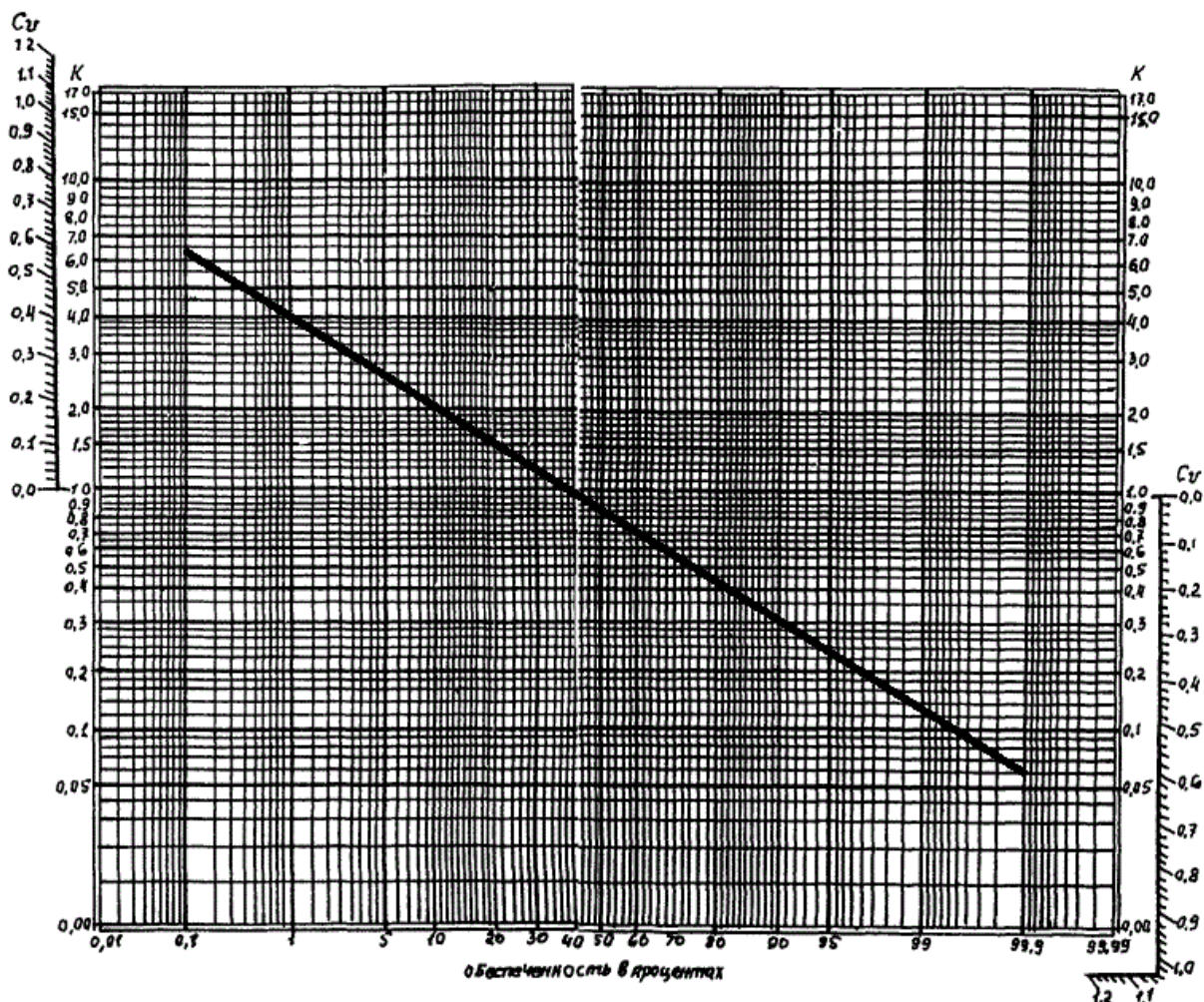
Для полученных значений C_v и C_s (соотношение $C_s / C_v = 3$) принимают значения ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения:

$P_{\%}$	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99
κ_i	6,31	4,96	4,64	3,92	3,3	2,51	1,97	1,45	1,29	1,15	0,95	0,78	0,65	0,53	0,47	0,41	0,29	0,21	0,17	0,12

С использованием значения ординат кривых трехпараметрического гамма-распределения строится кривая вероятностей (рисунок).

Значение расчетного модульного коэффициента $\kappa_{1\%} = 3,92$ будет соответствовать точке пересечения ординаты кривой с заданной вероятностью превышения, тогда расчетный расход при $P_{1\%} = 1$ составит

$$Q_{1\%} = \kappa_{1\%} \bar{Q} = 3,92 \cdot 706,2 = 2768,3 \text{ м}^3/\text{с}.$$



Кривая вероятностей для определения максимального расхода воды по клетчатке при $C_s/C_v = 3$ (метод приближенно наибольшего правдоподобия)

3.2. Определение расчетных гидрологических характеристик (максимальный расход воды) методом моментов

Методика определения расчетных гидрологических характеристик методом моментов приведена в п. 5.6 СП 33–101–2003.

Коэффициенты вариации C_v и асимметрии C_s определяют методом моментов по формулам

$$C_v = (a_1 + a_2 / n) + (a_3 + a_4 / n) \bar{C}_v + (a_5 + a_6 / n) (\bar{C}_v)^2, \quad (6)$$

$$C_v = (b_1 + b_2 / n) + (b_3 + b_4 / n) \overline{C}_s + (b_5 + b_6 / n) (\overline{C}_s)^2, \quad (7)$$

где $a_1, \dots, a_6; b_1, \dots, b_6$ – коэффициенты, определяемые по прил. 4 [4], для распределения Пирсона III типа и с помощью прил. 3 [2] для распределения Крицкого–Менкеля;

\overline{C}_v и \overline{C}_s – соответственно смещенные оценки коэффициентов вариации и асимметрии, определяемые по формулам:

$$\overline{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} \quad \text{и} \quad \overline{C}_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(\overline{C}_v)^3 (n - 1)(n - 2)}. \quad (8), (9)$$

При $C_v < 0,6$ и $C_s < 1,0$ коэффициенты вариации и асимметрии допускается определять по формулам (8) и (9) без введения поправок.

Определение C_v и C_s удобно определять по табличной форме

Табличная форма 3

Параметры для определения C_v и C_s

Номер ряда	K_i	$(K_i - 1)^2$	$(K_i - 1)^3$

3.3. Определение расчетных гидрологических характеристик (максимальный расход воды) графоаналитическим методом

На начальных стадиях проектирования допускается определение параметров биномиального распределения графоаналитическим методом, методика которого приведена в п. 5.11 СП 33–101–2003.

Метод разработан Г.А. Алексеевым и применяется также тогда, когда не представляется возможным произвести расчет теоретическими методами (метод наибольшего правдоподобия, метод моментов).

Параметры Q , C_v и C_s вычисляют с помощью трех характерных ординат сглаженной эмпирической кривой обеспеченности. Такими ординатами являются величины максимальных расходов 5 %, 50 % и 95 %, вычисляемых по формулам:

$$Q_{5\%} = \kappa_{5\%} \overline{Q}; \quad (10)$$

$$Q_{50\%} = \kappa_{50\%} \overline{Q}; \quad (11)$$

$$Q_{95\%} = \kappa_{95\%} \overline{Q}; \quad (12)$$

где $\kappa_{5\%}$, $\kappa_{50\%}$, $\kappa_{95\%}$ – модульные коэффициенты заданной вероятности.

Решают задачу следующим образом. Составляют ряд ежегодных максимальных расходов в убывающем порядке. По формулам (1) и (2) вычисляют эмпирическую вероятность превышения каждого члена этого ряда и модульные коэффициенты. Полученные данные наносят на клетчатку вероятностей.

По эмпирическим точкам проводят сглаженную кривую $k = f(p, \%)$ так, чтобы она как можно лучше соответствовала большинству точек в пределах $p = (5 \dots 95) \%$. С этой кривой снимают значения модульных коэффициентов 5 %, 50 % и 95 %-й обеспеченности ($F_{K5\%}$, $F_{K50\%}$ и $F_{K95\%}$).

Далее определяют значения расходов воды вероятности превышения соответственно 5 %, 50 %, 95 % ($Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$), установленные по сглаженной эмпирической кривой распределения.

Затем вычисляют коэффициент скошенности S кривой обеспеченности, который является функцией коэффициента асимметрии C_s .

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} + Q_{95\%}}. \quad (13)$$

Для полученных значений S по прил. 5 находят соответствующую величину коэффициента асимметрии C_s .

Далее определяют среднее квадратичное отклонение σ и среднее арифметическое значение \bar{Q} по формулам

$$\sigma = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\Phi_{5\%} - \Phi_{95\%}} \quad \text{и} \quad \bar{Q} = Q_{50\%} - \Phi_{50\%} \sigma, \quad (14), (15)$$

где $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$ и $\Phi_{95\%}$ – нормированные ординаты биномиальной кривой распределения, соответствующие вычисленному значению коэффициента скошенности S , которые определяются по прил. 5.

Коэффициент вариации C_v определяют по формуле

$$C_v = \sigma / \bar{Q}. \quad (16)$$

После установления параметров \bar{Q} , C_v и C_s строится кривая обеспеченности и определяется заданный расход по формуле

$$Q_{i\%} = K_{i\%} \bar{Q}. \quad (17)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 33384–2015. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование мостовых сооружений. Общие требования / Введен 2016–09–08. – Москва : Стандартинформ, 2016. – III, 20 с.
2. Пособие к СНиП 2.05.03–84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП–91) / Всесоюзный НИИ транспортного строительства (ЦНИИС). – Москва : ГК «Трансстрой», 1992. – 423 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик (в развитие СНиП 2.01.14–83) / Государственный гидрологический институт. – Л., Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
4. СП 33–101–2003. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. – Введен 2004–01–01. – Москва : Госстрой России, 2003. – II, 70 с.
5. СП 34.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги / Введен 2013–07–01. – Москва : Госстрой России, 2013. – IV, 108 с.
6. СП 35.13330.2011. Свод правил. Мосты и трубы / Введен 2011–05–20. – Москва : ОАО «ЦПП», 2011. – VI, 340 с.
7. СП 42.13330.2016. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений / Введен 2017–07–01. – Москва : Минстрой России, 2016. – VI, 94 с.

Спрямяющие клетчатки трехпараметрического
гамма-распределения (Приложение 7.1 ПМП-91 [2])

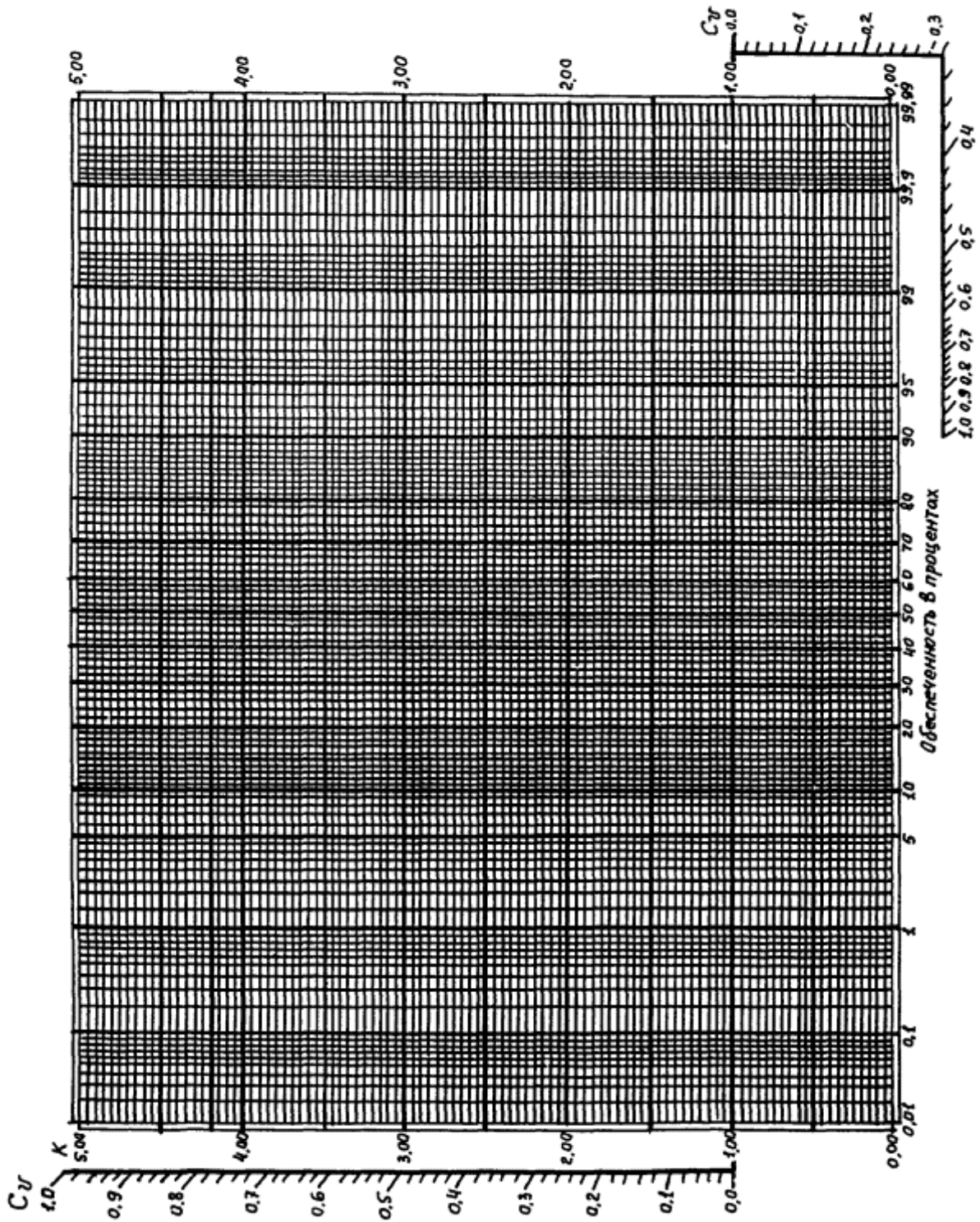


Рис. П1.1. Клетчатка вероятности, спрямяющая кривые обеспеченности при $C_s = 0$

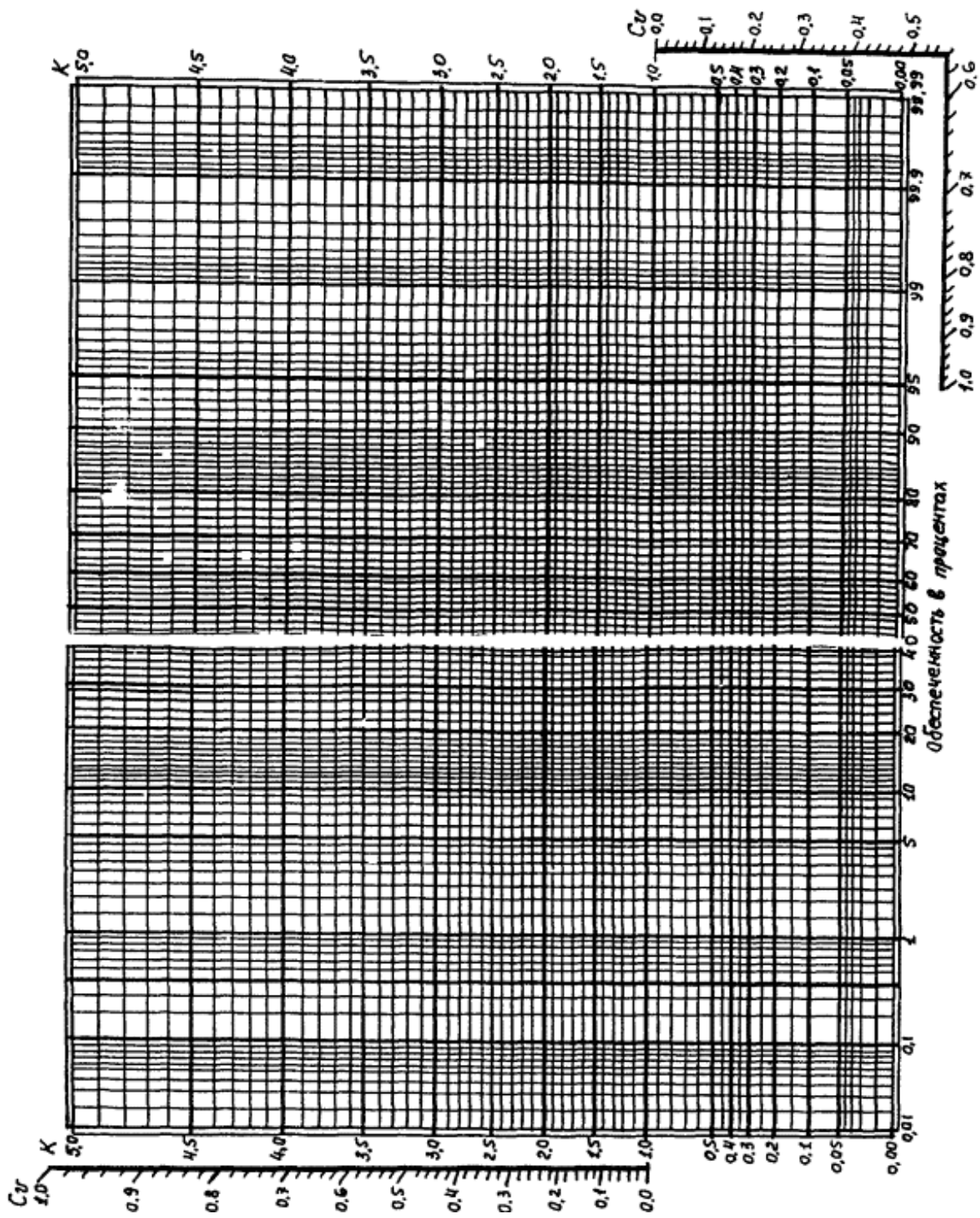


Рис. П1.2. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = C_v$

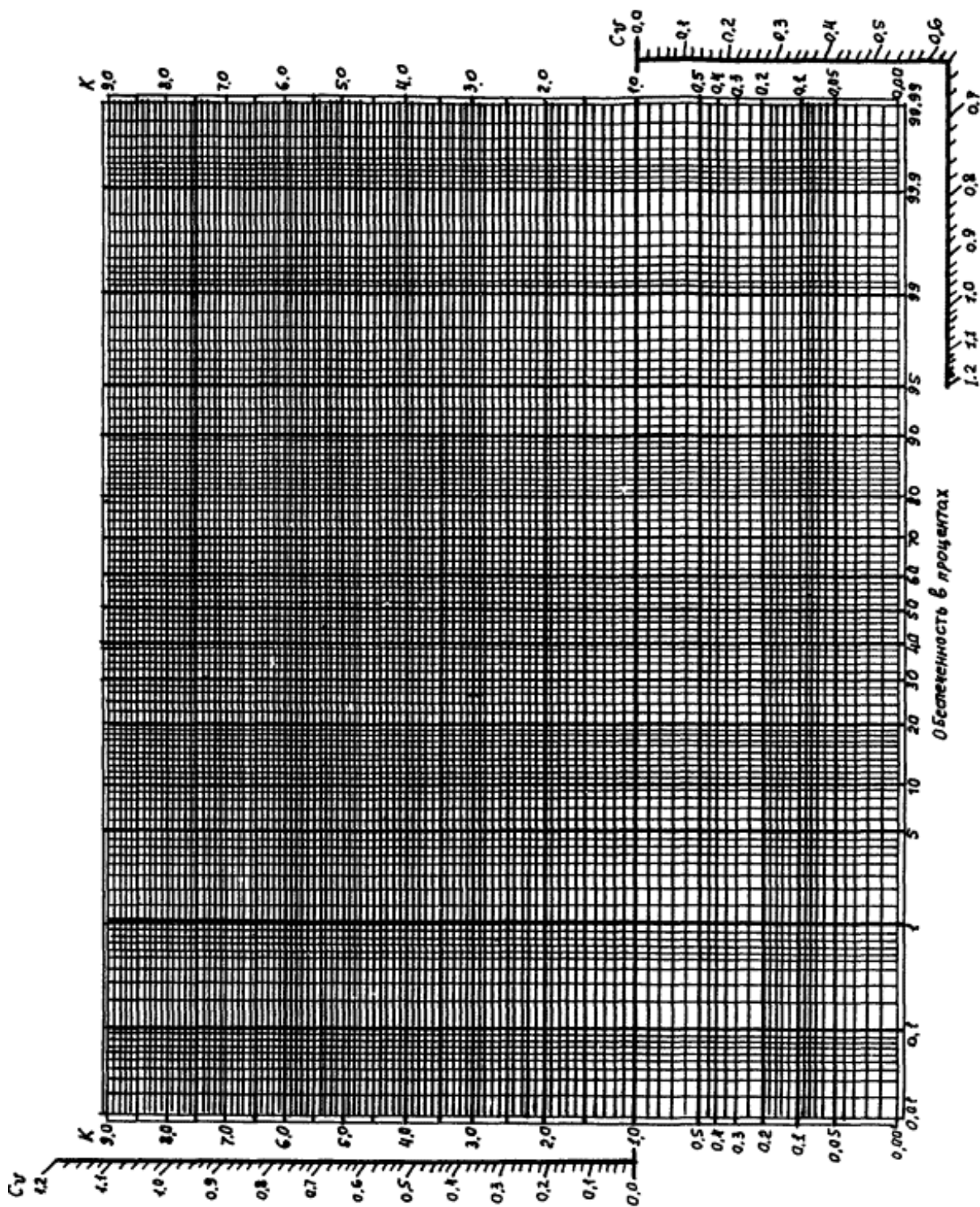


Рис. П1.3. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = 1,5 C_v$

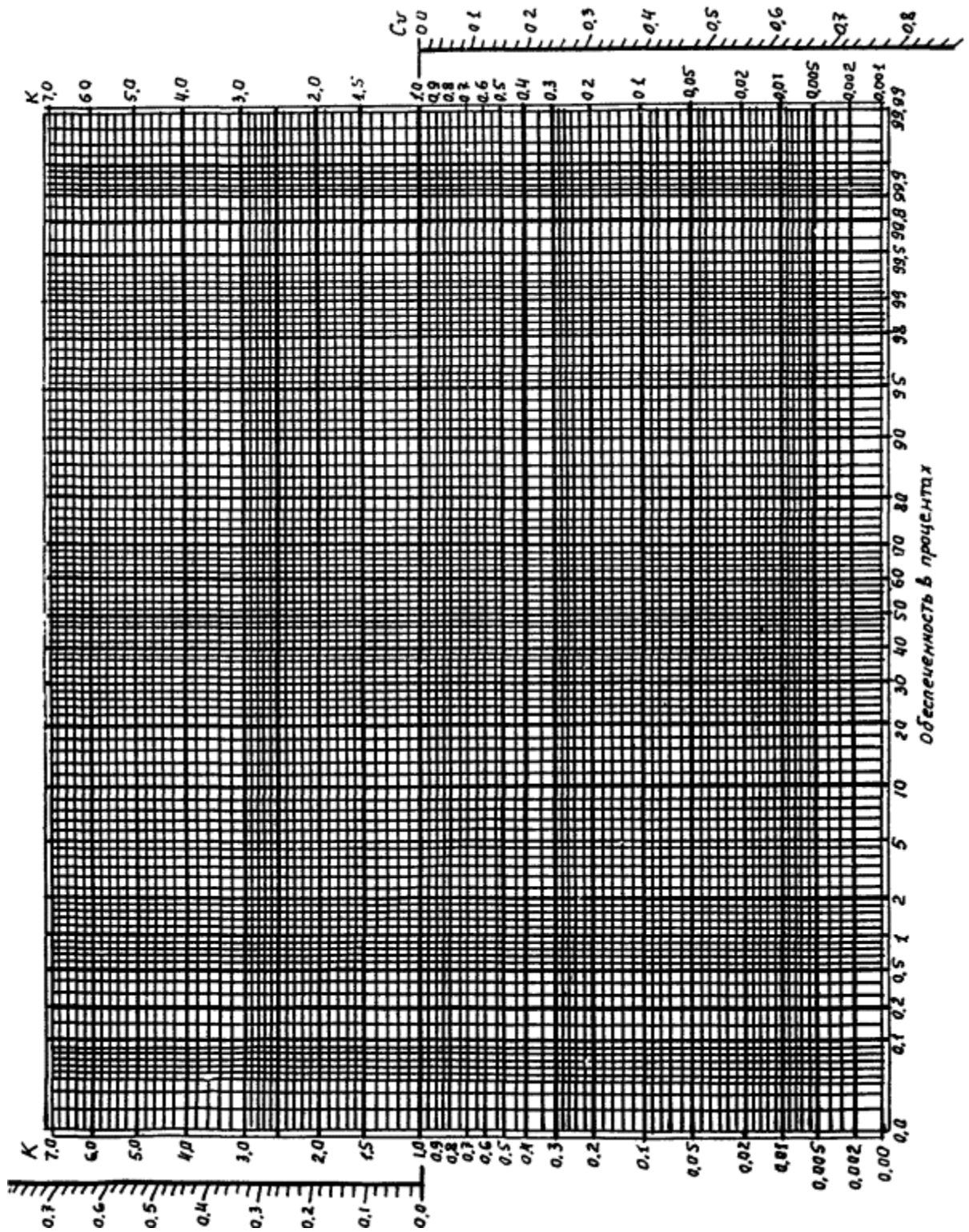


Рис. П1.4. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = 2 C_v$

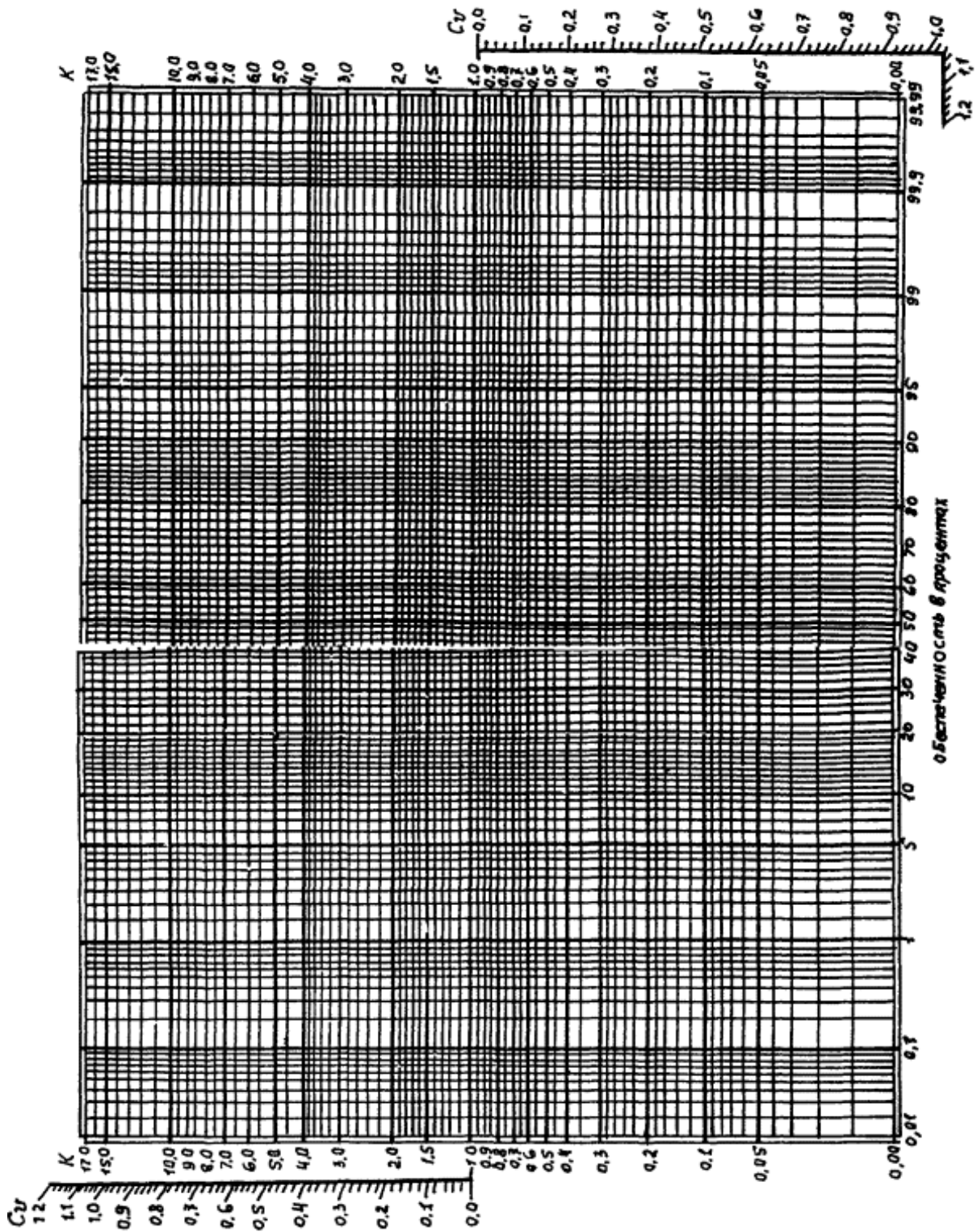


Рис. П1.5. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = 3 C_v$

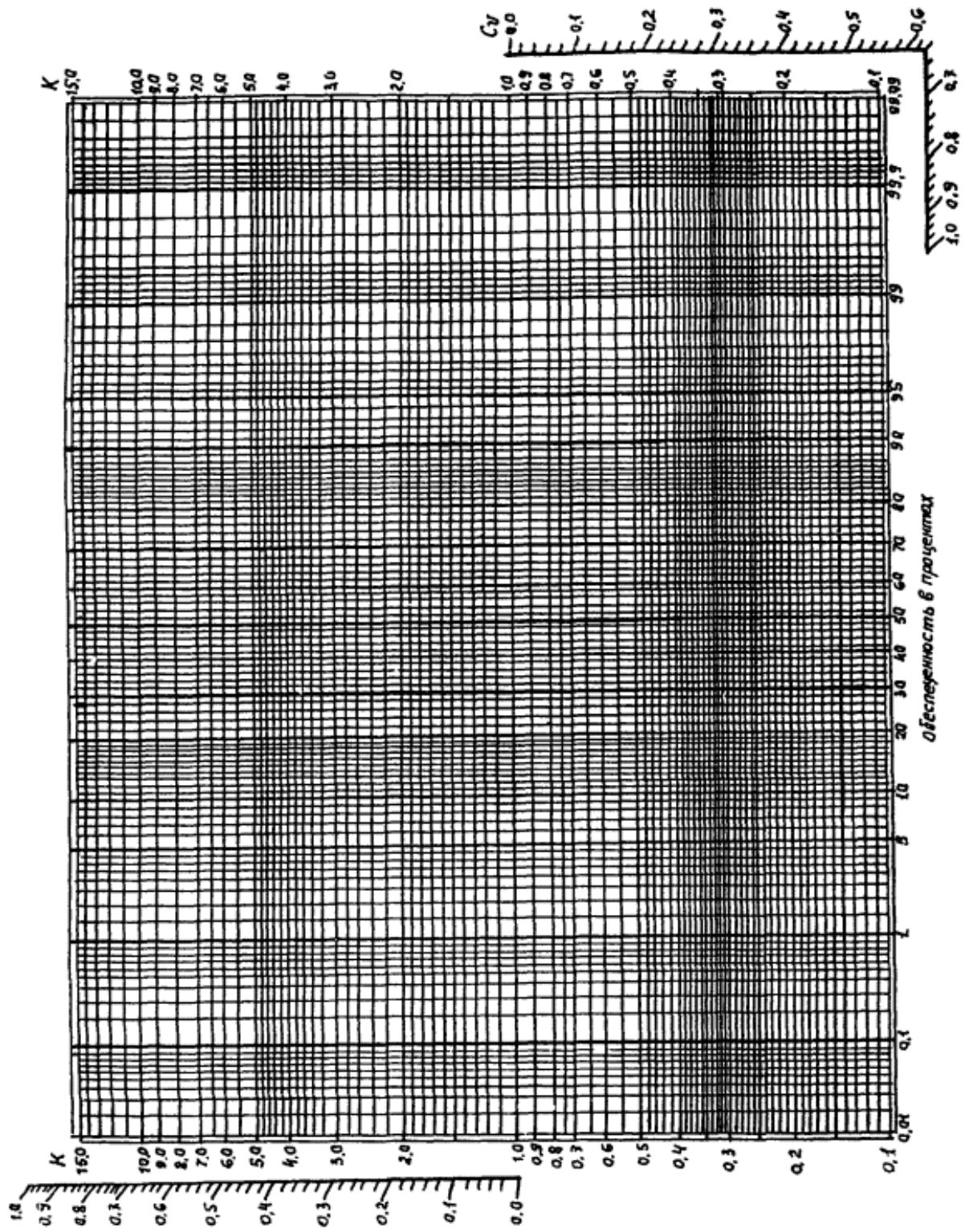


Рис. П1.6. Клетчатка вероятности, спрямляющая кривые обеспеченности при $C_s = 4 C_v$

Номограммы для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия (Приложение 7.2 ПМП-91 [2])

Рис. П2.1. Номограмма для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия (при $C_v = 0,2 \dots 0,4$)

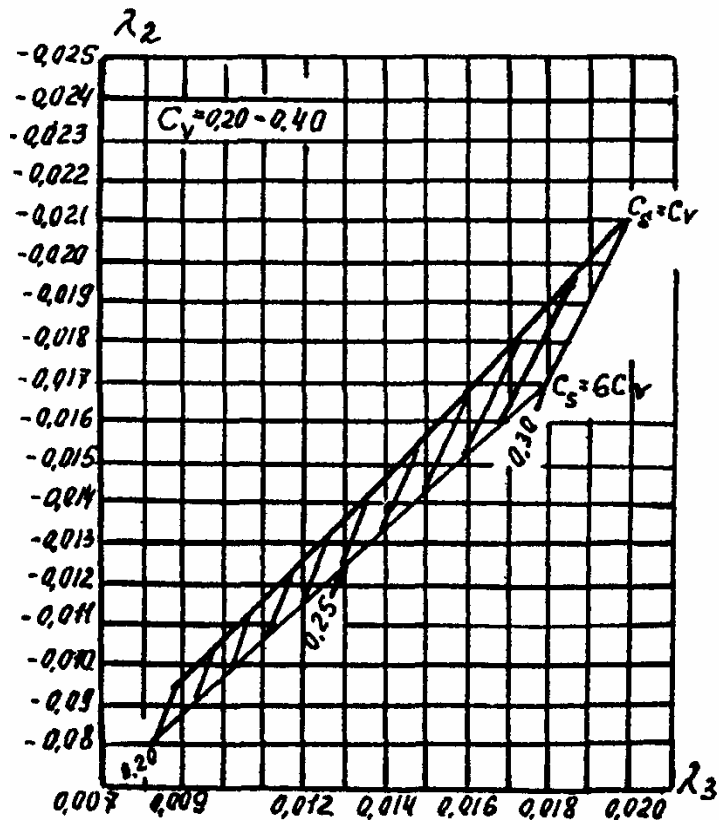
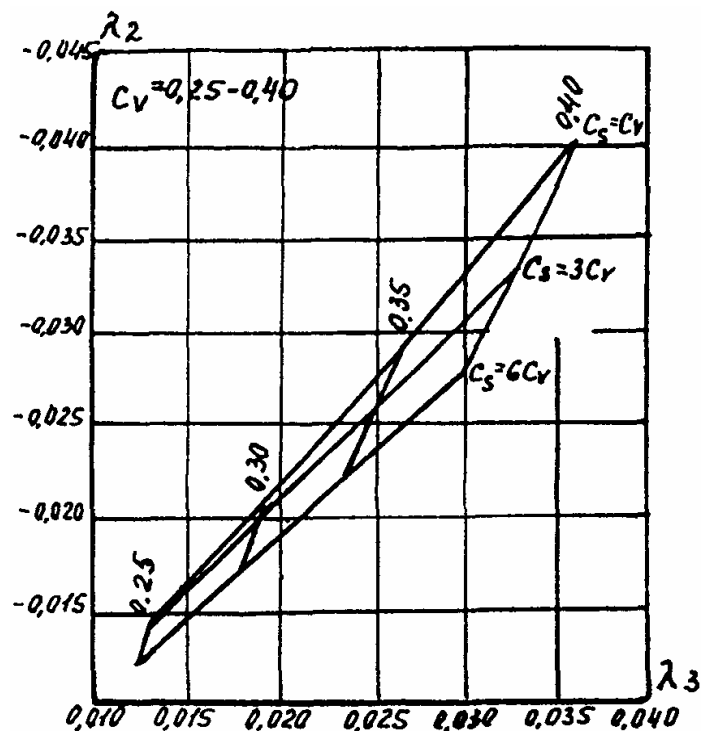


Рис. П2.2. Номограмма для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия (при $C_v = 0,25 \dots 0,40$)



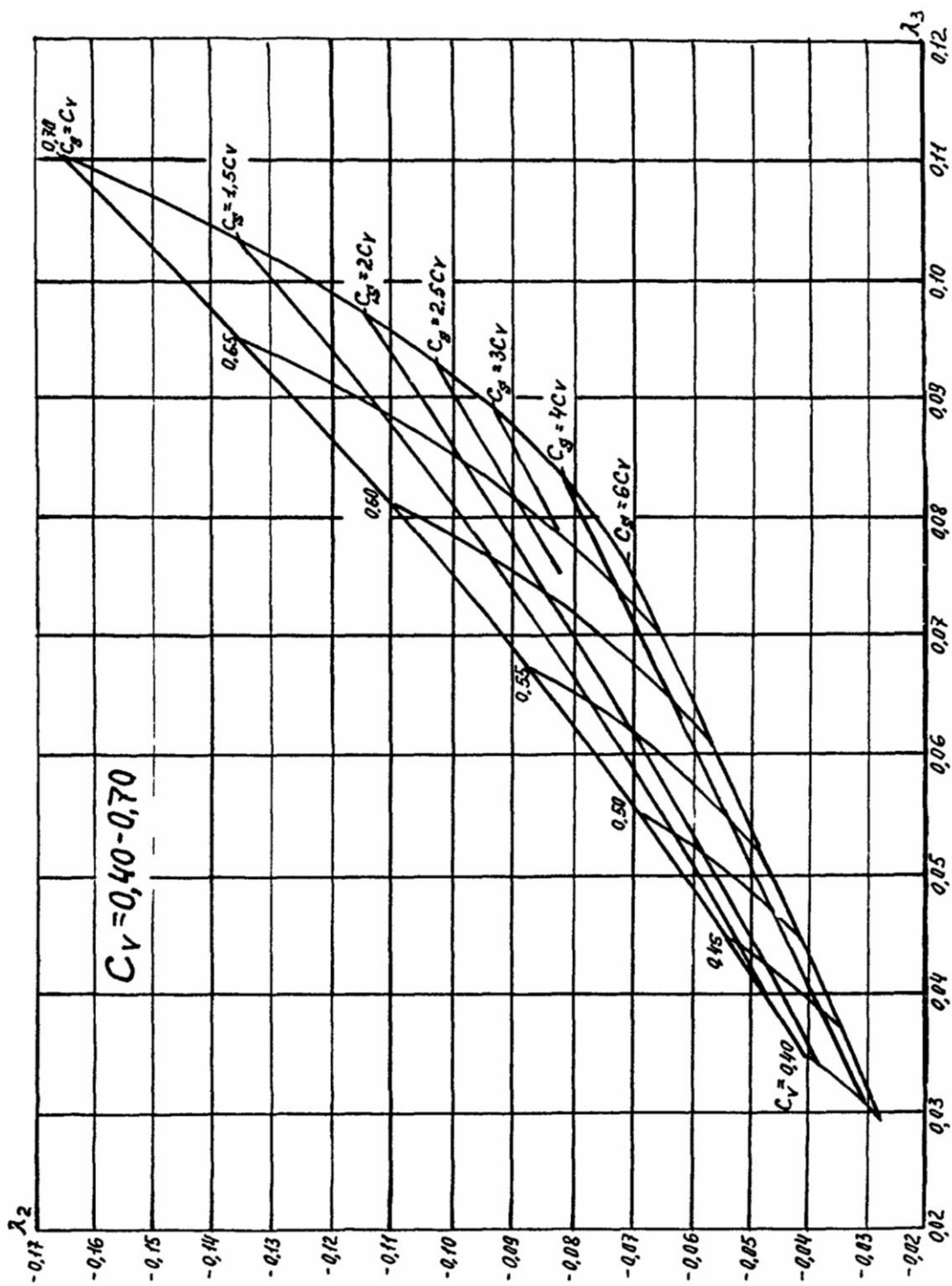


Рис. П2.3. Номограмма для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия (при $C_v = 0,40 \dots 0,70$)

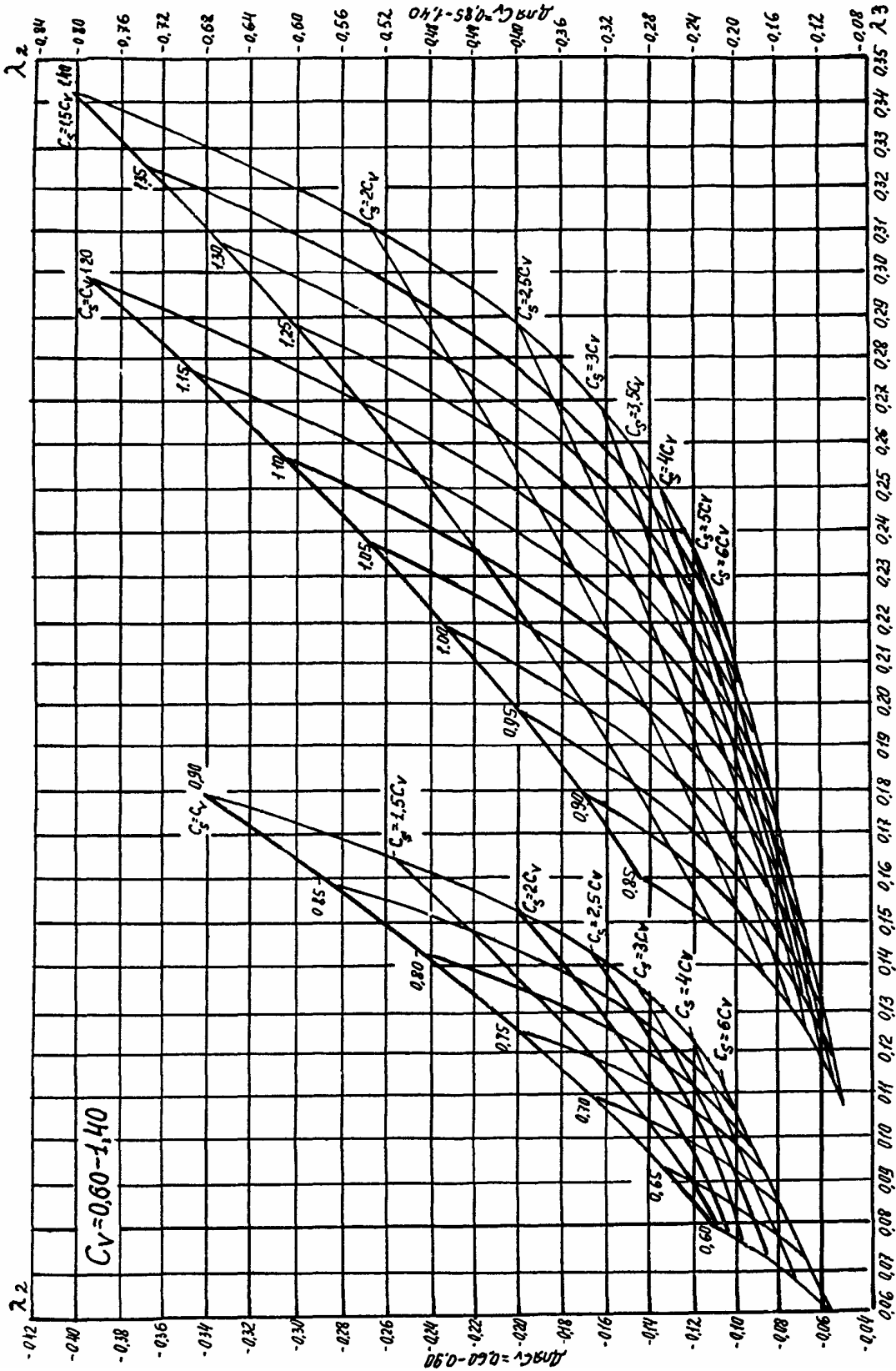


Рис. П2.4. Номограмма для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом наибольшего правдоподобия

Приложение 3

Ординаты кривых распределения вероятностей (по С.Н. Крицкому и М.Ф. Менкелю. Приложение 7.3 ПМП–91 [2], выдержка)

Таблица ПЗ.1

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 1,0)$									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,10	1,32	1,67	2,03	2,39	2,77	3,14	2,48	3,82	4,13	4,44
0,33	1,28	1,58	1,88	2,21	2,53	2,86	3,18	3,48	3,80	4,12
0,5	1,27	1,55	1,84	2,15	2,45	2,76	3,06	3,37	3,68	4,00
1	1,24	1,49	1,75	2,03	2,31	2,59	2,87	3,15	3,45	3,78
2	1,21	1,43	1,64	1,90	2,14	2,38	2,63	2,89	3,18	3,49
5	1,17	1,34	1,52	1,70	1,90	2,10	2,31	2,52	2,76	3,04
10	1,13	1,26	1,39	1,53	1,68	1,83	1,99	2,16	2,35	2,57
20	1,08	1,17	1,25	1,34	1,42	1,51	1,59	1,69	1,78	1,88
25	1,06	1,13	1,19	1,26	1,33	1,41	1,47	1,52	1,58	1,62
30	1,05	1,10	1,15	1,20	1,24	1,29	1,34	1,38	1,40	1,39
40	1,02	1,04	1,06	1,08	1,09	1,10	1,10	1,10	1,05	0,99
50	1,00	0,99	0,99	0,97	0,96	0,93	0,89	0,83	0,76	0,67
60	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83	0,79	0,71	0,61	0,51	0,40
70	0,95	0,89	0,83	0,77	0,70	0,62	0,51	0,41	0,30	0,21
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,62	0,53	0,42	0,31	0,21	0,14
80	0,91	0,83	0,74	0,65	0,55	0,45	0,35	0,24	0,15	0,09
90	0,88	0,75	0,63	0,50	0,38	0,26	0,17	0,09	0,04	0,02
95	0,84	0,68	0,53	0,38	0,26	0,15	0,08	0,04	0,01	0,00
97	0,82	0,64	0,48	0,33	0,21	0,11	0,05	0,02	0,00	0,00
99	0,78	0,57	0,38	0,23	0,12	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00
99,5	0,76	0,53	0,34	0,18	0,09	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
99,7	0,74	0,50	0,31	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
99,9	0,70	0,45	0,25	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица ПЗ.2

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 1,5)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,33	1,70	2,11	2,54	3,02	3,53	4,05	4,60	5,21	5,82	6,50	7,18
0,33	1,28	1,60	1,94	2,31	2,70	3,12	3,55	4,02	4,52	5,04	5,56	6,10
0,5	1,27	1,57	1,90	2,24	2,60	3,00	3,42	3,85	4,32	4,79	5,30	5,87
1	1,24	1,51	1,79	2,09	2,41	2,76	3,11	3,49	3,90	4,31	4,73	5,21
2	1,21	1,44	1,68	1,94	2,21	2,49	2,79	3,10	3,42	3,76	4,14	4,48
5	1,17	1,34	1,53	1,72	1,92	2,13	2,35	2,56	2,80	3,05	3,28	3,54
10	1,13	1,26	1,40	1,54	1,69	1,82	1,96	2,11	2,27	2,42	2,56	2,70
20	1,10	1,17	1,25	1,32	1,41	1,48	1,55	1,61	1,67	1,72	1,75	1,77
25	1,07	1,13	1,19	1,25	1,30	1,35	1,40	1,43	1,46	1,49	1,48	1,47
30	1,05	1,10	1,14	1,18	1,20	1,24	1,26	1,28	1,30	1,29	1,26	1,25
40	1,03	1,02	1,07	1,06	1,06	1,06	1,05	1,03	1,00	0,95	0,90	0,84
50	1,00	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,62	0,54
60	0,97	0,94	0,90	0,86	0,81	0,76	0,70	0,63	0,56	0,48	0,40	0,34
70	0,95	0,89	0,83	0,76	0,69	0,62	0,55	0,46	0,38	0,30	0,23	0,17

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 1,5)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,55	0,46	0,38	0,30	0,22	0,16	0,11
80	0,91	0,83	0,74	0,65	0,57	0,47	0,39	0,31	0,23	0,16	0,11	0,07
90	0,87	0,75	0,63	0,52	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,03	0,01
95	0,84	0,69	0,55	0,42	0,31	0,21	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00
97	0,82	0,65	0,50	0,36	0,25	0,15	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
99	0,78	0,58	0,41	0,27	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99,5	0,76	0,55	0,36	0,22	0,12	0,06	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
99,7	0,74	0,52	0,33	0,20	0,11	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
99,9	0,72	0,47	0,28	0,15	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица П3.3

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 2,0)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,34	1,73	2,19	2,70	3,27	3,89	4,57	5,30	6,08	6,91	7,76	8,65
0,33	1,29	1,62	2,00	2,42	2,87	3,36	3,88	4,47	5,06	5,68	6,32	6,90
0,5	1,28	1,59	1,94	2,33	2,74	3,20	3,68	4,19	4,73	5,30	5,88	6,50
1	1,25	1,52	1,83	2,16	2,51	2,89	3,29	3,71	4,15	4,61	5,06	5,30
2	1,22	1,45	1,72	1,99	2,27	2,58	2,89	3,24	3,53	3,85	4,22	4,47
5	1,17	1,35	1,54	1,74	1,94	2,15	2,36	2,57	2,78	3,00	3,21	3,45
10	1,13	1,26	1,40	1,53	1,67	1,81	1,94	2,06	2,19	2,30	2,41	2,50
20	1,08	1,16	1,24	1,31	1,38	1,44	1,49	1,54	1,58	1,61	1,62	1,62
25	1,07	1,13	1,18	1,23	1,28	1,31	1,34	1,37	1,38	1,39	1,37	1,34
30	1,05	1,09	1,13	1,17	1,19	1,21	1,22	1,22	1,22	1,20	1,18	1,13
40	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,01	0,99	0,96	0,92	0,87	0,81
50	1,00	0,99	0,97	0,95	0,92	0,88	0,84	0,80	0,75	0,69	0,64	0,58
60	0,97	0,94	0,90	0,85	0,80	0,75	0,69	0,63	0,57	0,51	0,45	0,40
70	0,95	0,89	0,82	0,76	0,69	0,62	0,55	0,49	0,42	0,36	0,31	0,26
75	0,93	0,86	0,78	0,71	0,63	0,56	0,49	0,42	0,35	0,29	0,24	0,19
80	0,92	0,83	0,75	0,66	0,57	0,49	0,42	0,35	0,28	0,22	0,17	0,13
90	0,87	0,75	0,64	0,53	0,44	0,35	0,27	0,21	0,15	0,11	0,07	0,05
95	0,84	0,70	0,56	0,45	0,34	0,25	0,18	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02
97	0,82	0,66	0,52	0,39	0,29	0,20	0,14	0,09	0,05	0,33	0,02	0,01
99	0,78	0,59	0,44	0,31	0,21	0,13	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
99,5	0,76	0,56	0,40	0,27	0,17	0,10	0,05	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
99,7	0,75	0,54	0,37	0,24	0,15	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
99,9	0,72	0,49	0,32	0,19	0,11	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Таблица П3.4

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 3,0)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,35	1,80	2,36	3,00	3,75	4,58	5,43	6,31	7,33	8,43	9,49	10,68
0,33	1,30	1,67	2,08	2,60	3,18	3,74	4,16	4,96	5,68	6,44	7,16	8,05
0,5	1,29	1,63	2,02	2,48	3,00	3,50	4,06	4,64	5,21	5,85	6,50	7,10
1	1,25	1,55	1,88	2,25	2,66	3,07	3,49	3,92	4,40	4,88	5,37	5,79
2	1,22	1,47	1,75	2,03	2,33	2,55	2,96	3,30	3,64	4,00	4,30	4,65
5	1,17	1,36	1,54	1,75	1,94	2,14	2,35	2,51	2,70	2,89	3,05	3,23
10	1,14	1,26	1,39	1,52	1,63	1,76	1,87	1,97	2,09	2,15	2,24	2,31
20	1,09	1,16	1,23	1,29	1,33	1,38	1,42	1,45	1,47	1,49	1,49	1,50

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 3,0)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
25	1,07	1,12	1,17	1,21	1,23	1,26	1,27	1,29	1,28	1,28	1,27	1,27
30	1,05	1,09	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,08
40	1,02	1,03	1,03	1,03	1,01	1,00	0,97	0,95	0,91	0,88	0,85	0,81
50	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,78	0,74	0,70	0,66	0,61
60	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,74	0,69	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46
70	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,64	0,58	0,53	0,47	0,42	0,37	0,33
75	0,93	0,86	0,79	0,72	0,65	0,58	0,52	0,47	0,41	0,36	0,31	0,27
80	0,91	0,83	0,75	0,67	0,60	0,53	0,47	0,41	0,36	0,31	0,26	0,22
90	0,87	0,76	0,66	0,57	0,48	0,41	0,34	0,29	0,24	0,19	0,16	0,12
95	0,84	0,71	0,59	0,49	0,41	0,33	0,26	0,21	0,17	0,13	0,10	0,07
97	0,83	0,68	0,55	0,45	0,36	0,28	0,22	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05
99	0,79	0,62	0,48	0,37	0,29	0,21	0,16	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03
99,5	0,77	0,59	0,45	0,34	0,25	0,18	0,12	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02
99,7	0,76	0,57	0,43	0,31	0,23	0,16	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01
99,9	0,73	0,53	0,38	0,27	0,19	0,13	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01

Таблица П3.5

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 4,0)$												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
0,10	1,38	1,87	2,53	3,29	4,20	5,07	6,05	7,08	8,12	9,25	10,42	11,65	15,20
0,33	1,32	1,71	2,20	2,74	3,34	4,00	4,60	5,28	5,96	6,67	7,40	8,20	10,50
0,5	1,30	1,67	2,10	2,60	3,13	3,69	4,25	4,81	5,43	6,02	6,65	7,31	9,17
1	1,25	1,58	1,94	2,34	2,77	3,17	3,59	4,01	4,43	4,90	5,35	5,82	7,09
2	1,21	1,48	1,77	2,07	2,38	2,72	3,00	3,28	3,55	3,90	4,25	4,58	5,50
5	1,17	1,36	1,55	1,75	1,93	2,11	2,28	2,45	2,60	2,77	2,92	3,07	3,50
10	1,11	1,26	1,38	1,51	1,61	1,72	1,82	1,90	2,00	2,05	2,12	2,18	2,35
20	1,08	1,15	1,21	1,26	1,31	1,34	1,37	1,40	1,41	1,42	1,43	1,43	1,43
25	1,06	1,11	1,15	1,19	1,21	1,23	1,23	1,24	1,25	1,24	1,24	1,22	1,20
30	1,05	1,08	1,10	1,12	1,13	1,13	1,12	1,12	1,10	1,09	1,07	1,06	0,98
40	1,02	1,03	1,02	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,81	0,72
50	0,99	0,98	0,95	0,92	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,67	0,63	0,51
60	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79	0,75	0,70	0,66	0,62	0,57	0,53	0,49	0,36
70	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,65	0,60	0,55	0,50	0,46	0,42	0,38	0,26
75	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,37	0,32	0,20
80	0,91	0,83	0,75	0,68	0,61	0,55	0,50	0,45	0,40	0,36	0,31	0,27	0,16
90	0,88	0,77	0,67	0,59	0,51	0,44	0,38	0,33	0,29	0,25	0,21	0,18	0,09
95	0,85	0,72	0,61	0,52	0,44	0,37	0,32	0,26	0,22	0,18	0,15	0,12	0,04
97	0,83	0,69	0,58	0,48	0,40	0,33	0,27	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,03
99	0,80	0,64	0,52	0,42	0,34	0,27	0,22	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,02
99,5	0,78	0,61	0,49	0,39	0,30	0,24	0,19	0,15	0,11	0,08	0,06	0,05	0,02
99,7	0,77	0,60	0,47	0,37	0,29	0,22	0,17	0,13	0,10	0,07	0,05	0,04	0,01
99,9	0,75	0,56	0,43	0,33	0,25	0,19	0,14	0,10	0,08	0,05	0,04	0,03	0,00

Таблица П3.6

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 5,0)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,10	1,40	1,95	2,66	3,51	4,44	5,40	6,43	7,54	8,64	9,83	10,96	12,14
0,33	1,33	1,76	2,27	2,88	3,44	4,20	4,76	5,50	6,20	6,90	7,70	8,20

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 5,0)$											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,5	1,31	1,70	2,16	2,69	3,21	3,77	4,34	4,93	5,52	6,17	6,85	7,35
1	1,27	1,61	1,98	2,38	2,79	3,21	3,65	4,06	4,50	4,94	5,33	5,75
2	1,23	1,50	1,78	2,10	2,40	2,72	3,00	3,35	3,65	3,92	4,20	4,50
5	1,17	1,36	1,55	1,74	1,90	2,08	2,22	2,41	2,54	2,71	2,85	2,98
10	1,13	1,26	1,37	1,49	1,60	1,70	1,79	1,86	1,94	2,00	2,05	2,11
20	1,08	1,15	1,21	1,25	1,30	1,32	1,34	1,36	1,36	1,39	1,40	1,41
25	1,06	1,11	1,15	1,17	1,20	1,20	1,20	1,22	1,22	1,22	1,20	1,20
30	1,05	1,08	1,09	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,09	1,08	1,06	1,04
40	1,02	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,94	0,92	0,90	0,87	0,84	0,81
50	0,99	0,97	0,94	0,92	0,88	0,85	0,82	0,78	0,75	0,71	0,68	0,65
60	0,97	0,93	0,88	0,84	0,79	0,75	0,71	0,67	0,63	0,58	0,55	0,51
70	0,94	0,88	0,82	0,77	0,71	0,66	0,61	0,56	0,52	0,48	0,44	0,41
75	0,93	0,86	0,79	0,73	0,67	0,62	0,56	0,51	0,47	0,42	0,39	0,36
80	0,91	0,83	0,75	0,69	0,63	0,57	0,52	0,47	0,42	0,37	0,34	0,31
90	0,88	0,77	0,68	0,61	0,53	0,47	0,41	0,36	0,32	0,27	0,24	0,21
95	0,84	0,73	0,63	0,55	0,47	0,40	0,34	0,29	0,25	0,21	0,18	0,15
97	0,82	0,70	0,60	0,51	0,43	0,36	0,31	0,26	0,22	0,18	0,15	0,12
99	0,78	0,66	0,55	0,45	0,37	0,31	0,25	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08
99,5	0,76	0,63	0,52	0,42	0,34	0,28	0,23	0,18	0,14	0,11	0,09	0,07
99,7	0,75	0,62	0,51	0,41	0,32	0,26	0,21	0,16	0,12	0,10	0,08	0,06
99,9	0,73	0,59	0,47	0,37	0,29	0,23	0,18	0,14	0,10	0,08	0,06	0,04

Таблица П3.7

$p, \%$	Ординаты кривых распределения вероятностей при $C_v (C_s/C_v = 6,0)$												
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
0,10	1,41	2,02	2,80	3,68	4,58	5,54	6,57	7,63	8,79	10,00	11,18	12,39	15,55
0,33	1,34	1,80	2,34	2,92	3,55	4,20	4,84	5,48	6,16	6,88	7,60	8,30	10,20
0,5	1,32	1,74	2,22	2,73	3,26	3,82	4,38	4,93	5,51	6,11	6,71	7,31	9,08
1	1,29	1,63	2,01	2,40	2,81	3,22	3,63	4,03	4,44	4,86	5,27	5,69	6,95
2	1,24	1,51	1,80	2,10	2,38	2,68	2,98	3,29	3,57	3,84	4,14	4,40	5,25
5	1,18	1,37	1,55	1,73	1,89	2,05	2,20	2,36	2,51	2,66	2,80	2,90	3,25
10	1,14	1,26	1,37	1,47	1,56	1,66	1,73	1,82	1,90	1,96	2,03	2,08	2,22
20	1,08	1,14	1,19	1,23	1,27	1,30	1,32	1,34	1,36	1,37	1,37	1,38	1,40
25	1,07	1,10	1,13	1,16	1,18	1,19	1,20	1,21	1,20	1,20	1,20	1,19	1,17
30	1,04	1,07	1,08	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,05	1,04	1,00
40	1,02	1,02	1,01	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89	0,87	0,85	0,82	0,74
50	0,99	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,82	0,79	0,75	0,72	0,68	0,66	0,57
60	0,96	0,92	0,88	0,84	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,43
70	0,94	0,88	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,58	0,54	0,49	0,45	0,42	0,32
75	0,93	0,80	0,80	0,74	0,68	0,63	0,58	0,53	0,49	0,44	0,40	0,37	0,27
80	0,91	0,84	0,77	0,70	0,64	0,58	0,53	0,48	0,44	0,39	0,35	0,32	0,24
90	0,88	0,78	0,70	0,62	0,55	0,49	0,43	0,38	0,33	0,29	0,26	0,22	0,14
95	0,85	0,74	0,65	0,56	0,49	0,43	0,37	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,10
97	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,39	0,33	0,28	0,24	0,20	0,17	0,14	0,07
99	0,80	0,67	0,57	0,48	0,40	0,33	0,28	0,23	0,19	0,15	0,12	0,10	0,04
99,5	0,78	0,65	0,55	0,45	0,37	0,31	0,25	0,20	0,17	0,13	0,10	0,08	0,03
99,7	0,76	0,64	0,53	0,43	0,36	0,29	0,24	0,19	0,15	0,12	0,09	0,07	0,02
99,9	0,75	0,61	0,50	0,40	0,33	0,26	0,21	0,16	0,12	0,09	0,08	0,06	0,01

Значения коэффициентов *a* и *b*

Значение C_s / C_v	$r(1)$	Коэффициенты						
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	
2	0	0	0,19	0,99	-0,88	0,01	1,54	
	0,3	0	0,22	0,99	-0,41	0,01	1,51	
	0,5	0	0,18	0,98	0,41	0,02	1,47	
3	0	0	0,69	0,98	-4,34	0,01	6,78	
	0,3	0	1,15	1,02	-7,53	-0,04	12,38	
	0,5	0	1,75	1,00	-11,79	-0,05	21,13	
4	0	0	1,36	1,02	-9,68	-0,05	15,55	
	0,3	-0,02	2,61	1,13	-19,85	-0,22	34,15	
	0,5	-0,02	3,47	1,18	-29,71	-0,41	58,08	
	$r(1)$	Коэффициенты						
		b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	
		0	0,03	2,00	0,92	-5,09	0,03	8,10
		0,3	0,03	1,77	0,93	-3,45	0,03	8,03
		0,5	0,03	1,63	0,92	-0,97	0,03	7,94

Несмещенную оценку коэффициента автокорреляции между смежными членами ряда $r(1)$ определяют по формуле

$$r(1) = -0,01 + 0,98 r(1) - 0,06 [r(1)]^2 + \left\{ 1,66 + 6,46 r(1) + 5,69 [r(1)]^2 \right\}^{\frac{1}{n}}, \quad (\text{Б.1})$$

где смещенную оценку определяют по формуле

$$r(1) = \frac{\sum_{i=2}^n (q_i - \bar{q}_1)(q_{i-1} - \bar{q}_2)}{\sqrt{\sum_{i=2}^n (q_i - \bar{q}_1)^2 \sum_{i=1}^{n-1} (q_i - \bar{q}_2)^2}}. \quad (\text{Б.2})$$

$$\text{Здесь } \bar{q}_1 = \frac{\sum_{i=2}^n q_i}{n-1}; \quad \bar{q}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} q_i}{n-1}. \quad (\text{Б.3})$$

⁷ Таблица Б.1, Приложение Б (обязательное) СП 33–101–2003

Приложение 5

**Отклонения ординат кривой вероятностей Пирсона III типа (Φ)
от середины при $x = 1$ и $C_v = 1$ (по Фостеру–Рыбкину)
приложение 7.4 ПМП–91 [2], выдержка)**

C_s	Вероятность превышения, %						
	0,1	0,33	1	2	5	50	95
0,00	3,09	2,75	2,33	2,04	1,64	-0,00	-1,64
0,05	3,16	2,76	2,36	2,07	1,65	-0,01	-1,62
0,10	3,23	2,82	2,40	2,10	1,67	-0,02	-1,61
0,15	3,31	2,88	2,44	2,11	1,68	-0,02	-1,60
0,20	3,38	2,93	2,47	2,15	1,70	-0,03	-1,58
0,25	3,45	2,99	2,50	2,18	1,71	-0,04	-1,56
0,30	3,52	3,04	2,54	2,20	1,72	-0,05	-1,55
0,35	3,59	3,10	2,58	2,22	1,73	-0,06	-1,53
0,40	3,66	3,15	2,61	2,25	1,75	-0,07	-1,52
0,45	3,74	3,20	2,64	2,26	1,76	-0,08	-1,51
0,50	3,81	3,27	2,68	2,30	1,77	-0,08	-1,49
0,55	3,88	3,31	2,72	2,32	1,78	-0,09	-1,47
0,60	3,96	3,36	2,75	2,34	1,80	-0,10	-1,45
0,65	4,03	3,40	2,78	2,35	1,81	-0,11	-1,44
0,70	4,10	3,48	2,82	2,37	1,82	-0,12	-1,42
0,75	4,17	3,52	2,86	2,41	1,83	-0,12	-1,40
0,80	4,24	3,60	2,89	2,43	1,84	-0,13	-1,38
0,85	4,31	3,64	2,92	2,45	1,85	-0,14	-1,36
0,90	4,38	3,70	2,96	2,48	1,86	-0,15	-1,35
0,95	4,46	3,75	2,99	2,50	1,87	-0,16	-1,34
1,00	4,55	3,81	3,02	2,53	1,88	-0,16	-1,32
1,05	4,60	3,86	3,06	2,54	1,88	-0,17	-1,30
1,10	4,67	3,88	3,09	2,56	1,89	-0,18	-1,28
1,15	4,74	3,95	3,12	2,59	1,90	-0,18	-1,26
1,20	4,81	4,04	3,15	2,61	1,91	-0,19	-1,24
1,25	4,88	4,05	3,18	2,62	1,92	-0,20	-1,22
1,30	4,95	4,08	3,21	2,64	1,92	-0,21	-1,20
1,35	5,02	4,10	3,24	2,66	1,93	-0,22	-1,18
1,40	5,09	4,12	3,27	2,67	1,94	-0,22	-1,17
1,45	5,16	4,20	3,30	2,69	1,94	-0,23	-1,15
1,50	5,23	4,28	3,33	2,71	1,95	-0,24	-1,13
1,55	5,30	4,30	3,36	2,72	1,96	-0,24	-1,12
1,60	5,37	4,33	3,39	2,73	1,96	-0,25	-1,10
1,65	5,44	4,41	3,42	2,76	1,96	-0,26	-1,08
1,70	5,50	4,45	3,44	2,78	1,97	-0,27	-1,06
1,75	5,57	4,48	3,47	2,80	1,98	-0,28	-1,04
1,80	5,64	4,53	3,50	2,82	1,98	-0,28	-1,02
1,85	5,70	4,58	3,52	2,84	1,98	-0,28	-1,00
1,90	5,77	4,62	3,55	2,85	1,99	-0,29	-0,98

C _s	Вероятность превышения, %						
	0,1	0,33	1	2	5	50	95
1,95	5,84	4,65	3,58	2,87	2,00	-0,30	-0,96
2,00	5,91	4,70	3,60	2,89	2,00	-0,31	-0,95
2,05	5,99	4,75	3,63	2,92	2,00	-0,32	-0,94
2,10	6,06	4,80	3,65	2,93	2,00	-0,32	-0,93
2,15	6,13	4,84	3,68	2,94	2,01	-0,32	-0,92
2,20	6,20	4,91	3,70	2,96	2,01	-0,33	-0,90
2,25	6,27	4,95	3,72	2,98	2,01	-0,34	-0,88
2,30	6,34	4,98	3,75	2,99	2,01	-0,34	-0,86
2,35	6,40	5,02	3,77	3,00	2,01	-0,34	-0,84
2,40	6,47	5,08	3,79	3,02	2,01	-0,35	-0,82
2,45	6,54	5,15	3,81	3,03	2,01	-0,36	-0,80
2,50	6,60	5,19	3,83	3,04	2,01	-0,36	-0,79
2,55	6,67	5,21	3,85	3,05	2,01	-0,36	-0,78
2,60	6,73	5,28	3,87	3,07	2,01	-0,37	-0,76
2,65	6,80	5,31	3,89	3,08	2,01	-0,37	-0,75
2,70	6,86	5,32	3,91	3,10	2,01	-0,38	-0,73
2,75	6,92	5,37	3,93	3,11	2,02	-0,38	-0,72
2,80	6,99	5,39	3,95	3,12	2,02	-0,38	-0,71
2,85	7,05	5,40	3,97	3,13	2,02	-0,39	-0,70
2,90	7,12	5,48	3,99	3,14	2,02	-0,39	-0,68
2,95	7,18	5,53	4,00	3,15	2,02	-0,40	-0,67
3,00	7,22	5,55	4,02	3,16	2,02	-0,40	-0,66
3,10	7,29	5,55	4,09	3,20	1,97	-0,40	-0,64
3,20	7,35	5,60	4,11	3,22	1,96	-0,41	-0,62
3,30	7,44	5,63	4,15	3,23	1,95	-0,41	-0,61
3,40	7,54	5,71	4,18	3,24	1,94	-0,41	-0,59
3,50	7,64	5,78	4,21	3,25	1,93	-0,41	-0,57
3,60	7,72	5,84	4,24	3,26	1,93	-0,42	-0,56
3,70	7,86	5,90	4,26	3,27	1,91	-0,42	-0,54
3,80	7,97	5,96	4,29	3,28	1,90	-0,42	-0,53
3,90	8,08	6,02	4,32	3,29	1,90	-0,41	-0,51
4,00	8,17	6,08	4,34	3,30	1,90	-0,41	-0,50
4,10	8,29	6,13	4,36	3,31	1,89	-0,41	-0,49
4,20	8,38	6,18	4,39	3,32	1,88	-0,41	-0,48
4,30	8,49	6,22	4,40	3,34	1,87	-0,40	-0,46
4,40	8,60	6,27	4,42	3,34	1,86	-0,40	-0,46
4,50	8,69	6,31	4,44	3,35	1,85	-0,40	-0,44
4,60	8,79	6,33	4,46	3,35	1,84	-0,40	-0,44
4,70	8,89	6,40	4,49	3,36	1,83	-0,40	-0,43
4,80	8,96	6,44	4,50	3,37	1,81	-0,39	-0,42
4,90	9,04	6,48	4,51	3,37	1,80	-0,39	-0,41
5,00	9,12	6,52	4,54	3,37	1,78	-0,38	-0,40
5,10	9,20	6,55	4,57	3,37	1,76	-0,38	-0,39
5,20	9,27	6,58	4,59	3,38	1,74	-0,37	-0,38