

## Построение доверительных интервалов для оценки средней генеральной совокупности

*Оценка генеральной средней:*

1. Случай большого объема выборки ( $n > 30$ ):

$$\bar{X} - \frac{t_{\gamma}\sigma}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + \frac{t_{\gamma}\sigma}{\sqrt{n}},$$

где  $t_{\gamma}$  находится из отношения  $\Phi(t_{\gamma}) = \frac{1+\gamma}{2}$ ,  $\Phi(x)$  – функция распределения нормального закона.

2. Случай малого объема выборки ( $n \leq 30$ ):

$$\bar{X} - t_{\frac{\gamma+1}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + t_{\frac{\gamma+1}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}},$$

где  $t_{\frac{\gamma+1}{2}}(n-1)$  – квантиль распределения Стьюдента порядка  $\frac{1+\gamma}{2}$  с  $(n-1)$  степенью свободы (см. прил. 2);  $s$  – исправленное среднее квадратическое отклонение.

*Оценка генеральной дисперсии:*

$$\frac{ns^2}{\chi_{\frac{1+\gamma}{2}(n-1)}^2} < \sigma^2 < \frac{ns^2}{\chi_{\frac{1-\gamma}{2}(n-1)}^2},$$

где  $\chi_{\frac{1+\gamma}{2}(n-1)}^2$  и  $\chi_{\frac{1-\gamma}{2}(n-1)}^2$  – квантили распределения  $\chi^2$  Пирсона порядков  $\frac{1+\gamma}{2}$  и  $\frac{1-\gamma}{2}$  соответственно с  $(n-1)$  степенью свободы (см. прил. 3).

### Пример 1

Из генеральной совокупности извлечена выборка объемом  $n = 10$ :

162 151 161 170 167 164 166 164 173 172

Построить доверительный интервал для оценки средней при  $\gamma = 0,95$ .

**Решение.** В данном случае объем выборки мал и нужно использовать формулу

$$\bar{X} - t_{\frac{\gamma+1}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + t_{\frac{\gamma+1}{2}}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n}}.$$

В примере практически все частоты значений признака имеют значения единицы, поэтому используем формулу простых средних  $\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$ :

$$\bar{X} = \frac{162+151+161+170+167+164+166+164+173+172}{10} = 165,$$

$$D(X) = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{X}^2,$$

$$\sum x_i^2 = 162^2 + 151^2 + 161^2 + 170^2 + 167^2 + 164^2 + 166^2 + 164^2 + 173^2 + 172^2 = 272616,$$

$$D(X) = \frac{272616}{10} - 165^2 = 27261,6 - 27225 = 36,6.$$

Исправленное среднее квадратическое отклонение связано с дисперсией следующим соотношением:  $s^2 = \frac{n}{n-1} \cdot D(X)$ ,

$$s^2 = \frac{10}{10-1} \cdot 36,6 \approx 40,67, \quad s = \sqrt{40,67} \approx 6,38.$$

Далее по таблице квантилей распределения Стьюдента (см. прил. 2) находим квантиль  $t_{\frac{\gamma+1}{2}}(n-1)$ :

$$\gamma = 0,95, \quad n = 10, \quad \frac{1+\gamma}{2} = 0,975, \quad t_{0,975}(9) = 2,262, \text{ подставляем:}$$

$$165 - 2,262 \cdot \frac{6,38}{\sqrt{10}} < m < 165 + 2,262 \cdot \frac{6,38}{\sqrt{10}}.$$

Получаем доверительный интервал:  $160,43 < m < 169,57$ .

## Пример 2

Известна следующая информация о выборке:

$$n = 72; \sum x_i = 1267,2; \sum x_i^2 = 22536.$$

Построить доверительный интервал для оценки средней при  $\gamma = 0,99$ .

**Решение.** В данном случае объем выборки велик, используем формулу

$$\bar{X} - \frac{t_\gamma \sigma}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + \frac{t_\gamma \sigma}{\sqrt{n}}.$$

Поскольку суммы уже даны по условию, объем вычислений сокращается.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{1267,2}{72} = 17,6,$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n} = \frac{\sum x_i^2}{n} - \bar{X}^2 = \frac{22536}{72} - 17,6^2 = 313 - 309,76 = 3,24,$$

$$\sigma = \sqrt{3,24} = 1,8.$$

По заданной доверительной вероятности  $\gamma$  и таблице распределения нормального закона  $\Phi(x)$  (см. прил. 1) определяем  $t_\gamma$ :

$$\Phi(t_\gamma) = \frac{1+\gamma}{2}.$$

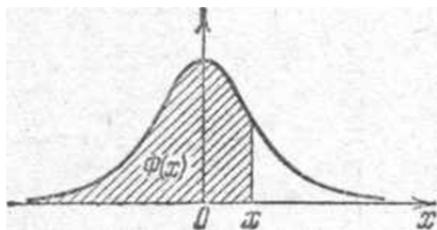
$\Phi(t_\gamma) = \frac{1+0,99}{2} = 0,995$ , по таблице (см. прил. 1)  $t_\gamma = 2,575$ , подставляем:

$$17,6 - \frac{2,575 \cdot 1,8}{\sqrt{72}} < m < 17,6 + \frac{2,575 \cdot 1,8}{\sqrt{72}}.$$

$$17,05 < m < 18,15.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНА**



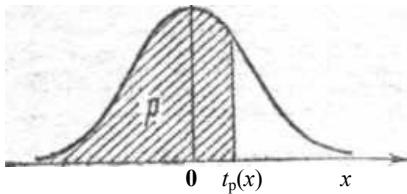
<b><math>x</math></b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
<b>0,0</b>	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
<b>0,1</b>	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5717	0,5753
<b>0,2</b>	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
<b>0,3</b>	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
<b>0,4</b>	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
<b>0,5</b>	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
<b>0,6</b>	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
<b>0,7</b>	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
<b>0,8</b>	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
<b>0,9</b>	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
<b>1,0</b>	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
<b>1,1</b>	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
<b>1,2</b>	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
<b>1,3</b>	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
<b>1,4</b>	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
<b>1,5</b>	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
<b>1,6</b>	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
<b>1,7</b>	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
<b>1,8</b>	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706

*Окончание таблицы*

<b><i>x</i></b>	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>
<b>1,9</b>	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
<b>2,0</b>	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
<b>2,1</b>	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
<b>2,2</b>	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9883	0,9887	0,9890
<b>2,3</b>	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
<b>2,4</b>	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
<b>2,5</b>	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
<b>2,6</b>	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
<b>2,7</b>	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
<b>2,8</b>	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
<b>2,9</b>	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
<b>3,0</b>	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
<b>3,1</b>	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
<b>3,2</b>	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
<b>3,3</b>	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
<b>3,4</b>	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

**КВАНТИЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТУДЕНТА**



$$s_n(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi n}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{n}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot \left(1 + \frac{x^2}{2}\right)^{-\frac{n+1}{2}}, \quad S_n(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi n}} \cdot \frac{\Gamma\left(\frac{n+1}{n}\right)}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot \int_{-\infty}^x \left(1 + \frac{u^2}{n}\right)^{-\frac{n+1}{2}} du.$$

$n$ $p$	0,750	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	318
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	22,3
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	10,2
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,785
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	4,501
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930
13	0,694	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852
14	0,692	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787
15	0,691	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733
16	0,690	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686
17	0,689	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646
18	0,688	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,610
19	0,688	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579
20	0,687	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552
21	0,686	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527
22	0,686	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505

*Окончание таблицы*

<i>n</i> <i>p</i>	<b>0,750</b>	<b>0,900</b>	<b>0,950</b>	<b>0,975</b>	<b>0,990</b>	<b>0,995</b>	<b>0,999</b>
<b>23</b>	0,685	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485
<b>24</b>	0,685	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467
<b>25</b>	0,684	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,450
<b>26</b>	0,684	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435
<b>27</b>	0,684	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421
<b>28</b>	0,683	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408
<b>29</b>	0,683	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396
<b>30</b>	0,683	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385
<b>40</b>	0,681	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307
<b>60</b>	0,679	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232
<b>120</b>	0,677	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,160
$\infty$	0,674	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,090