

УДК 338.512:621

Н. Ю. ЛАМНАУЭР, канд. техн. наук

Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Предложено прогнозирование качества изготовления продукции машиностроения для определения экономической технологии с использованием моделей рассеивания линейных размеров.*

*Запропоновано прогнозування якості виготовлення виробів машинобудування для визначення економічної технології з використанням моделей розсіювання лінійних розмірів.*

### Постановка задачи

Повышение качества продукции в условиях возрастающей конкуренции является одной из наиболее важных задач для предприятий машиностроения. Повышение качества продукции ведет к увеличению затрат, что в свою очередь приводит к удорожанию продукции и снижению спроса на нее. Поэтому вопросам использования технологий производства изделий обеспечивающих качество продукции с одновременным снижением себестоимости уделяется не мало внимания. Выбор такой технологии сводится к анализу и экономической оценке себестоимости изделий [1]. Решение данных вопросов не обходится без применения прогнозирования. Известно, что такой показатель качества, как линейный размер деталей, что составляют изделия, имеет большое значение в машиностроении.

Выбор какой-либо технологии должен проводиться по небольшому количеству испытаний, что в свою очередь сокращает затраты производителя. Для этого становится необходимым знание закона распределения линейных размеров, и иметь хорошие оценки параметров этих распределений.

Расчет себестоимости изделий машиностроения, произведенных при помощи различных технологий проводится без прогнозирования количества разного вида брака, который повышает себестоимость качественного изделия. Использование для данного расчета адекватных статистически моделей поможет реально оценить брак и в свою очередь себестоимость качественного изделия. Поэтому целью является предложить прогнозирование вероятности процента брака с помощью адекватной статистической модели рассеивания линейных размеров для расчета себестоимости качественного изделия, которое произведено по различным технологиям.

### Результаты

**Выбор технологии изготовления качественных изделий с минимальными затратами.** Предлагаемый метод выбора технологий изготовления качественных изделия с минимальными затратами для любых параметров качества является общим. Рассмотрим частный случай выбора технологии обработки изделия машиностроения при финишных операциях с восьмым и меньше качеством точности. Профессором А. А. Маталиным были найденные законы распределения рассеивания размеров при изготовлении деталей по восьмому и меньше качеством точности и данные физического обоснования этих законов [2]. Для шестого качества точности и менее – это равномерное распределение с функцией плотности

$$f(x) = \begin{cases} 1/(b-a), & a < x < b, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (1)$$

а для восьмого, седьмого и в некоторых случаях шестого – это распределение Симпсона (треугольное распределение) с функцией плотности

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{4(x-a)}{(b-a)^2}, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ \frac{4(b-x)}{(b-a)^2}, & \frac{a+b}{2} < x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  параметры распределения.

Если прогнозные линейные размеры  $a$  и  $b$  обработанных деталей лежат в поле допуска, то очевидно, что все эти детали качественные и выбор технологии их изготовления проводится на основе минимальной себестоимости (рис. 1).

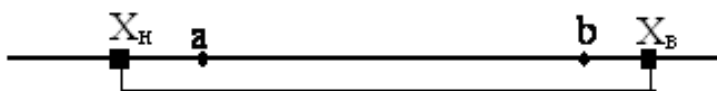


Рис. 1.  $X_n$  – нижняя граница допуска,  $X_b$  – верхняя граница допуска

Остался открытым вопрос, как выбрать технологию изготовления детали, если существует прогнозируемый брак, то есть, если оценки верхних и нижних границ  $a$  и  $b$  выходят за поле допуска размера. Очевидно, если оценки параметра  $b$  выходят за верхний допуск  $X_b$ , то существует брак, который возможно ликвидировать с помощью дополнительной обработки, что нуждается в дополнительных расходах на одну деталь  $C_1$  при данной технологии изготовления. Если же оценка параметра  $a$  меньше нижней границы допуска  $X_n$ , то существует брак и он не может быть ликвидирован и поэтому цена этих потерь на одну деталь  $C_2$  достаточно большая. На рис. 2 представлены области потерь от брака, что может быть исправимым или не исправимым для равномерного закона и распределения Симпсона.

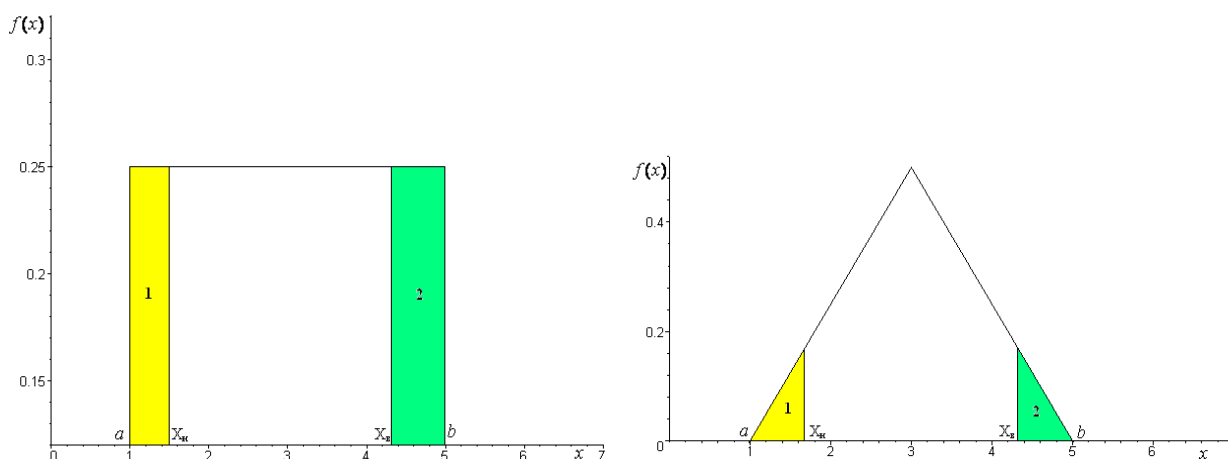


Рис. 2. Области потерь: 1– неисправимый брак; 2 – исправимый брак.

И так, себестоимость одной детали может быть выражена в виде

$$C = C_1 p_1 + C_2 p_2 + C_3, \quad (3)$$

где  $C_3$  – себестоимость изготовления не бракованной детали;  
 $p_1$  – вероятность выхода размера за верхний допуск,  $p_2$  – вероятность выхода размера за нижний допуск.

Сравнивая  $C$  при разных технологиях изготовления, определим экономически эффективный вариант.

Чтобы иметь по небольшому количеству испытаний близкую к истинной оценку верхней и нижней границы размера, нужно иметь достаточно неплохие оценки параметров распределений (1) и (2).

Наилучшими оценками в классе линейных оценок являются оптимальные линейные оценки, полученные по методу Ллойда [3]. Эти оценки являются не смещенными и такими, что имеют самую минимальную дисперсию в классе линейных оценок. Для равномерного закона (1) оценки имеют вид [4].

$$a^* = \frac{nx_{(1)} - x_{(n)}}{n-1}, \quad b^* = \frac{nx_{(n)} - x_{(1)}}{n-1}, \quad (4)$$

где  $n$  – объем испытаний;

$x_{(n)}$  – наибольшее выборочное значение,  $x_{(1)}$  – наименьшее выборочное значение.

Известно, что оценки Ллойда для равномерного распределения имеют самую минимальную дисперсию среди всех возможных несмещенных оценок [4].

Для распределения Симпсона и выборки объема  $n \leq 30$  найдены весовые коэффициенты оптимальных линейных оценок, которые имеют вид:

$$a^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot x_{(i)}, \quad b^* = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_{(i)}, \quad (5)$$

где  $x_{(i)}$  –  $i$ -ая порядковая статистика, а  $\alpha_i, \beta_i$  – весовые коэффициенты  $i$ -ой порядковой статистики.

В системе MAPLE была создана программа, которая позволяет найти весовые коэффициенты и дисперсии оценок (5) при различных объемах выборки  $n$ . Вычисление весовых коэффициентов при объемах выборки  $n > 50$  требуют больших затрат времени. Так, например, весовые коэффициенты при объеме выборки  $n=10$  имеют значения, которые даны в виде элементов матриц

$$\begin{aligned} \|\alpha_{i,10}\| &= (0,929968 \quad 0,161000 \quad 0,125059 \quad 0,122356 \quad 0,112183 \quad 0,067617 \\ &0,008617 \quad -0,034881 \quad -0,068767 \quad -0,423151) \\ \|\beta_{i,25}\| &= (-0,423151 \quad -0,068767 \quad -0,034881 \quad 0,008617 \quad 0,067617 \\ &0,112183 \quad 0,122356 \quad 0,125059 \quad 0,161000 \quad 0,929968). \end{aligned}$$

Так как для оценок (4) и (5) найдены их дисперсии, то это значит, что возможно сделать оценку погрешностей при разных объемах выборки  $n$ .

Оценка части неисправимого брака  $p_1$  для равномерного распределения при  $a^* < X_n$  с использованием (1) имеет вид

$$p_1 = \int_{a^*}^{X_n} 1/(b^* - a^*) dx = \frac{X_n - a^*}{b^* - a^*},$$

а с использованием формул (4) получим оценку  $p_1$

$$p_1 = \frac{x_{(n)} - n \cdot x_{(1)} + (n-1) \cdot X_n}{(n+1) \cdot (x_{(n)} - x_{(1)})}. \quad (6)$$

Для части исправимого брака  $p_2$  при  $X_g < b^*$  эта оценка имеет вид

$$p_2 = \int_{X_g}^{b^*} 1/(b^* - a^*) dx = \frac{b^* - X_g}{b^* - a^*},$$

а с использованием формулы (4)

$$p_2 = \frac{n \cdot x_{(n)} - x_{(1)} - (n-1) \cdot X_g}{(n+1) \cdot (x_{(n)} - x_{(1)})}. \quad (7)$$

Оценка части брака, который является не исправимым,  $p_1$  для распределения Симпсона при  $a^* < X_n$  с использованием (2) имеет вид

$$p_1 = \frac{2 \cdot (X_n - a^*)^2}{(b^* - a^*)^2}. \quad (8)$$

А для части брака, который является исправимым,  $p_2$  при  $X_g < b^*$  эта оценка имеет вид

$$p_2 = \frac{2 \cdot (b^* - X_g)^2}{(b^* - a^*)^2}, \quad (9)$$

где  $a^*$  и  $b^*$  находятся по формуле (5).

**Экономическая целесообразность выбора технологии по параметру биения.** Линейным размером точности изготовления детали является такой отрицательный случайный фактор R как биение. В работе [5] предложена физически адекватная модель биения, функция распределения которой имеет вид

$$F(r) = \begin{cases} 0, & r \leq 0 \\ 1 - \frac{(r_b - r)^{\alpha+1} (r_b + (1 + \alpha)r)}{r_b^{2+\alpha}}, & 0 \leq r \leq r_b \\ 1, & r \geq r_b \end{cases}, \quad (10)$$

где  $r_b$  – масштабный параметр;

$\alpha$  – параметр формы.

Математическое ожидание этой случайной величины R имеет вид:

$$M(R) = \frac{2r_b}{\alpha + 3}, \quad (11)$$

а дисперсия,

$$D(R) = \frac{2r_{\kappa}^2(1 + \alpha)}{(\alpha + 3)^2(\alpha + 4)}. \quad (12)$$

Метод Ллойда для нахождения оптимальных линейных оценок для модели (10) применим только для фиксированного значения параметра формы  $\alpha$ , который необходимо оценивать. Поэтому оценки параметров находились другими методами [6]. Анализ, проделанный, с помощью метода Монте-Карло показал, что оценки, полученные, по методу моментов практически несмещённые и имеют малую дисперсию по сравнению с другими оценками [6].

По методу моментов, оценки параметров  $r_b$  и  $\alpha$  для модели (10), находятся из формулы математического ожидания (11) и формулы дисперсии (12), приравнивая выборочное среднее  $\bar{r}$  и выборочную дисперсию  $D_b(R)$  к теоретическим моментам.

$$\alpha_1 = \frac{8D_b(R) - \bar{r}^2}{\bar{r}^2 - 2D_b(R)} \quad (13)$$

и 
$$r_{b1} = \frac{\bar{r}(\alpha_1 + 3)}{2}, \quad (14)$$

где оценка  $r_{b1}$  параметра  $r_b$  находится по найденному  $\alpha_1$  из (13).

Зная эти оценки для модели (10), можно решать практические задачи, по оценки доли брака, связанного с допуском на биение  $T \geq 0$ .

Очевидно, что если величина оценки верхнего порога биения,  $r_{b1} < T$ , то изделие не имеет брака по биению. В противном случае, когда  $r_{b1} > T$  - то брак присутствует, и его доля оценивается по формуле

$$P = (r_{b1} - T)^{\alpha_1 + 1} (r_{b1} + (1 + \alpha_1)T) / r_{b1}^{\alpha_1 + 2} \quad (15)$$

И так, если технология производства не дает брака ( $r_{b1} < T$ ), то себестоимость изделия рассчитывается обычным способом. В том случае, когда брак есть ( $r_{b1} > T$ ) и он неустраним, то себестоимость изделия без учёта утилизации необходимо считать по формуле

$$Ц = (1 + P) \cdot C_3, \quad (16)$$

где  $C_3$  – считаемая себестоимость не бракованного изделия.

В случае, когда брак по биению устраняется с затратами на одно изделие  $C_4$ , себестоимость качественного изделия рассчитывается по формуле

$$Ц = C_3 + P \cdot C_4. \quad (17)$$

#### Выводы

1. Прогнозирование качества изготовления изделий машиностроения дает возможность определения наиболее экономичной технологии за счет определения их себестоимости с учетом процента брака.

2. Использование моделей рассеивания линейных размеров при разных квалитетах точности, а также найденных оптимальных линейных оценок их параметров, позволяет по

малому количеству испытаний сделать прогноз брака, определить его вид, оценить его, а также рассчитать прогнозную себестоимость качественного изделия.

3. Предложенные расчетные формулы себестоимости изделий (16) и (17) с учетом вероятности выхода биения за допуск позволяют достаточно точно определить экономическую целесообразность выбора технологии производства изделий, где учитывается этот показатель качества.

#### Список литературы

1. Ламнауэр Н. Ю. Прогнозування технологічної собівартості якісних виробів. // Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник. Серия: экономические науки. – Вып. 85. – С. 390–397.
2. Маталин А. А. Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1990, – 468 с.,
3. Дейвид Г. Порядковые статистики: Пэр. с англ. / Под ред. В. В.Петрова – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы – 1979. – 336с.
4. Сархан и Гринберг. Введение в теорию порядковых статистик. – М.: Статистика: Пер.с англ./ Под ред. А. Я. Боярского, 1970. – 414 с.
5. Ламнауэр Н. Ю. Технологическое обеспечение качества соединений по параметру биения // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2005. – Вып.57. –С.56-61.
6. Арпентьев Б. М., Ламнауэр Н. Ю. Оценка качества сборки соединений по критерию биения // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ». –2005. – Вып.9. – С. 48–54.

#### ECONOMIC ASPECTS OF PROGNOSTICATION OF QUALITY OF WARES OF ENGINEER

N. Ju. LAMNAUEHR, Cand. Tech. Sci.

*Prognostication of quality of making of products of engineer for determination of economical technology is offered with the use of models of dispersion of linear sizes.*

*Поступила в редакцию 02.11.09*