

# СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА И НАДЁЖНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## Часть 3

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительная механика : в 2 кн. Кн. 1. Статика упругих систем : учеб. для вузов / В. Д. Потапов [и др.] ; под ред. В. Д. Потапова. – М. : Высш. школа, 2007. – 511 с.
2. Райзер В.Д. Теория надёжности сооружений. Научное издание. – М. : Изд-во АСВ, 2010. – 384 с.
3. Саргсян А.Е. Строительная механика. Механика инженерных конструкций: учеб. для вузов. – 2-е изд., стер. и доп. – М. : Высш. шк., 2000. – 416 с.
4. Себешев В.Г. Строительная механика и надёжность строительных конструкций. Часть 3. Иллюстративный конспект лекций : учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2015.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. Учеб. пособие для втузов. – 2-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2000. – 480 с.
7. Воскобойников Ю.Е. Построение регрессионных моделей в пакете Mathcad : учеб. пособие. – Новосибирск ; НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 220 с.
8. Ржаницын А.Р. Теория расчёта строительных конструкций на надёжность. – М. : Стройиздат, 1978. – 239 с.
9. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. – М. : Стройиздат, 1982. – 351 с.

## **Федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2009 №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»**

### **Статья 7. Требования механической безопасности**

Строительные конструкции и основание здания или сооружения должны обладать такой прочностью и устойчивостью, чтобы в процессе строительства и эксплуатации не возникало угрозы причинения вреда жизни и здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений в результате

- 1) разрушения отдельных несущих строительных конструкций и их частей;
- 2) разрушения всего здания, сооружения или их части;
- 3) деформации недопустимой величины строительных конструкций, основания здания или сооружения и геологических массивов прилегающей территории;
- 4) повреждения части здания или сооружения, сетей инженерно-технического обеспечения в результате деформации, перемещений либо потери устойчивости несущих строительных конструкций, в том числе отклонений от вертикальности.

### **Статья 16. Требования к обеспечению механической безопасности здания или сооружения**

1. Выполнение требований механической безопасности в проектной документации здания или сооружения должно быть обосновано расчетами или иными способами, ..., подтверждающими, что в процессе строительства и эксплуатации здания и сооружения его строительные конструкции и основание не достигнут предельного состояния по прочности и устойчивости...

7. ... расчетные значения усилий в элементах строительных конструкций и основании здания или сооружения должны быть определены с учетом коэффициента надежности по ответственности...

**Eurocodes: “Partial factor method” (including “semi-probabilistic methods”)**

## Основные понятия, термины и определения теории надёжности

Понятия, термины		Определения	Источник
1	<b>Работоспособность</b>	– <b>состояние изделия</b> , при котором в данный момент времени его основные (рабочие) параметры находятся в пределах, установленных требованиями технической документации	ГОСТ 27.002-89 «Надёжность в технике. Термины и определения»
2	<b>Безотказность</b>	– <b>свойство изделия</b> сохранять <b>работоспособность</b> в течение некоторого времени или при выполнении определённого объёма работы без вынужденных перерывов в заданных условиях эксплуатации	
		– <b>свойство объекта</b> непрерывно сохранять <b>работоспособность</b> в течение некоторого времени	
3	<b>Отказ</b>	– <b>частичная или полная утрата качества</b> системы, вследствие которой система становится неспособной выполнять заданные функции в требуемом объёме	ГОСТ 15467-79*
		– <b>событие</b> , заключающееся в нарушении <b>работоспособного состояния</b> объекта	ГОСТ 27.002-89
		– <b>состояние строительного объекта</b> , при котором не выполняются одно или несколько <b>условий предельных состояний</b>	ГОСТ 27751–2014 «Надёжность строительных конструкций и оснований»
4	<b>Риск</b>	– <b>возможность наступления некоторого события</b> , способного оказать неблагоприятное влияние на выполнение системой заданных функций (вариант: ...некоторого события, реализация которого способна вызвать различного рода потери)	—

## Основные понятия, термины и определения теории надёжности

**Исправное состояние** – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической, в том числе проектно-конструкторской, документации.

**Неисправное состояние** – состояние объекта, при котором некоторые параметры, не определяющие его способность выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям технической документации.

**Повреждение** – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении его работоспособности.

**Предельное состояние строительного объекта** – состояние строительного объекта, при превышении характерных параметров которого эксплуатация строительного объекта недопустима, затруднена или нецелесообразна.

**Расчётные критерии предельных состояний** – соотношения, определяющие условия реализации предельных состояний.

**Результат (эффект) воздействия** – реакция (внутренние усилия, напряжения, перемещения, деформации) строительных конструкций на внешние воздействия.

**Расчётные ситуации** – учитываемый при расчёте сооружения комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при его возведении и эксплуатации.

**Срок службы** – продолжительность нормальной эксплуатации строительного объекта с предусмотренным техническим обслуживанием и ремонтными работами (включая капитальный ремонт) до состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна.

ГОСТ  
27751–2014  
«Надёжность  
строительных  
конструкций  
и оснований»

## Понятия надёжности и долговечности

Понятия	Качественные определения		Количественные определения
	по ГОСТ 15467-79*	по ГОСТ 27751–2014	

## Общая схема постановки задачи расчёта надёжности сооружения/конструкции

ОБОЗНАЧЕНИЯ: надёжность –  $P_s$  ( $s$  – successful),  $N$   
 вероятность отказа –  $P_f$  ( $f$  – failure),  $P_s(0)$  }  $P_s = 1 - P_f$

$$N = 1 - P_s(0)$$

ОБОБЩЁННОЕ УСЛОВИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ (РАБОТОСПОСОБНОСТИ) ПО НЕКОТОРОМУ КРИТЕРИЮ:

$$\tilde{Q} \leq \tilde{R}$$

( по ГОСТ 27751 – 2014 – расчётный критерий предельного состояния )

По А.Р. Ржаницыну

**Обобщённая нагрузка**  
 (нагрузочный фактор/эффект, load effect)  
 (по ГОСТ – результат (эффект) воздействия)

- параметр нагрузки
- усилие
- напряжение
- перемещение
- частота колебаний
- другое

**Обобщённая прочность**  
 (сопротивление, resistance)

- предельная нагрузка (несущая способность)
- предельное усилие
- предел текучести, прочности
- допустимое перемещение
- частота колебаний (собств.)
- другое

$$P_s = P(Q < R)$$

$Q, R$  – реализации случайных величин  $\tilde{Q}$  и  $\tilde{R}$

(  $N$  )

## Общая схема постановки задачи расчёта надёжности сооружения/конструкции

ВАРИАНТ ЗАПИСИ УСЛОВИЯ БЕЗОТКАЗНОСТИ (РАБОТОСПОСОБНОСТИ):

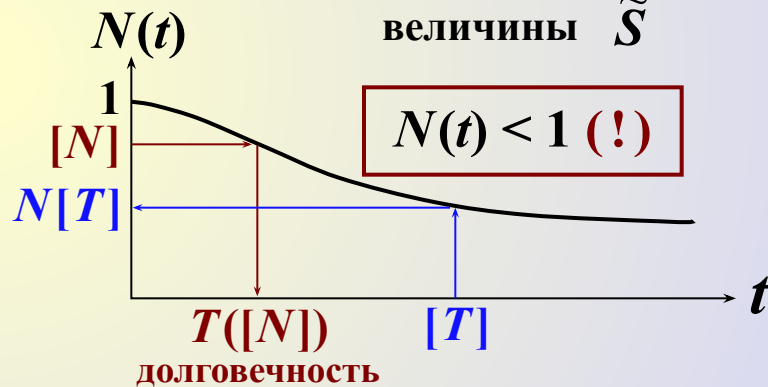
$$\tilde{S} \geq 0$$

$\tilde{S} = \tilde{R} - \tilde{Q}$  – резерв (обобщённой) прочности – по А.Р. Ржаницыну

Надёжность  $N = P_s = 1 - P_f$  где  $P_f = P(S < 0) = P_s(0)$ ;  
 $S$  – реализация случайной величины  $\tilde{S}$

В общем случае  $\tilde{Q}$  и  $\tilde{R}$  зависят от времени  $t$ :

$$\left. \begin{aligned} \tilde{Q} &= \tilde{Q}(t) \\ \tilde{R} &= \tilde{R}(t) \end{aligned} \right\} N = N(t)$$



ПРИ НЕСКОЛЬКИХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КРИТЕРИЯХ

БЕЗОТКАЗНОСТИ:

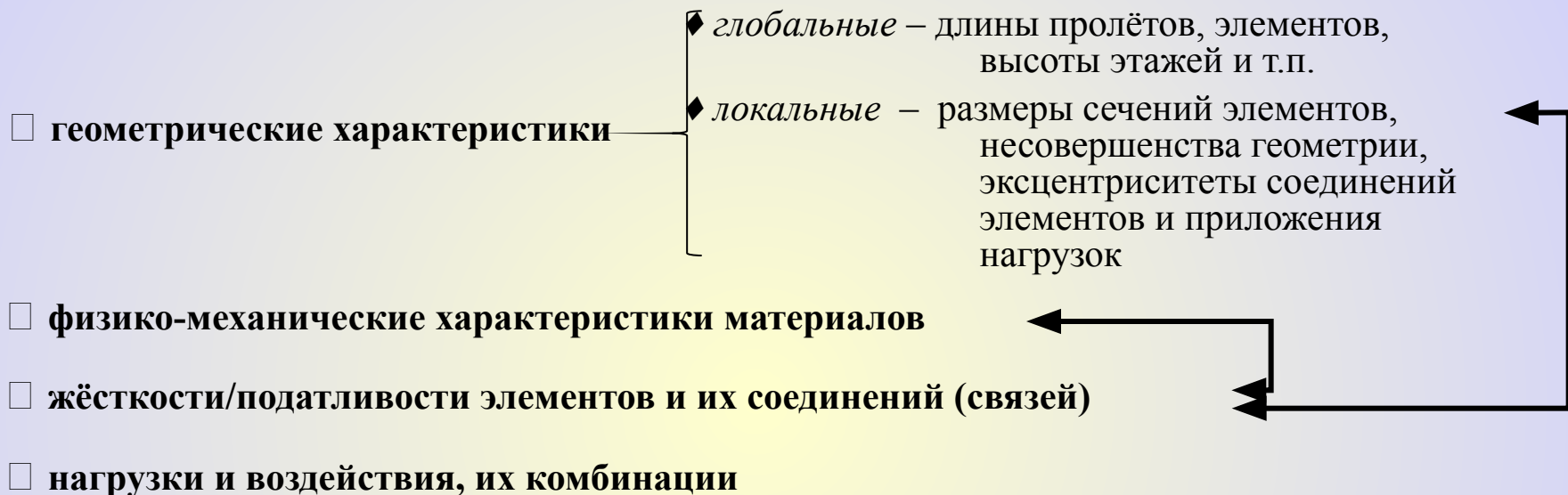
$$Q_i \leq R_i \text{ или } S_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n_y}$$

$N_i$

$$N = \prod_{i=1}^{n_y} N_i$$



## Основные стохастические параметры расчётных схем сооружений и конструкций

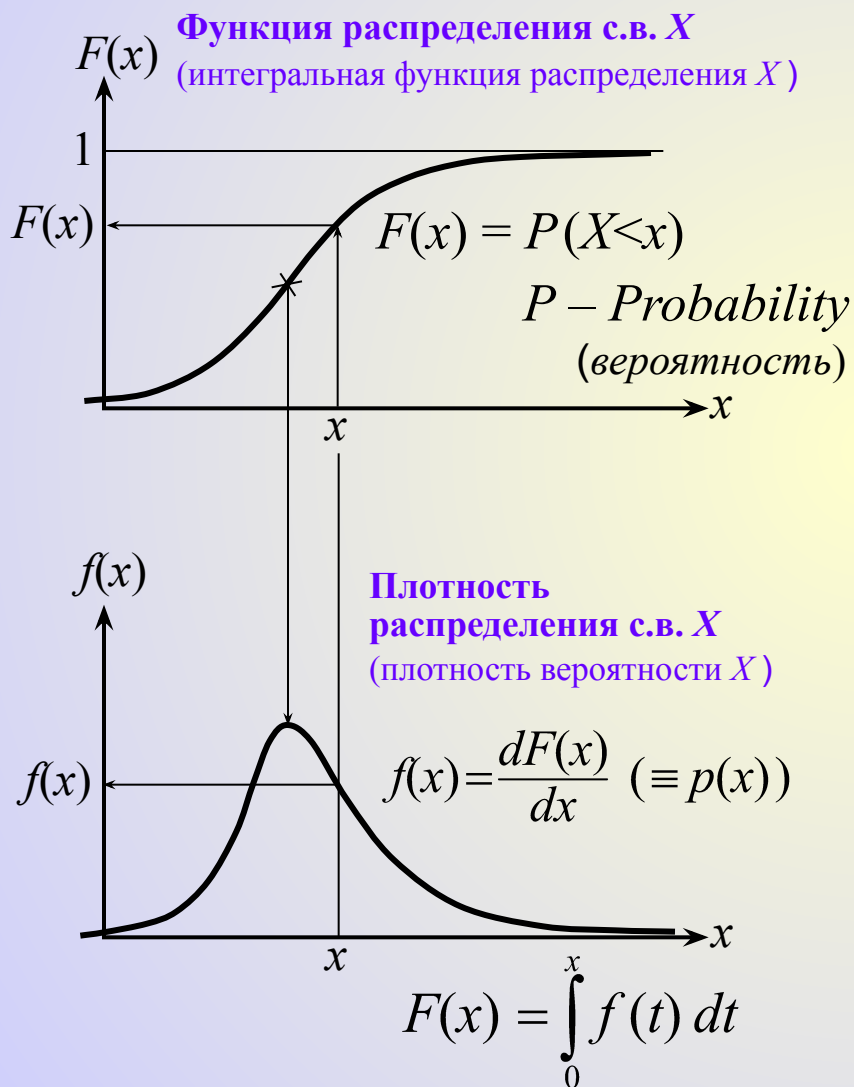


## Вероятностные средства описания свойств случайных расчётных параметров сооружений и конструкций

- ❖ случайные величины
- ❖ многомерные случайные величины (случайные векторы)
- ❖ случайные функции

## Случайные величины, их характеристики

Функциональные характеристики с.в.  $X$



Числовые характеристики с.в.  $X$

**Моменты распределения с.в.  $X$ :**

♦ *начальный  $n$ -го порядка*

$$M_n(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) x^n dx$$

$$n=0 \rightarrow M_0(X) = 1$$

$$n=1 \rightarrow M_1(X) \equiv M(X) -$$

**математическое ожидание с.в.  $X$**

♦ *центральный  $n$ -го порядка*

$$\mu_n(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) [x - M(X)]^n dx$$

$$\mu_0(X) = 1; \quad \mu_1(X) = 0; \quad \mu_2(X) \equiv D(X) -$$

**дисперсия с.в.  $X$**

$\sigma_X = \sqrt{D(X)}$  – **среднеквадратическое отклонение (стандарт) с.в.  $X$**

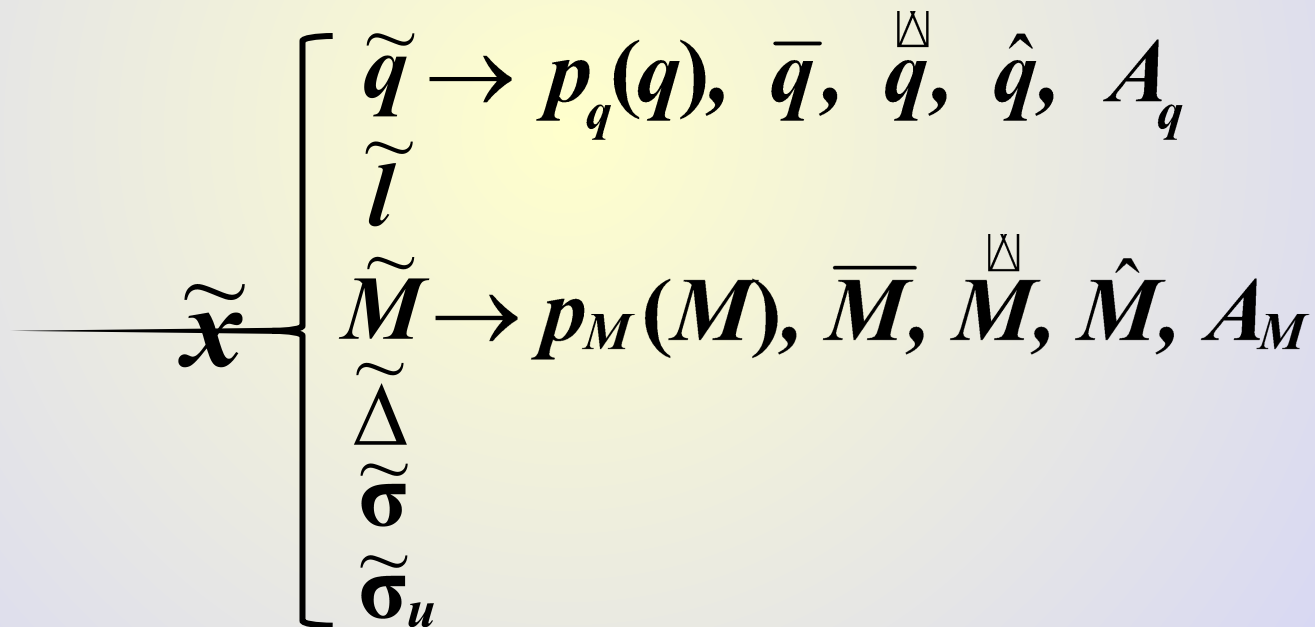
$\sigma_X / M(X) = A_X$  – **коэффициент вариации (изменчивости)**

$\mu_3(X) / \sigma_X^3 = S_X$  – **коэффициент асимметрии (асимметрия)**

$\mu_4(X) / \sigma_X^4 - 3 = \varepsilon_X$  – **эксцесс**

Обозначения случайных величин и их основных характеристик в расчётах сооружений и конструкций

$X$	$F(x)$	$f(x)$	$M(X)$	$D(X)$	$\sigma_X$	$A_X$	$S_X$	$\varepsilon_X$
$\tilde{x}$	$P_x(x)$	$p_x(x)$	$\bar{x}$	$\overset{\sqcup}{x}$	$\hat{x}$	$A_x$	$S_x$	$\varepsilon_x$

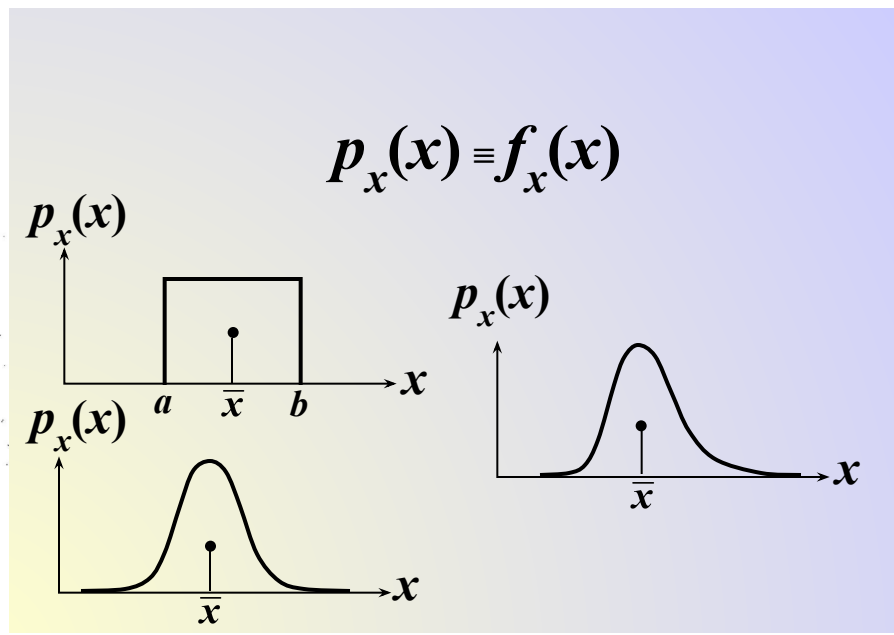


$$m \equiv \bar{x}$$

$$s \equiv \hat{\sigma}$$

Definition of Distribution Parameters

Distribution type	Parameters	Moments
Deterministic	1: $m$	
Rectangular $f_X(x) = \frac{1}{b-a}$ $a \leq x \leq b, a \neq b$	1: $a$ 2: $b$	$m = \frac{a+b}{2}$ $s = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$
Normal $f_X(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{s}\right)^2\right)$ $s > 0, -\infty < x < +\infty$	1: $m$ 2: $s$	
Lognormal $f_X(x) = \frac{1}{\zeta x \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta}\right)^2\right)$ $\zeta > 0, 0 < x < \infty$	1: $\lambda$ 2: $\zeta$	$m = \exp\left(\lambda + \frac{\zeta^2}{2}\right)$ $s = \exp\left(\lambda + \frac{\zeta^2}{2}\right) \cdot \sqrt{\exp(\zeta^2) - 1}$
sLognormal $f_X(x) = \frac{1}{\zeta(x-\varepsilon)\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\varepsilon) - \lambda}{\zeta}\right)^2\right)$ $\zeta > 0, \varepsilon < x < \infty$	1: $\lambda$ 2: $\zeta$ 3: $\varepsilon$	$m = \varepsilon + \exp\left(\lambda + \frac{\zeta^2}{2}\right)$ $s = \exp\left(\lambda + \frac{\zeta^2}{2}\right) \cdot \sqrt{\exp(\zeta^2) - 1}$
sExponential $f_X(x) = \lambda \exp(-\lambda(x-\varepsilon))$ $\lambda > 0, \varepsilon \leq x < \infty$	1: $\varepsilon$ 2: $\lambda$	$m = \varepsilon + \frac{1}{\lambda}$ $s = \frac{1}{\lambda}$
Gamma $f_X(x) = \frac{b^p}{\Gamma(p)} \exp(-bx)x^{p-1}$ $b > 0, p > 0, 0 \leq x < \infty$	1: $p$ 2: $b$	$m = \frac{p}{b}$ $s = \frac{\sqrt{p}}{b}$



Beta $f_X(x) = \frac{(x-a)^{r-1} \cdot (b-x)^{t-1}}{(b-a)^{r+t-1} \cdot B(r,t)}$ $a \leq x \leq b, a \neq b, r, t \geq 1$	1: $a$ 2: $b$ 3: $r$ 4: $t$	$m = a + (b-a) \cdot \frac{r}{r+t}$ $s = \frac{b-a}{r+t} \cdot \sqrt{\frac{rt}{r+t+1}}$
Gumbel (Largest) $f_X(x) = \alpha \exp(-\alpha(x-u)) \cdot \exp(-\alpha(x-u))$ $-\infty < x < +\infty, \alpha > 0$	1: $u$ 2: $\alpha$	$m = u + \frac{0.577216}{\alpha}$ $s = \frac{\pi}{\alpha \sqrt{6}}$
Frechet (Largest) $f_X(x) = \frac{k}{u-\varepsilon} \cdot \left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^{-k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^{-k}\right)$ $\varepsilon \leq x < +\infty, u, k > 0$	1: $u$ 2: $k$ 3: $\varepsilon$	$m = \varepsilon + (u-\varepsilon) \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right)$ $s = (u-\varepsilon) \sqrt{\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right)}$
Weibull (Smallest) $f_X(x) = \frac{k}{u-\varepsilon} \cdot \left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^{k-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{x-\varepsilon}{u-\varepsilon}\right)^k\right)$ $\varepsilon \leq x < +\infty, u, k > 0$	1: $u$ 2: $k$ 3: $\varepsilon$	$m = \varepsilon + (u-\varepsilon) \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$ $s = (u-\varepsilon) \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)}$

## Построение вероятностной модели с.в. по статистической информации

Исходная статистическая выборка значений с.в.  $X$  объемом  $n$ :

$$x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$$



$$\Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_j = \dots = \Delta_m = (x_{\max} - x_{\min})/m$$

Ранг по критериям



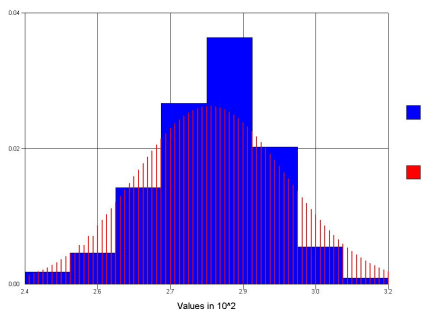
Poisson 1 / -

Normal 2 / 2

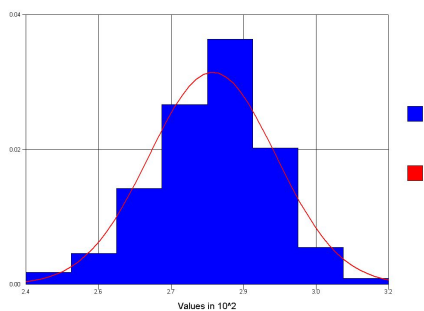
Erlang 4 / 4

Gamma 5 / 3

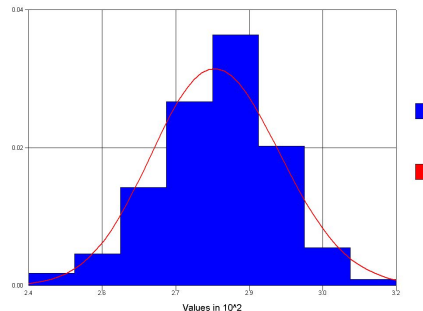
Comparison of Input Distribution and Poisson(2,81e+2)



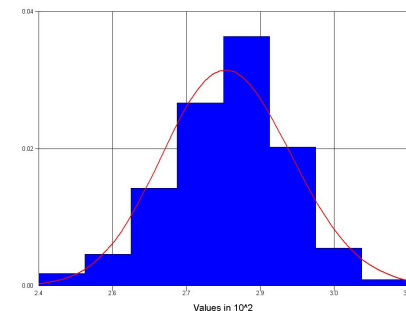
Comparison of Input Distribution and Normal(2,81e+2;14,00)



Comparison of Input Distribution and Erlang(4,03e+2;0,70)



Comparison of Input Distribution and Gamma(4,03e+2;0,70)



### INPUT – Density $p(x)$

XMin = 240

XMax = 320

X	$p(x)$
240,01	0,0167
249,99	0,0167
250	0,0417
259,99	0,0417
260	0,1292
269,99	0,1292
270	0,2417
279,99	0,2417
280	0,3292
289,99	0,3292
290	0,1833
299,99	0,1833
300	0,05
309,99	0,05
310	0,0083
319,99	0,0083

---

#### Statistics for UNTITLED

Minimum = 240,0

Maximum = 320,0

Mode = 280,0

Mean = 281,157467

Std Deviation = 14,003473

Variance = 196,097267

Skewness = -0,231231

Kurtosis = 3,050129

*Input Settings:*

Type of Fit: Full Optimization

Tests Run:

Chi-Square

K-S Test

A-D Test

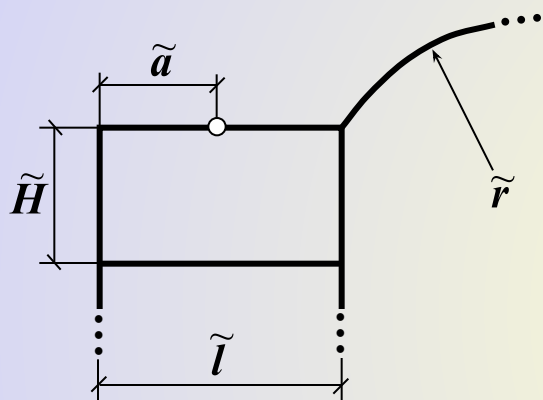
**Best Fit Results**

Function	Chi-Square Rank	K-S Test Rank	A-D Test Rank
Poisson(2,81e+2)	0,029716 1,0	N/A	N/A
Normal(2,81e+2;14,00)	0,03049 2,0	0,051748 2,0	N/A
Logistic(2,81e+2;7,67)	0,033043 3,0	0,032932 1,0	N/A
Erlang(4,03e+2;0,70)	0,034183 4,0	0,059094 4,0	N/A
Gamma(4,03e+2;0,70)	0,034198 5,0	0,05909 3,0	N/A
Lognormal(2,81e+2;14,14)	0,035738 6,0	0,062534 6,0	N/A
Lognormal2(5,64;5,03e-2)	0,035738 7,0	0,062534 5,0	N/A
Weibull(13,41;2,83e+2)	0,066539 8,0	0,222413 10,0	N/A
Chisq(2,81e+2)	0,074559 9,0	0,157121 9,0	N/A
Pareto(4,02;2,40e+2)	0,343261 10,0	0,349309 11,0	N/A
Triang(2,40e+2;2,84e+2;3,20e+2)	0,617822 11,0	0,078797 7,0	N/A
NegBin(1,00;3,54e-3)	3,024977 12,0	N/A	N/A
Expon(2,81e+2)	3,025048 13,0	0,574134 12,0	N/A
Geomet(3,54e-3)	3,031029 14,0	N/A	N/A
Erf(2,23e-3)	4,856562 15,0	0,792175 13,0	N/A
Beta(2,60;2,59)*80,00 +2,40e+2	29,908006 16,0	0,111215 8,0	N/A
Binomial(3,20e+2;0,89)	1,111244e+9 17,0	N/A	N/A
HyperGeo(3,26e+2;3,20e+2;8,67e+2)	1,0e+34 18,0	N/A	N/A

## Статистические данные о вероятностных свойствах основных расчётных параметров сооружений и конструкций

### Геометрические характеристики

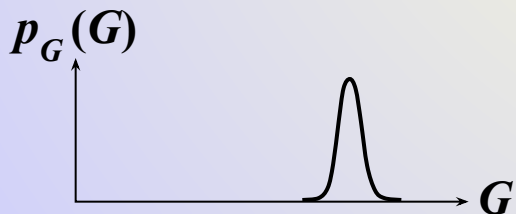
#### ❖ глобальные



$$A_l, A_H, A_r, A_a \sim 10^{-4} \dots 10^{-3}$$

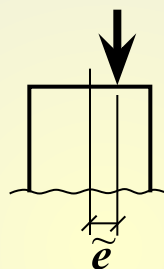


Тип распределения – нормальное



#### ❖ локальные

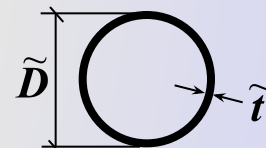
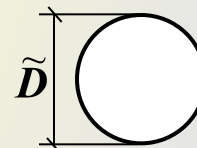
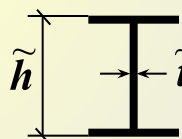
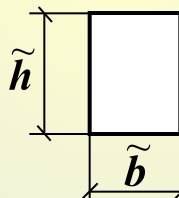
##### □ эксцентриситеты нагрузок и соединений



$$e_{\max} \sim r_0/10 \quad (r_0 - \text{ядровое расстояние})$$

$$A_e \sim 10^{-2}$$

##### □ размеры сечений



$$A_h, A_b, A_D \sim 10^{-3} \dots 10^{-2}$$

$$A_t \sim 10^{-2}$$

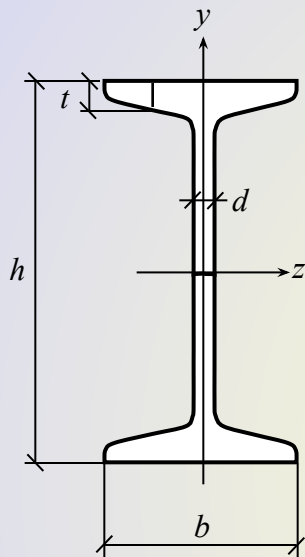
– площади сечений  $\tilde{A} \sim \tilde{h}^2, \tilde{D}^2$  или  $\tilde{h}\tilde{t}, \tilde{D}\tilde{t}$

– моменты сопротивления  $\tilde{W} \sim \tilde{h}^3, \tilde{D}^3$  или  $\tilde{h}^2\tilde{t}, \tilde{D}^2\tilde{t}$

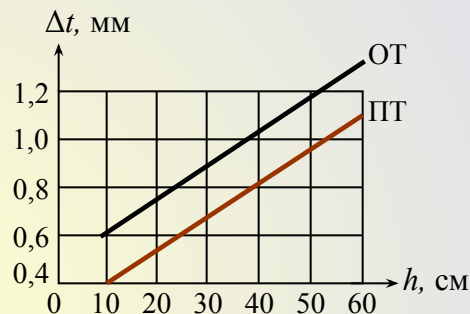
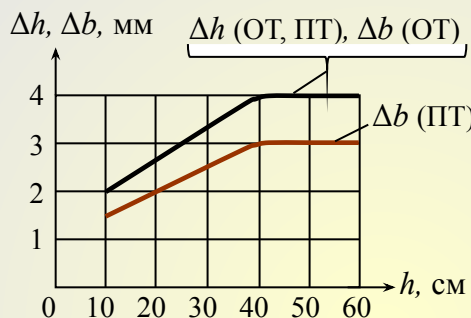
– моменты инерции сечений  $\tilde{I} \sim \tilde{h}^4, \tilde{D}^4$  или  $\tilde{h}^3\tilde{t}, \tilde{D}^3\tilde{t}$



## ВОЗМОЖНЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ СТАЛЬНЫХ ПРОКАТНЫХ ПРОФИЛЕЙ



*Исходные данные – допустимые по ГОСТ 8239-89  
предельные отклонения размеров двутаврового  
профиля (сглажены)*



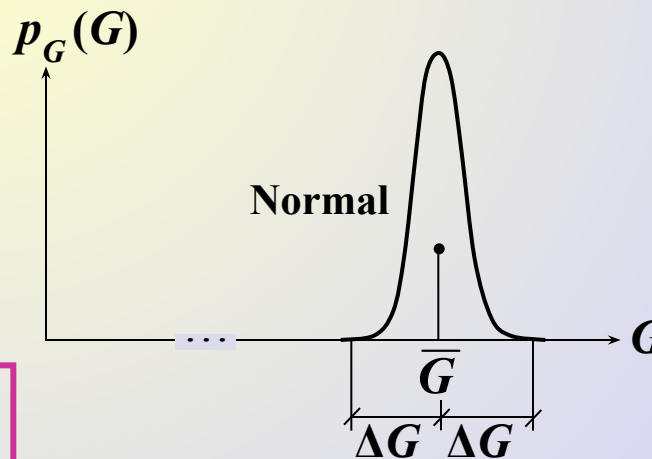
OT – обычная точность  
PT – повышенная точность

$$\Delta d = (0,02 \dots 0,04) d$$

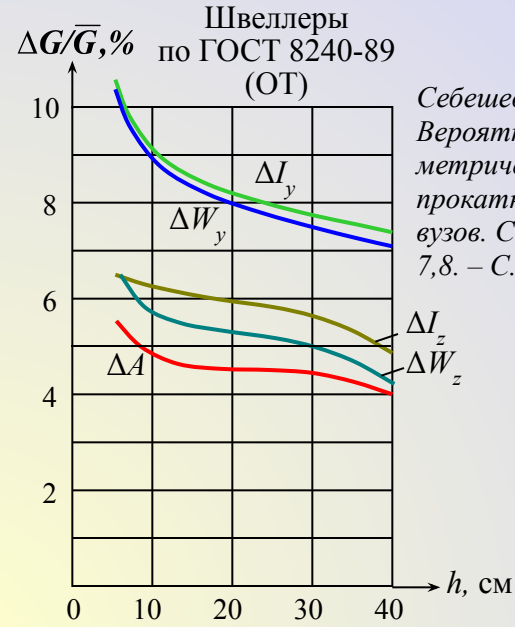
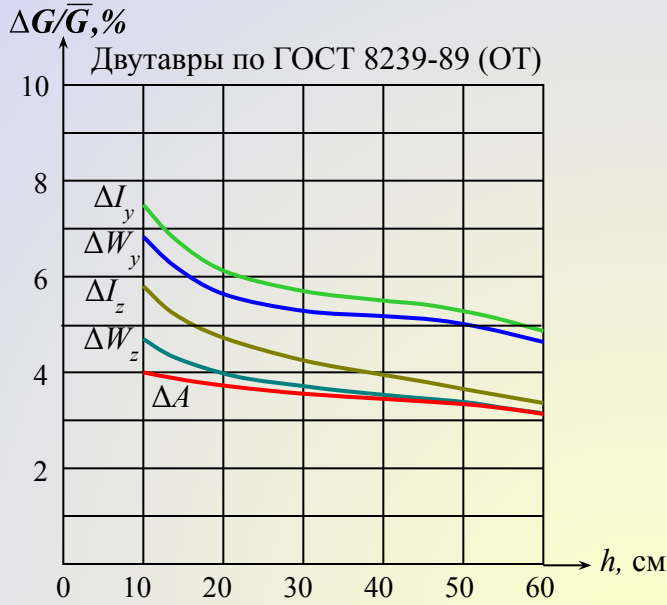
$\Delta G \sim \Delta A, \Delta I_z, \Delta W_z, \Delta I_y, \Delta W_y$  – возможные предельные отклонения от номинального значения ( в %%, с обеспеченностью 0,999 ) площади сечения, моментов инерции и моментов сопротивления относительно главных центральных осей z и y

Коэффициенты вариации

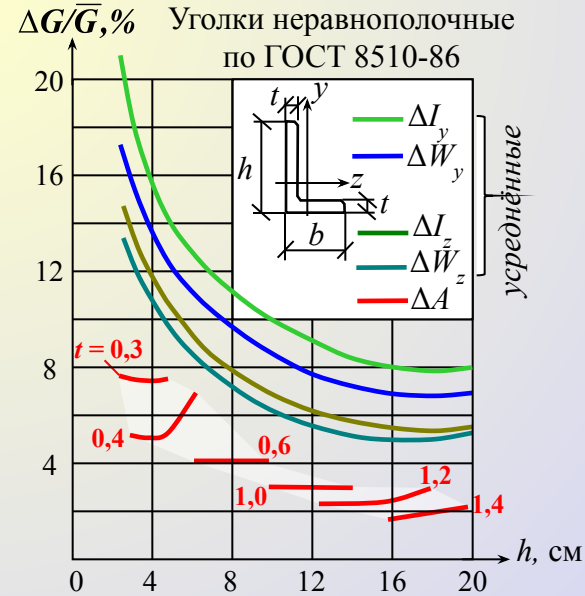
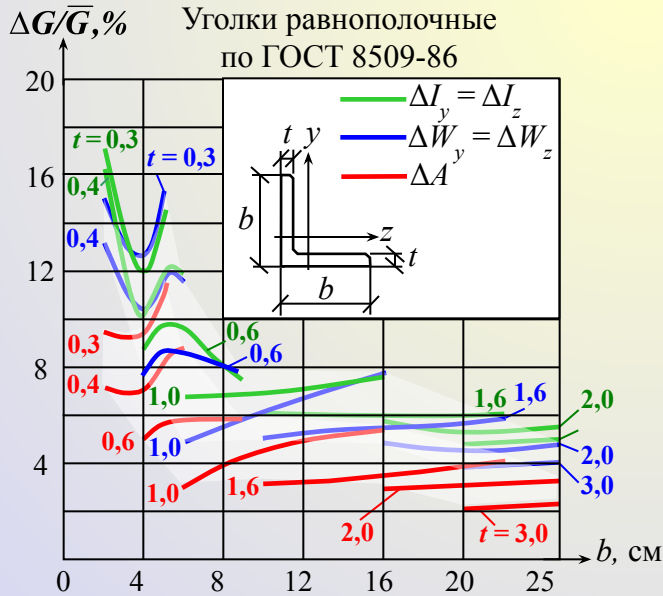
$$A_G \approx \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta G}{G}$$



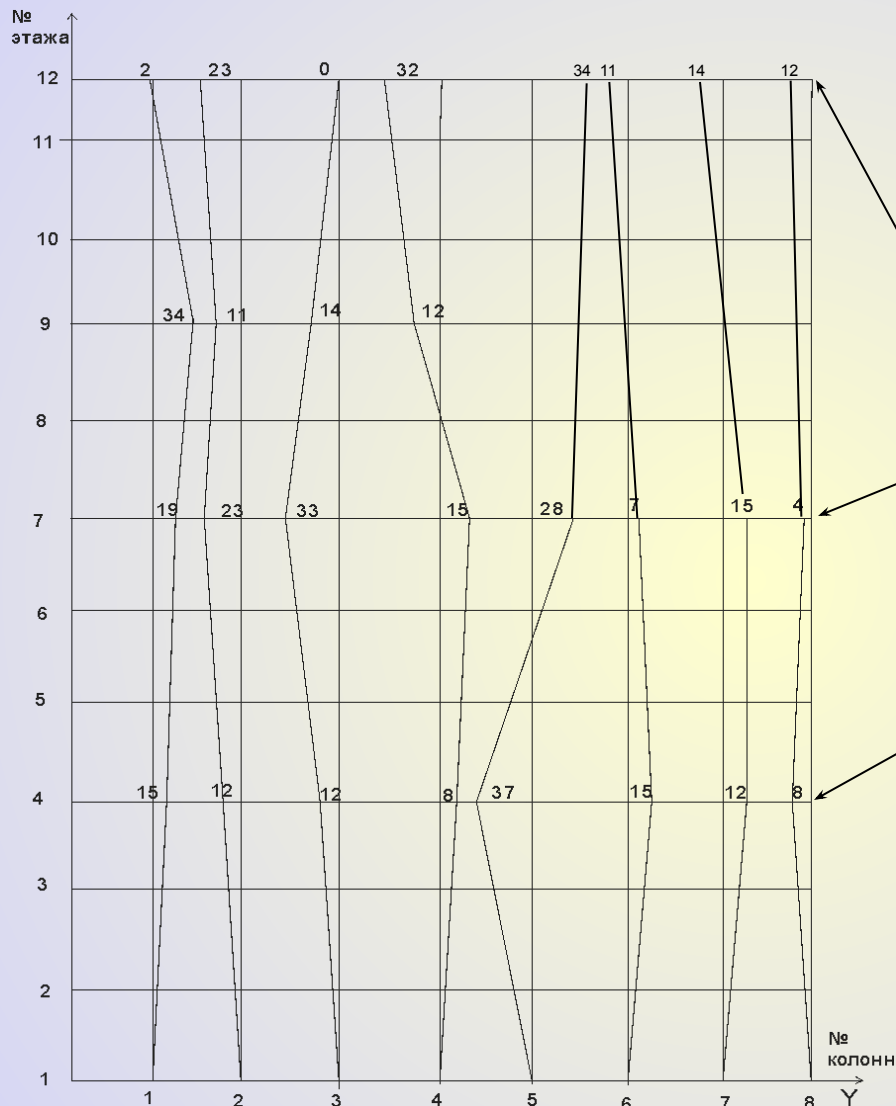
Полуширина доверительного интервала значений геометрической характеристики



Себешев В.Г., Никифоров В.В. Вероятностные свойства геометрических характеристик прокатных профилей // Известия вузов. Строительство. – 1994. – № 7,8. – С. 11–16.



□ *неточности изготовления и монтажа*



Статистическая обработка результатов измерений отклонений ( $n = 24$ ) по этажам 12, 7, 4 сверху вниз:

+2 +23 0 +32 -34 +11 +14 +12

-19 +23 +33 -15 -28 -7 -15 +4

-15 +12 +12 -8 +37 -15 -12 +8

**Мат. ожидания, мм:**  
 $M(\Delta) = 2,292$ ;  $M(|\Delta|) = 16,292$ .  
**Средние квадратические отклонения, мм:**  
 $\sigma_{\Delta} = 19,064$ ;  $\sigma_{|\Delta|} = 9,565$ .

Отклонения по горизонтали (в мм) осей колонн наблюдаемых этажей относительно 1 этажа

С учётом измерений по 9-му этажу:  
 $M(\Delta) = 2,286$ ;  $M(|\Delta|) = 16,714$ .

## Нагрузки и воздействия

- собственный вес несущих конструкций

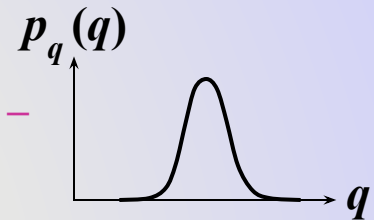
$$A_{qconst} \sim 10^{-2}$$

- собственный вес тепло- и гидроизоляции; временные эксплуатационные нагрузки (оборудование, люди и др.)

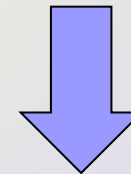
$$A_{qtemp} \sim 10^{-2} \dots 10^{-1}$$

- нагрузки и воздействия природного происхождения (снеговые, ветровые, сейсмические, волновые для гидро-сооружений)

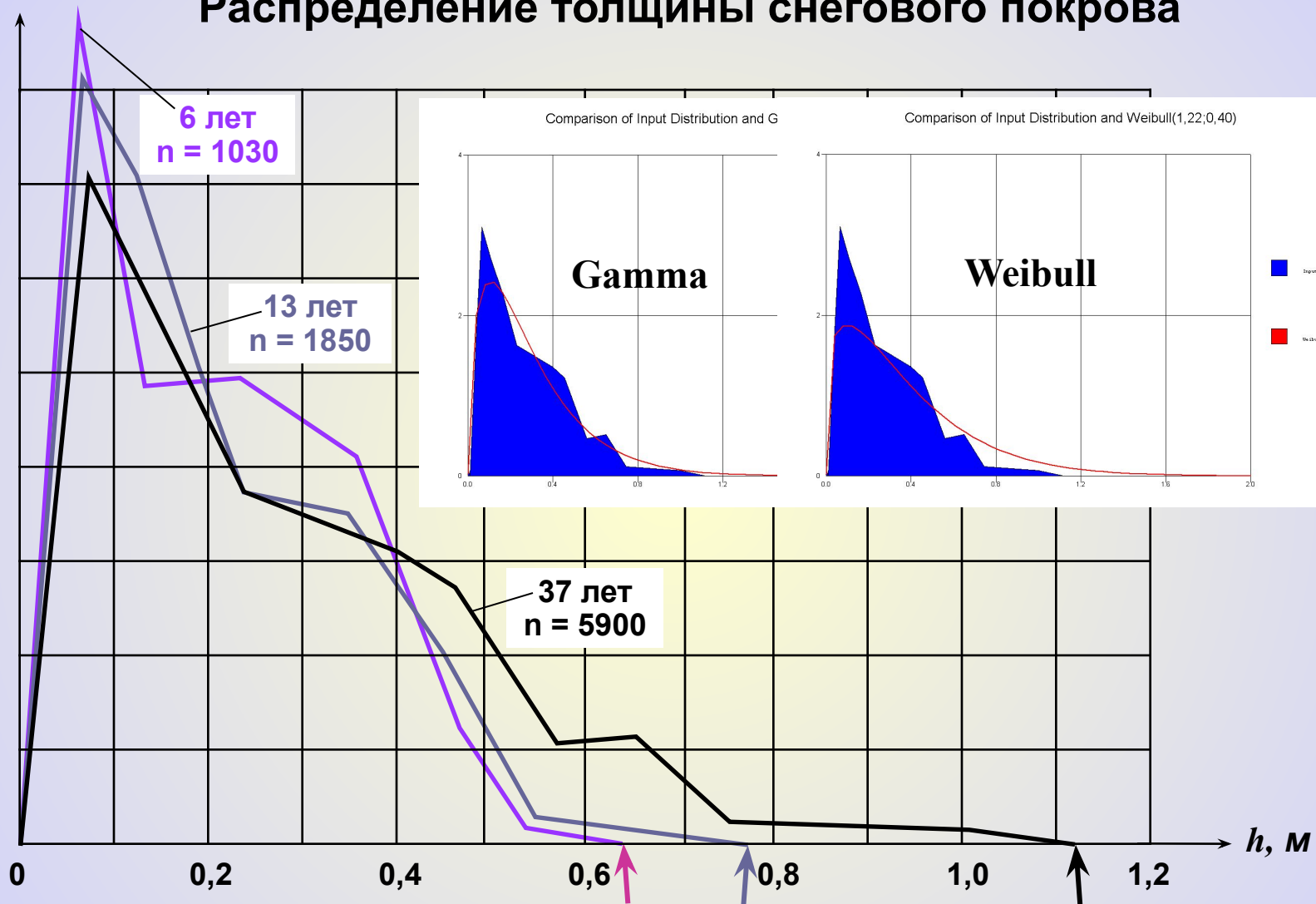
Тип  
распределения –  
нормальное



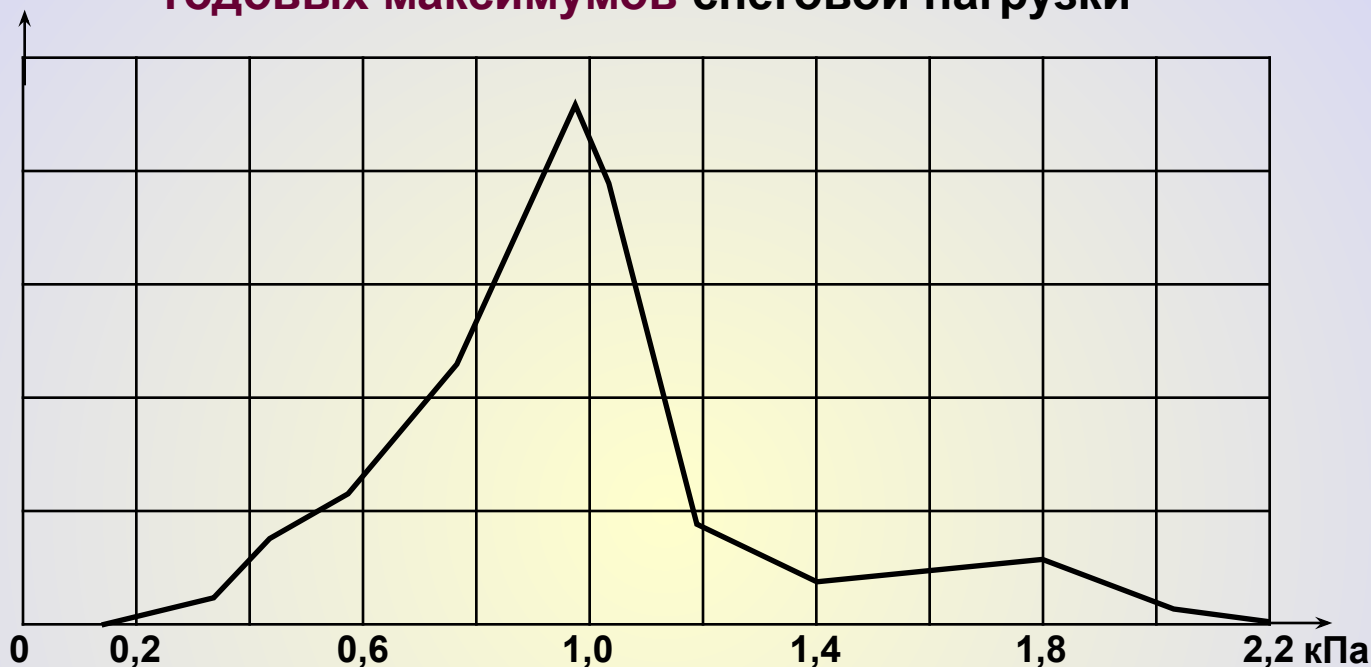
Типы  
распределения –  
асимметричные



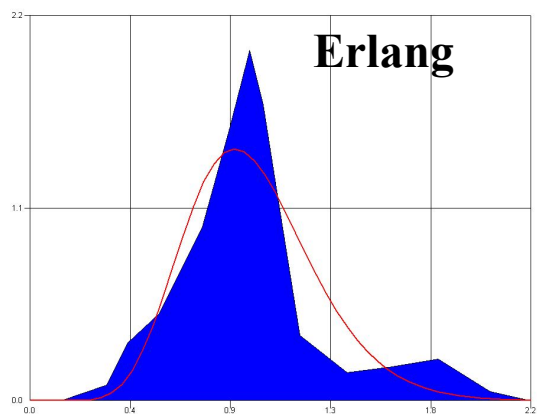
# Распределение толщины снежного покрова



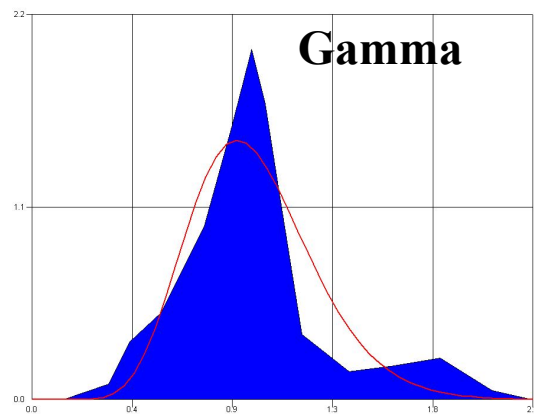
# Типичное распределение ГОДОВЫХ МАКСИМУМОВ снеговой нагрузки



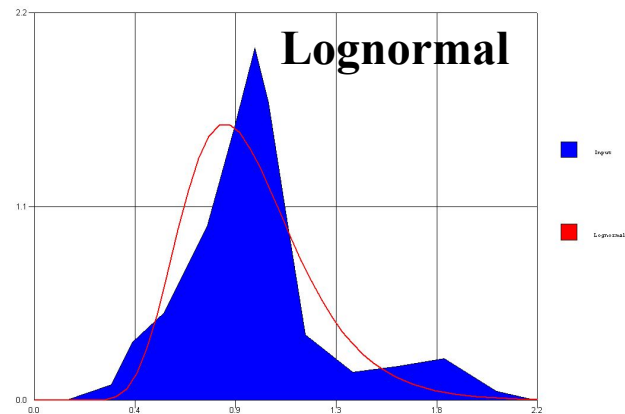
Comparison of Input Distribution and Erlang(12,00;8,21e-2)



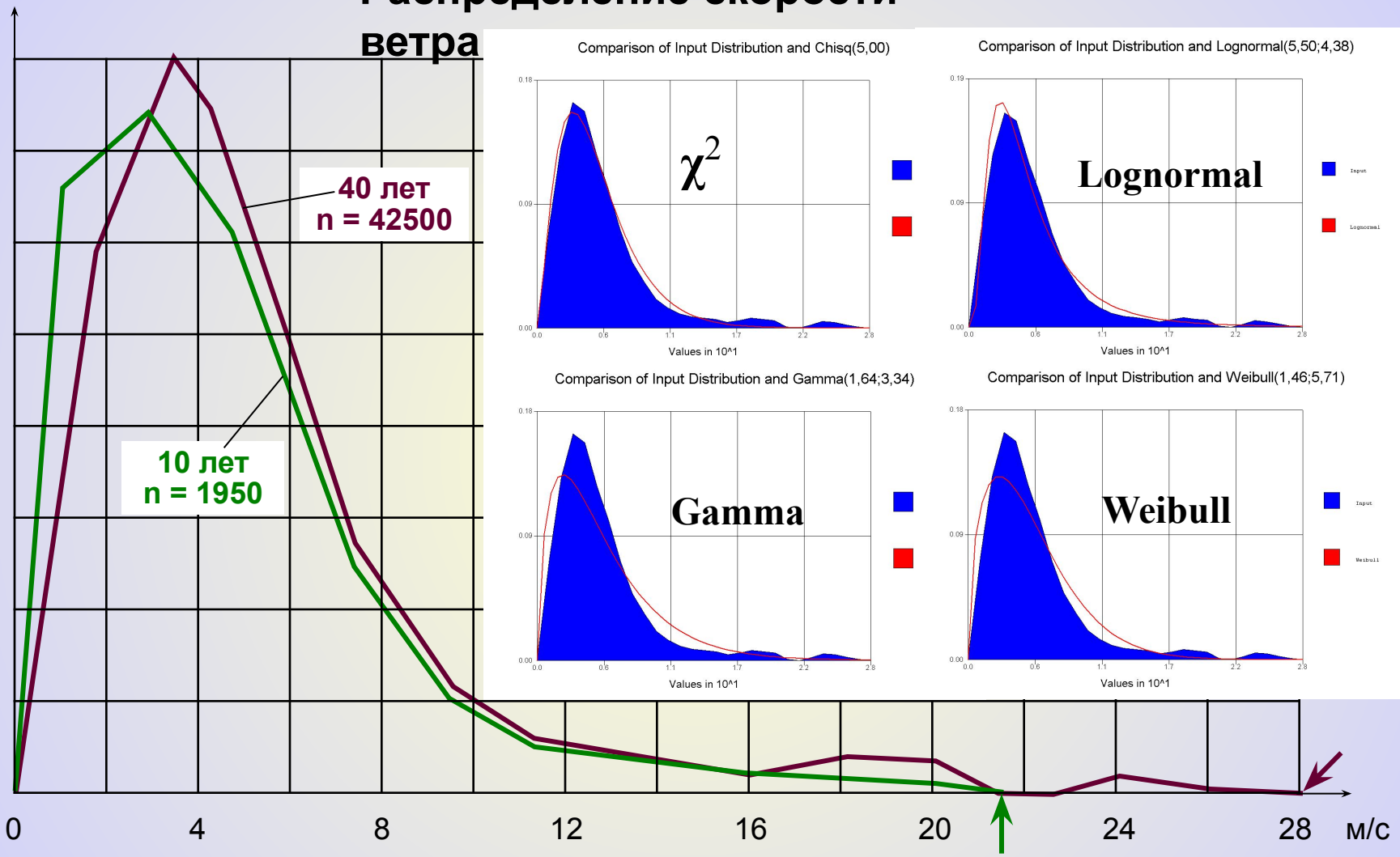
Comparison of Input Distribution and Gamma(12,71;7,73e-2)



Comparison of Input Distribution and Lognormal(0,95;0,28)



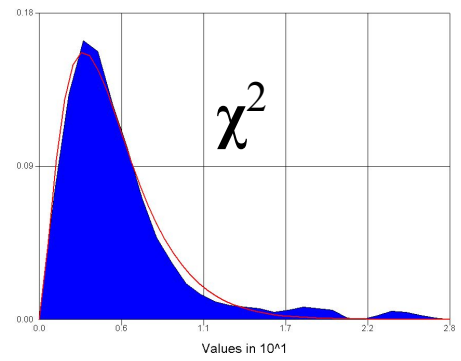
# Распределение скорости ветра



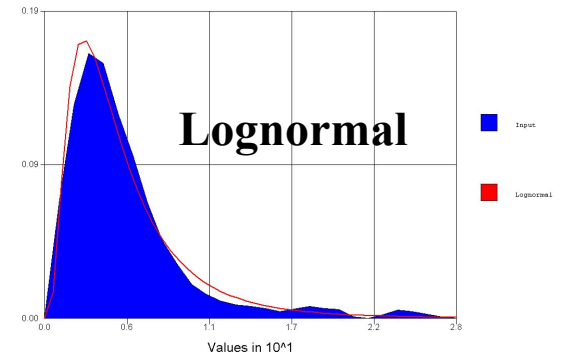
40 лет  
n = 42500

10 лет  
n = 1950

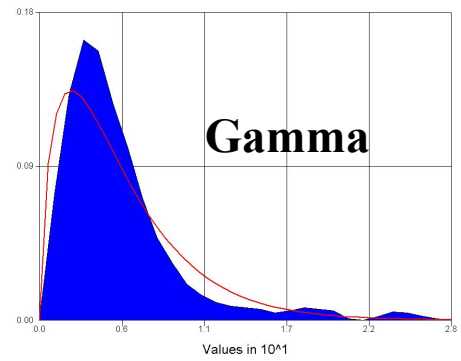
Comparison of Input Distribution and Chisq(5,00)



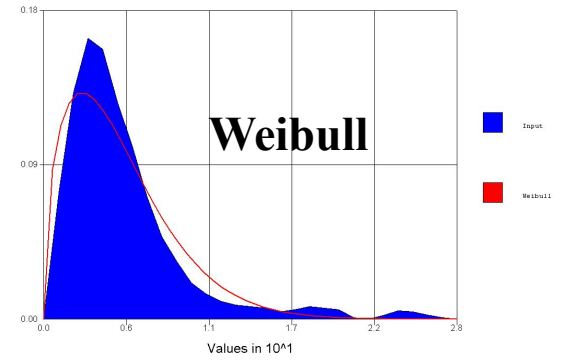
Comparison of Input Distribution and Lognormal(5,50;4,38)



Comparison of Input Distribution and Gamma(1,64;3,34)

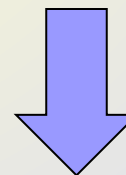


Comparison of Input Distribution and Weibull(1,46;5,71)



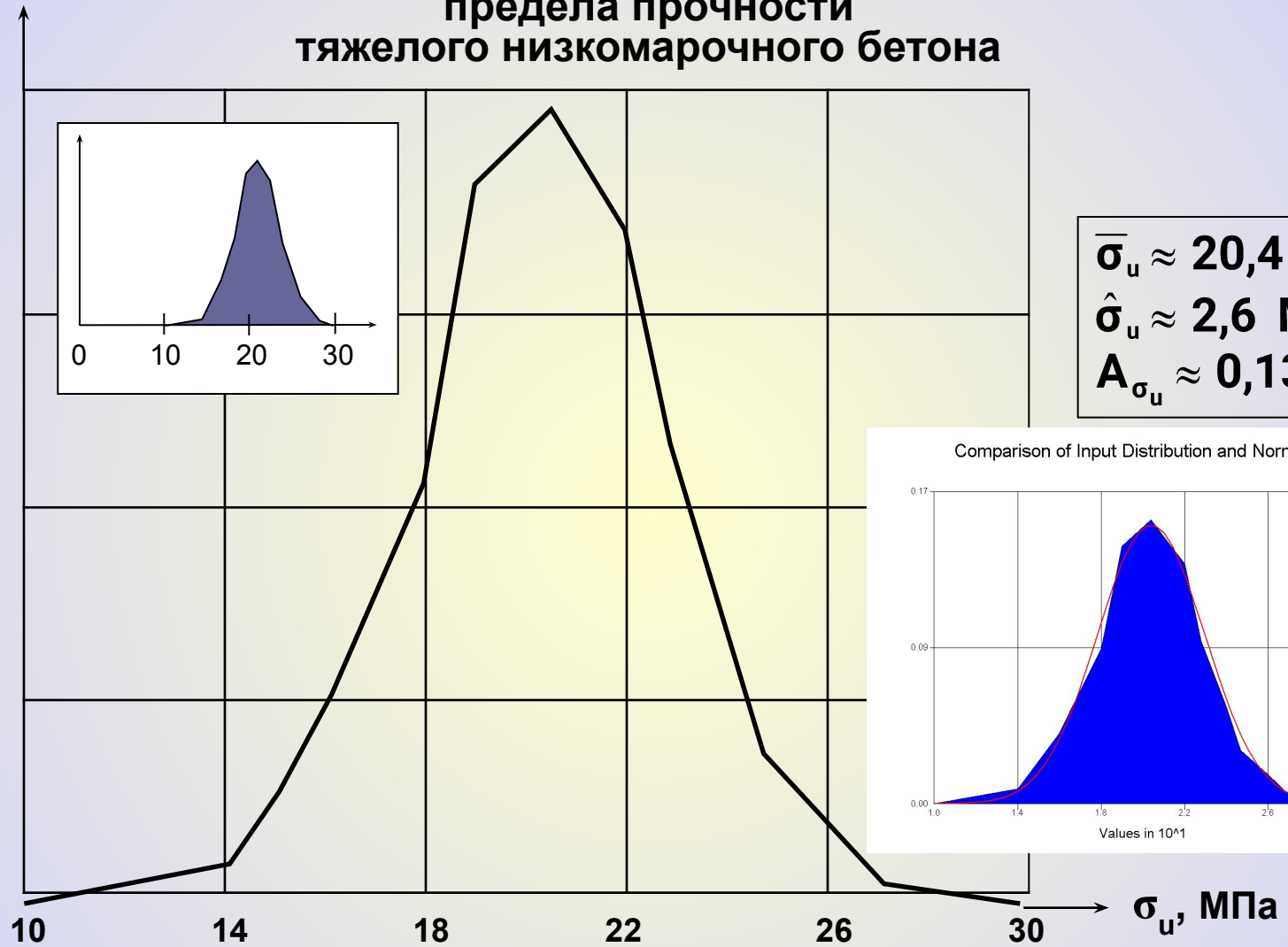
## Физико–механические характеристики материалов

Наименование	Коэффициенты вариации
<input type="checkbox"/> модули упругости	$\sim 10^{-3} \dots 10^{-2}$
<input type="checkbox"/> плотность материала	$\sim 10^{-3} \dots 10^{-1}$
<input type="checkbox"/> коэффициенты теплопроводности, температурного расширения	$\sim 10^{-3} \dots 10^{-1}$
<input type="checkbox"/> характеристики прочности, пластичности и т.п.	$\sim 10^{-2} \dots 10^{-1}$





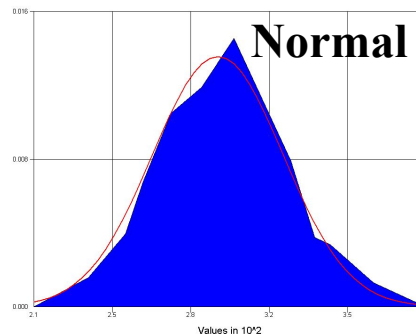
# Типичное распределение предела прочности тяжелого низкомарочного бетона



## Типичное распределение предела текучести Стали 3 (данные по двум разным заводам)



Comparison of Input Distribution and Normal(2,94e+2;30,02)



■ Input  
■ Normal

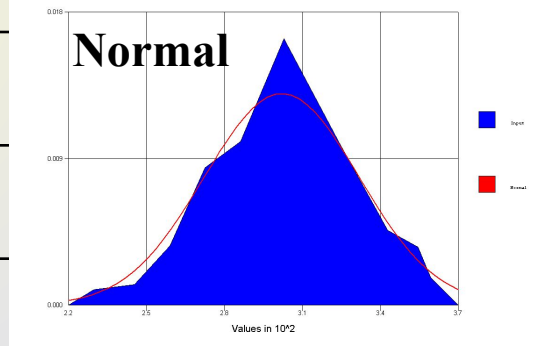
По заводу 1

$\bar{\sigma}_s \approx 294,5$  МПа  
 $\hat{\sigma}_s \approx 30,02$  МПа  
 $A_{\sigma_s} \approx 0,10$

По заводу 2

$\bar{\sigma}_s \approx 300,2$  МПа  
 $\hat{\sigma}_s \approx 30,55$  МПа  
 $A_{\sigma_s} \approx 0,10$

Comparison of Input Distribution and Normal(3,00e+2;30,55)



■ Input  
■ Normal

Normal

$\sigma_s$ , МПа

# Результаты испытаний материала «сибит» – иллюстрация неустойчивости механических свойств

## Диаграммы сжатия одинаковых образцов «сибита»

