

заявл. 08.04.2011, опублик. 10.08.2012. Бюл. № 22.

3. Гусев, В.Г., Селиванов, А.М. Режущий инструмент для восстановительной обработки отверстий с неравномерным припуском: Материалы Международной научно-практической конференции «Современные материалы, техника и технология»; Курск: ЮЗГУ, 2011. – С. 99–101. – ISBN 978-5-905556-05-0.

4. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на современных многофункциональных токарных станках с ЧПУ: учеб. пособ. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 236 с. – ISBN 978-5-89368-979-2.

5. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на современных фрезерных станках с ЧПУ: учеб. пособ.– Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 240 с. ISBN 978-5-9984-0025-4.

6. Морозов, В.В., Гусев, В.Г. Программирование обработки деталей на обрабатывающих центрах: учеб. пособ. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. – 366 с. – ISBN 978-5-9984-0165-7.

7. Гусев, В.Г., Лазарев, А.В., Селиванов, А.М. Моделирование упругих перемещений режущих пластин при зенкерованиях отверстий в программе COSMOS WORKS // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. – № 2-6 (292). – С. 86–91.

REFERENCES

1. Vasin, S.A. *Prediction of Tool Vibration Resistance at*

Turning and Milling. – М.: Mechanical Engineering, 2006. – pp. 383.

2. Pat. No. 2457925 the RF, IPC V23V 29/034. Cutter / Gusev V.G., Selivanov A.M., Shvagirev P.S.; applied 08.04.2011, published 10.08.2012. Bull. No.22.

3. Gusev, V.G., Selivanov, A.M. Cutters for reducing machining of holes with uneven allowance. *Transactions of the Inter. Scientif. Pract. Conf. "Modern Materials, Engineering and Techniques"*; Kursk; SWSU, 2011. – pp. 99-101. - ISBN 978-5-905556-05-0.

4. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Machining Programming on NC Modern Multifunctional Lathes*: manual, Vladimir: Publishing House of Vladimir State University, 2009. – pp. 236 - ISBN 978-5-89368-979-2.

5. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Parts Milling Programming on NC Modern Milling Machines*: manual – Vladimir: Vladimir State University Publishers, 2010. – pp. 240. ISBN 978-5-9984-0025-4.

6. Morozov, V.V., Gusev, V.G. *Programming of Parts Machining in Processing Centers*: manual – Vladimir: Vladimir State University Publishers, 2011. – pp. 366 - ISBN 978-5-9984-0165-7.

7. Gusev, V.G., Lazarev, A.V., Selivanov, A.M. Simulation of cutter plate elastic motions at hole chamfering in COSMOS WORKS program // *Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology*. 2012. – No.2-6 (292). – pp. 86-91.

Рецензент д.т.н. В.В. Морозов

УДК 519.234.2

DOI: 10.12737/article_5a70c1043e3ec9.32007483

А.А. Моисеев, к.т.н.

(НПП «Технос – РМ» Россия, г. Мытищи, ул. Колпакова, 2 к. 15)

E-mail: slow.coach@yandex.ru

Оценка эффективности технологического процесса по доверительным границам вероятности брака

Разработан метод оценки доверительных границ вероятности брака по результатам выборочных испытаний. Метод базируется на интерпретации указанной вероятности как параметра биномиального распределения числа забракованных объектов. Использование стьюдентова распределения позволяет рассчитывать критическое значение для ограниченного числа испытаний. При увеличении числа испытаний в серии зависимость критического значения от этого числа практически исчезает и доверительные границы можно интерпретировать как объективные характеристики используемой технологии обработки. Верхняя доверительная граница в этих условиях является критерием эффективности анализируемой технологии – чем эта граница ниже, тем технология эффективнее в отношении доли брака. В свою очередь, нижняя граница характеризует процент брака, не связанный с технологией. Основной областью применения предложенного метода является сравнительный анализ результатов выборочного контроля для рабочей и контрольной групп, характеризующих эффективность технологии.

Ключевые слова: выборочные испытания; вероятность брака; доверительные границы; доверительный интервал; критическое значение; стьюдентова распределение; контрольная группа.

Assessment of engineering process efficiency on trust limits of rejects probability

A method is developed for the assessment of rejects probability trust limits according to the results of sample tests. The method is based on the interpretation of the probability mentioned as a parameter of the binomial value distribution of rejected objects. The application of Student distribution allows computing a critical value for the limited number of tests. At test number increase in the series the dependence of a critical value upon this number practically disappears and trust limits may be interpreted as objective characteristics of the processing technology used. The upper trust limit under these conditions is an efficiency criterion of the technology under analysis – the lower this limit, the more efficient technology is regarding rejects share. In its turn, the lower limit characterizes rejects percentage which is not connected with technology. A basic field of the application of the method offered is a comparative analysis of results of the random control for working and control groups characterizing technology efficiency.

Keywords: sample tests; rejects probability; trust limits; confidence interval; critical value; Student distribution; test group.

Одной из основных задач технической статистики является объективная оценка эффективности используемых производственных технологий. Поскольку целью совершенствования этих технологий является, в частности, снижение брака, естественным критерием эффективности оказывается снижение соответствующей вероятности. При этом использование точечной оценки этой вероятности в качестве критерия нежелательно вследствие ее ненадежности. Предпочтительной альтернативой является интервальная оценка вероятности брака с заданным уровнем доверия.

В данной работе ставится задача оценить доверительные границы данной вероятности по результатам выборочных испытаний. Исходными данными для оценивания являются: число испытаний n ; число забракованных объектов x ; доверительная вероятность P .

Вероятность брака является параметром биномиального распределения [1] для числа x бракованных объектов. Для этого числа строится стьюдентово отношение [2]:

$$t = \frac{x - np}{\sqrt{np(1-p)}} \quad (1)$$

При расчете доверительных границ величина отношения t сопоставляется критическому значению [3], соответствующему доверительной вероятности P , и удовлетворяет соотношению:

$$P = T_{n-1}(t) - T_{n-1}(-t) = 2T_{n-1}(t) - 1$$

или:

$$t = T_{n-1}^{-1}\left(\frac{P+1}{2}\right), \quad (2)$$

где T_{n-1}, T_{n-1}^{-1} – прямое и обратное распределения Стьюдента [1].

Соотношение (1) с подставленным соотно-

шением (2) рассматривается как уравнение относительно искомым доверительных границ вероятности брака. Оно трансформируется в квадратное уравнение вида:

$$(n+t^2)p^2 - (2x+t^2)p + \frac{x^2}{n} = 0 \quad (3),$$

корнями которого являются нижняя pl и верхняя ph доверительные границы вероятности.

Как корни квадратного уравнения они удовлетворяют следующим соотношениям:

$$pl = \frac{2x+t^2 - \sqrt{(2x+t^2)^2 - 4(n+t^2)\frac{x^2}{n}}}{2(n+t^2)};$$

$$ph = \frac{2x+t^2 + \sqrt{(2x+t^2)^2 - 4(n+t^2)\frac{x^2}{n}}}{2(n+t^2)}.$$

Предложенная выше методика пригодна при ограниченном количестве испытаний $n \leq 30$. В соответствии с законом больших чисел [1] при $n > 30$ распределение Стьюдента вырождается в нормальное, и зависимость критического значения t от числа испытаний практически исчезает. В этой ситуации доверительные границы можно рассматривать как объективные характеристики технологии. Верхняя граница ph характеризует качество технологии – чем граница ниже, тем технология совершеннее. В свою очередь величина pl имеет смысл оценки вероятности брака, не связанного с анализируемой технологией.

Результаты расчета доверительных интервалов для возможных чисел бракованных объектов и различных доверительных вероятностей отображены в табл. 1 для рабочей группы и в табл. 2 – для контрольной, характеризующей исходную технологию.

1. Рабочая серия

<i>x</i>	<i>P</i> = 0,9		<i>P</i> = 0,95		<i>P</i> = 0,99	
	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>
0	0	0,104813	0	0,145582	0	0,238336
1	0,008531	0,167897	0,006593	0,207342	0,004129	0,29514
2	0,025776	0,222266	0,020922	0,261367	0,014084	0,346118
3	0,047336	0,272321	0,03955	0,311092	0,027891	0,393244
4	0,071714	0,319559	0,061119	0,357876	0,044568	0,4375
5	0,098182	0,364706	0,084928	0,402421	0,063544	0,479458
6	0,126324	0,408179	0,110559	0,445144	0,084453	0,519482
7	0,155879	0,450239	0,137743	0,486313	0,10705	0,557818
8	0,186672	0,491061	0,166301	0,526108	0,131163	0,594638
9	0,218584	0,530764	0,196106	0,564657	0,156669	0,630065
10	0,251532	0,569431	0,227071	0,602046	0,183482	0,664185
11	0,285462	0,607116	0,259136	0,638334	0,211544	0,697056
12	0,320338	0,643854	0,292266	0,673557	0,240817	0,728716
13	0,356146	0,679662	0,326443	0,707734	0,271284	0,759183
14	0,392884	0,714538	0,361666	0,740864	0,302944	0,788456
15	0,430569	0,748468	0,397954	0,772929	0,335815	0,816518
16	0,469236	0,781416	0,435343	0,803894	0,369935	0,843331
17	0,508939	0,813328	0,473892	0,833699	0,405362	0,868837
18	0,549761	0,844121	0,513687	0,862257	0,442182	0,89295
19	0,591821	0,873676	0,554856	0,889441	0,480518	0,915547
20	0,635294	0,901818	0,597579	0,915072	0,520542	0,936456
21	0,680441	0,928286	0,642124	0,938881	0,5625	0,955432
22	0,727679	0,952664	0,688908	0,96045	0,606756	0,972109
23	0,777734	0,974224	0,738633	0,979078	0,653882	0,985916
24	0,832103	0,991469	0,792658	0,993407	0,70486	0,995871
25	0,895187	1	0,854418	1	0,761664	1

2. Контрольная серия

<i>x</i>	<i>P</i> = 0,9		<i>P</i> = 0,95		<i>P</i> = 0,99	
	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>	<i>pl</i>	<i>ph</i>
0	0	0,196368	0	0,267491	0	0,417829
1	0,015623	0,304381	0,011765	0,36842	0,006883	0,500511
2	0,048087	0,395552	0,038125	0,454753	0,024051	0,572907
3	0,089593	0,477682	0,073286	0,532286	0,0486	0,637923
4	0,137475	0,553436	0,114948	0,603318	0,079076	0,697012
5	0,190499	0,624047	0,161976	0,668983	0,114677	0,750975
6	0,248052	0,690131	0,21379	0,729863	0,154967	0,80025
7	0,309869	0,751948	0,270137	0,78621	0,19975	0,845033
8	0,375953	0,809501	0,331017	0,838024	0,249025	0,885323
9	0,446564	0,862525	0,396682	0,885052	0,302988	0,920924
10	0,522318	0,910407	0,467714	0,926714	0,362077	0,9514
11	0,604448	0,951913	0,545247	0,961875	0,427093	0,975949
12	0,695619	0,984377	0,63158	0,988235	0,499489	0,993117
13	0,803632	1	0,732509	1	0,582171	1

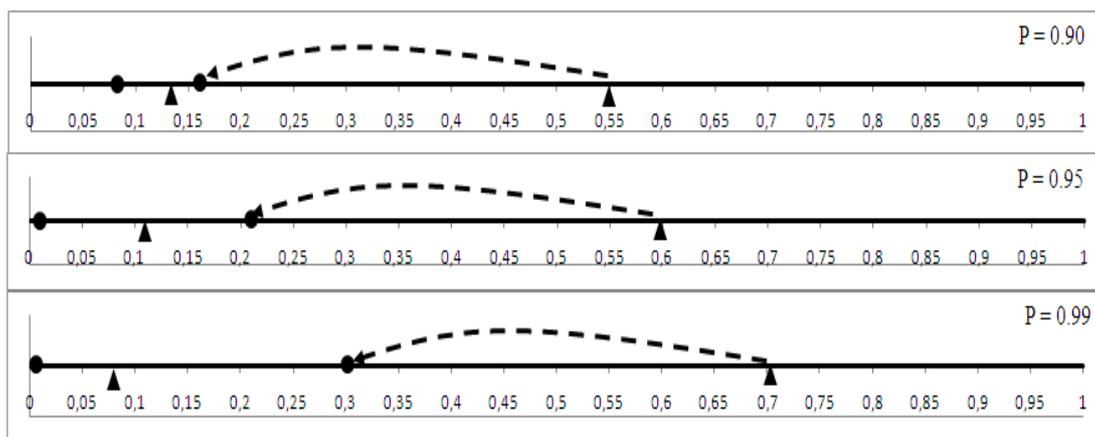


Рис. 1. Доверительные интервалы

Примеры наблюдаемых ситуаций и контрольной групп отображены жирным шрифтом в табл. 1 для рабочей серии и жирным шрифтом – в табл. 2 для контрольной. Для наглядности эти результаты отображены также графически на рис. 1. Кружками отображены доверительные границы для рабочей серии и треугольниками – для контрольной. Как и следовало ожидать, увеличение доверительной вероятности ведет к расширению доверительных интервалов. Главным же результатом сравнения является то, что влияние усовершенствованной технологии проявляется в существенном снижении верхней доверительной границы, указанном стрелкой. Это означает, что указанная технология является более совершенной в отношении доли брака.

Выводы:

1. Разработан метод оценки доверительных границ вероятности брака по результатам выборочных испытаний. Метод базируется на интерпретации указанной вероятности как параметра биномиального распределения числа забракованных объектов.

2. Сопоставление стьюдентова отношения для биномиального распределения критическому значению для заданной доверительной вероятности позволяет интерпретировать выражение для указанного отношения как уравнение относительно вероятности брака. Решения этого уравнения и определяют искомые доверительные границы.

3. Использование стьюдентова распределения позволяет рассчитывать критическое значение для ограниченного числа испытаний. При увеличении числа испытаний зависимость критического значения от этого числа

практически исчезает и доверительные границы можно интерпретировать как объективные характеристики технологии в отношении доли брака.

4. Верхняя доверительная граница в этих условиях является критерием эффективности анализируемой технологии – чем эта граница ниже, тем технология совершеннее. В свою очередь, нижняя граница характеризует долю брака, не связанного с технологией. Основной областью применения предложенного метода является сравнительный анализ результатов выборочных испытаний, полученных для рабочей и контрольной серий, с целью установления совершенства технологии в отношении доли брака.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Большев, Л.Н., Смирнов, Н.В.** Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
2. **Пугачев, В.С.** Теория вероятности и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 496 с.
3. **Чистяков, В.П.** Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
4. **Вадзинский, Р.Н.** Статистические вычисления в среде Excel. – СПб.: Питер, 2008. – 608 с.

REFERENCES

1. Bolshev, L.N., Smirnov, N.V. *Tables of Mathematical Statistics*. – M.: Science, 1983. – pp. 416.
2. Pugachyov, V.S. *Theory of Probability and Mathematical Statistics*. – M.: Science, 1979. – pp. 496.
3. Chistyakov, V.P. *Course of Probability Theory*. – M.: Science, 1987. – pp. 240.
4. Vadzinsky, R.N. *Statistical Computations in Excel Environment*. – S-Pb.: Peter, 2008. – pp. 608.

Рецензент д.т.н. О.А. Горленко