

Список использованных источников

1. Крук, И.С. Система микропроцессорного автоматизированного регулирования положения штанги полевого опрыскивателя относительно обрабатываемой поверхности /И.С. Крук, А.В. Мучинский // Агропанорама. – 2022. – № 4 (152). – С. 2–6.
2. Болвонович, В. Берем потери пестицидов под контроль / В. Болвонович, Э. Могилевский // Белорусское сельское хозяйство. – 2013. – № 5 (133). – С. 12–14.
3. Теория и практика опрыскивания 2010 :метод пособие / И.А. Редкозубов [и др.]. – Дюпон ; Lechler, 2010. – 19 с.
4. Ротенберг, Ю.Ю. Высота штанги полевого опрыскивателя / Ю.Ю. Ротенберг, Т.В. Раскатова, И.А. Редкозубов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 5. – С. 42–43.
5. Защита растений в устойчивых системах землепользования : в 4 кн. / под общ. ред. Д. Шпаара. – Минск : Орех, 2004. – Кн. 4. – 374 с.
6. Крук, И.С. Научно-технические основы проектирования рабочих органов штанговых опрыскивателей / И.С. Крук. – Минск : БГАТУ, 2018. – 272 с.

УДК 519.86:631.145

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕРИЙНОЙ ПРОДУКЦИИ ВЫБОРОЧНЫМ МЕТОДОМ

Автор: М.В. Стрига, студент

Научный руководитель: А.Н. Леонов, д-р техн. наук, профессор
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

г. Минск, Республика Беларусь

Контроль качества серийной продукции предопределяется конфликтующими требованиями рынка: высокий уровень эксплуатационных параметров и относительно низкая себестоимость. Контроль качества серийной продукции можно разбить на две, принципиально различные группы: неразрушающий и разрушающий контроль. Достоинство неразрушающего контроля заключается в большой надёжности, высокой производительности и относительно низкой себестоимости. Однако существует большое количество деталей,

эксплуатационные параметры которых можно определить только в результате разрушения. Например, если важнейший эксплуатационный параметр – предел прочности при радиальном сжатии. Очевидно, что в этом случае 100 % контроль серийной продукции – бессмысленная операция. Разрушающий контроль базируется на определении эксплуатационных параметров относительно небольшого количества деталей (выборка), случайным образом отобранных из партии готовой продукции.

В данной работе объектом исследования, в качестве примера, выбраны – антифрикционные втулки из пористой бронзы (5 % Sn – Cu), получаемые методом порошковой металлургии. Основные технологические операции: прессование заготовок из порошков олова (30–40 мкм) и меди (80–100 мкм), спекание в защитной атмосфере (например, в среде эндогаза) при температуре 900°С, калибровка. Основные эксплуатационные свойства антифрикционных втулок: коэффициент трения, функциональные размеры и предел прочности при радиальном сжатии. Требуемый низкий коэффициент трения (0,06 – 0,08) предопределяется химсоставом материала и пропиткой пористых втулок машинным маслом. Минимальная погрешность функциональных размеров втулки (внешний диаметр, толщина стенки и длина втулки) обеспечивается операцией калибровки. Следует отметить, что упомянутые эксплуатационные параметры – объекты неразрушающего контроля серийной продукции. Третий важнейший эксплуатационный параметр – предел прочности при радиальном сжатии, классический объект разрушающего контроля качества серийной продукции. Предел прочности образцов из порошковых материалов при радиальном сжатии $\Omega_{p.c}$, используя экспериментальные данные, рассчитывается по ГОСТ 26529-85 [5]

$$\Omega_{p.c} = \frac{P(D-a)}{La^2}, \quad (1)$$

где P – нагрузка разрушения образца или появления трещины; D – внешний диаметр втулки; L – длина втулки; a – толщина стенки втулки. За величину предела прочности при радиальном сжатии принимается среднее арифметическое не менее трёх образцов [5].

Прежде чем дать анализ достоверности и надёжности существующего метода разрушающего контроля втулок отметим, что один и

тот же объект может описываться детерминированными и стохастическими закономерностями в зависимости от параметра, который подвергается контролю. Если эксплуатационный параметр описывается детерминированными закономерностями, то при равных управляющих факторах, эксплуатационный параметр всегда имеет одно и то же значение. Абсолютная погрешность параметра, в этом случае, определяется абсолютной погрешностью измерительного инструмента.

Если некий параметр объекта описывается стохастическими закономерностями, то **даже** в случае равенства управляющих факторов, значение эксплуатационного параметра непредсказуемо. В этом случае абсолютная погрешность эксплуатационного параметра предопределяется внешними причинами, которые, в свою очередь, непредсказуемо воздействуют на эксплуатационный параметр. При производстве антифрикционных втулок внешними причинами являются: колебания температуры, давления и влажности воздуха за пределами производственной территории, которые, в свою очередь, непредсказуемо изменяют температуру в печи в процессе спекания, содержание кислорода в эндогазе (непредсказуемая влажность). Большое влияние на эксплуатационные параметры вызывает непредсказуемое колебание электрического напряжения районной энергосети (основной источник энергии работы прессов, печей и другого технологического оборудования). В общем случае значение эксплуатационного параметра Y , подчиняющегося стохастическим закономерностям, предсказуемо **только** с некоторой вероятностью, описываемой нормальным законом распределения (закон Гаусса)

$$N(Y, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(Y-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где μ – генеральное среднее, σ – генеральное стандартное отклонение.

Закон нормального распределения случайных величин Y имеет фундаментальное значение для решения широкого класса прикладных научно-технических задач, поскольку адекватно, с достаточной точностью, описывает распределение случайных значений эксплуатационного параметра Y , непредсказуемо подверженного влиянию большого количество относительно небольших по величине случай-

ных независимых величин, что характерно для сложных технологических процессов.

Уравнение Гаусса позволяет рассчитать долю изделий в любом интервале изменения эксплуатационного параметра Y . Например, доля изделий для интервала $\mu - 2\sigma \leq Y \leq \mu + 2\sigma$ составляет 95,45 %. Доля изделий в интервале $Y \geq \mu - 2\sigma$ составляет 97,73 % (рассчитывается из предыдущего неравенства). Второе неравенство будет использовано для решения конкретных прикладных задач в дальнейшем. Таким образом знание генеральных параметров μ и σ позволило бы решить проблему качества серийной продукции. Очевидно, что определить генеральные параметры μ и σ экспериментально невозможно, так как для этого пришлось бы использовать **все** случайные значения генеральной совокупности, а их бесконечное множество. Однако в том то и состоит концептуальная суть математической статистики, что её методы позволяют оценить генеральные параметры μ и σ , используя для этого относительно небольшое количество случайных величин, образующих выборку. Однако, в этом случае определяются не генеральные параметры μ и σ , а их доверительные интервалы.

Выборочный метод базируется на утверждении, что случайные значения выборки, извлекаемые из генеральной совокупности случайным образом, репрезентативно (приблизительно) отражают свойства генеральной совокупности. Суть метода заключается в следующем: 1) из партии готовых изделий (N – штук) случайным образом отбирается относительно небольшое количество изделий, называемой выборкой (n штук), причём $n \ll N$; 2) изделия выборки подвергаются разрушающему контролю путём определения предела прочности при радиальном сжатии; 3) с помощью методов математической статистики на базе данных, полученных для выборки, делается вывод о качестве изделий **всей** серийной продукции. Так как важнейший эксплуатационный параметр антифрикционных втулок – предел прочности при радиальном сжатии, то **цель производства** – изготовление серийной партии втулок, при условии, что 97,73 % всех втулок должны иметь предел прочности при радиальном сжатии больше согласованного с заказчиком норматива $[Q]$.

Поэтому дальнейшее исследование может быть выполнено двумя способами: либо экспериментально на базе большого количества экспериментальных образцов, либо теоретически на базе теоретиче-

ских уравнений математической статистики. Первый вариант связан с большими материальными и временными затратами. Применения второго варианта облегаются применением генератора случайных чисел, множество которых подчиняется нормальному закону распределения, что эмитирует реальное распределение деталей реального технологического процесса.

В данной работе исследование выполнено теоретически, используя генератор случайных числовых параметров, распределение которых подчиняется нормальному закону распределения. Если бы были известны точные значения генеральных параметров μ и σ , то 97,73% всех изделий серийной продукции превышали бы эксплуатационный параметр – предел прочности при радиальном сжатии $A_3 = \mu - 2\sigma$. Следует отметить, что несмотря на то, что выборка генерируется при заданных значениях генеральных параметров μ и σ , конечный объём выборки позволяет рассчитать только доверительный интервал этих параметров

$$\mu \in [\mu_{\min}; \mu_{\max}], \quad \sigma \in [\sigma_{\min}; \sigma_{\max}]. \quad (3)$$

Как следствие этих математических выражений, для эксплуатационного параметра качества серийной продукции также нельзя рассчитать точное значение, а только его доверительный интервал

$$A_3 \in [\mu_{\min} - 2\sigma_{\max}; \mu_{\max} - 2\sigma_{\min}]. \quad (4)$$

Для большой надёжности (более 97,73 % деталей) мы вынуждены в качестве эксплуатационного параметра качества серийной продукции принять его минимальное значение

$$A_3 = \mu_{\min} - 2\sigma_{\max}. \quad (5)$$

Если $A_3 > [Q]$, где $[Q]$ – согласованный с заказчиком минимальный норматив качества, то серийная продукция считается приемлемой по качеству. Если это неравенство не выполняется, то следует либо договориться с заказчиком на более низкое значение норматива, возможно за счёт снижения цены, либо на будущее принять решение о модернизации собственного производства, за счёт приобретения технологического оборудования более высокого качества, но очевидно более дорогого.

Несколько слов о генераторе случайных значений чисел [6]. Генератор выдает выборку, состоящую из множества случайных

чисел после того, как заданы значения генеральных параметров μ, σ , объём выборки n и количество цифр в случайном параметре Y . После этого сгенерированное множество случайных чисел переносится в автоматизированную компьютерную оболочку, позволяющую рассчитать все промежуточные и конечные параметры выборки, проверить выборку на промах по критерию Смирнова-Грabbса, на принадлежность случайных значений выборки к нормальному закону распределения по критерию Гири, рассчитать доверительные интервалы генеральных параметров μ, σ и A_s (соответствующие уравнения будут приведены ниже).

Моделирование технологического процесса (см. таблицу) выполнен для $\mu = 450$ МПа, $\sigma = 25$ МПа, значения которых выбраны на основе опыта. Для изучения зависимости генеральных параметров от объёма выборки взяты два значения $n_1 = 200$ (предполагая, что большой объём выборки позволит с приемлемой точностью оценить генеральные параметры μ и σ), и $n_2 = 20$ (надеясь на то, что с целью минимизации расходов на разрушающий контроль, именно такой объём выборки позволит сделать вывод о качестве серийной продукции). Жирным шрифтом приведены соответствующие данные для $N = 200$ опытов, а обычным шрифтом для $N = 20$ опытов.

Таблица 1 – $\mu = 450$ МПа; $\sigma = 25$ МПа; $n = 20, 50, 80, 110, 140, 170, 200$.

n	\bar{Y} , МПа	S , МПа	$\overline{\Delta Y}$, МПа	μ_{\min} , МПа	μ_{\max} , МПа	σ_{\min} , МПа	σ_{\max} , МПа	$\Delta\sigma$, МПа	$A_{экс}$, МПа
20	454,0	27,88	13,0	441,0	467,0	21,20	40,71	9,8	359,5
50	445,9	26,69	7,6	438,3	453,5	22,29	33,26	5,5	371,8
80	445,7	26,80	6,0	439,7	451,7	23,19	31,74	4,3	376,3
110	449,2	27,07	5,1	441,1	454,3	23,90	31,20	3,7	381,7
140	447,8	25,57	4,3	443,6	452,1	22,88	28,97	3,0	385,6
170	450,3	26,82	4,1	446,2	454,3	24,24	30,02	2,9	386,2
200	449,5	26,28	3,7	445,8	453,1	23,93	29,14	2,6	387,5

Параметры, представленные в таблице, были рассчитаны теоретически по уравнениям, приведённых в работах [1-4].

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}, \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad f_s = n-1,$$

$$\tau_3 = \frac{|Y_{\text{канд}} - \bar{Y}|}{S}, \quad f_\tau = n-2, \quad \tau_{\text{табл}} = \tau_{n-2; 0,95}$$

$$\text{CAO} = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|}{n}, \quad \theta_3 = \left| \sqrt{\frac{n}{n-1}} \cdot \frac{\text{CAO}}{S} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right|, \quad \theta_{\text{табл}} = \frac{2}{5 \cdot \sqrt{n}},$$

$$\Delta \bar{Y} = \frac{t_{n-1; 0,95} \cdot S}{\sqrt{n}}, \quad \mu_{\min} = \bar{Y} - \Delta \bar{Y},$$

$$\mu_{\max} = \bar{Y} + \Delta \bar{Y}, \quad \sigma_{\min} = \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{n-1; (1-p)/2}^2}}, \quad \sigma_{\max} = \sqrt{\frac{(n-1)S^2}{\chi_{n-1; (1+p)/2}^2}},$$

$$A_3 = \mu_{\min} - 2\sigma_{\max}.$$

$\tau_3 < \tau_{\text{табл}}$ – условие того, что в выборке отсутствует промах,

$\theta_3 < \theta_{\text{табл}}$ – условие того, что выборка подчиняется нормальному закону распределения.

Анализ полученных данных в таблице позволяет сделать вывод о том, что выборочное среднее и выборочное стандартное отклонение, предопределяемые конечным объёмом выборки, достаточно хорошо совпадают с генеральными параметрами, которые предопределяются бесконечным множеством случайных величин. Даже при $n = 20$ относительная погрешность оценки генерального среднего составляет $\approx 3\%$, а генерального стандартного отклонения 35% (при $n = 50$ относительная погрешность составляет $\approx 2\%$ и $\approx 20\%$, соответственно). Если для контроля качества взять выборку с $n = 20$, то требуемое качество серийной продукции может быть обеспечено только, если принятый норматив качества $[Q] \leq 359$ МПа. В этом случае эксплуатационный параметр качества $A_3 \geq [Q]$, а это означает, что минимум $97,73\%$ втулок будет иметь предел прочности при радиальном сжатии больше 359 МПа. Если

для контроля качества взять выборку $n = 50$, то можно гарантировать качество серийной продукции с вероятностью 97,73 % втулок более 371 МПа (см. рисунок). Из таблицы и рисунка видно, что реальный технологический процесс, характеризуемый генеральными параметрами $\mu = 450$ МПа и $\sigma = 25$ МПа может обеспечить максимальное значение параметра качества не более 390 МПа.

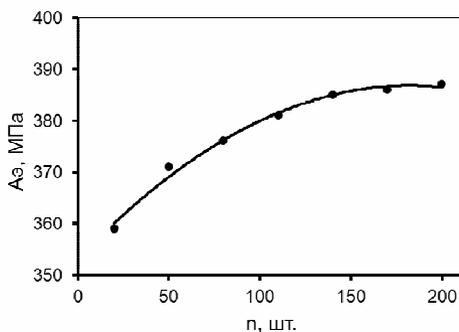


Рисунок – Зависимость экспериментального параметра серийной продукции от объема выборки

Заключение. Генератор случайных чисел, подчиняющихся нормальному закону распределения, является эффективным инструментом оценки качества серийной продукции выборочным методом. Эксплуатационные параметры в этом случае описываются стохастическими закономерностями, контроль качества которых осуществляется методом разрушающего контроля. Генерация случайных чисел, множество которых подчиняется нормальному закону распределения, эмитирует реальное распределение деталей, с требуемыми эксплуатационными параметрами реального технологического процесса.

Особо важное значение нормальный закон распределения имеет для описания технологических процессов сельского хозяйства, так как непредсказуемое и довольно существенное изменение погодных условий, предопределяет стохастический характер эксплуатационных параметров в этой области народного хозяйства.

Авторы статьи выражают благодарность М.М. Дечко за идеи, изложенные в публикациях [1-4]. и обсуждение результатов, полученных в статье.

Список использованных источников

1. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
2. Леонов, А.Н. Основы научных исследований в примерах и задачах: учебно-методическое пособие / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис; под ред. А.Н. Леонова – Минск: БГАТУ, 2013. – 136 с.
3. Леонов, А.Н. Основы моделирования: учебно-методическое пособие / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис; под ред. А.Н. Леонова – Минск: БГАТУ, 2020. – 160 с.
4. Леонов, А.Н. Основы моделирования. Лабораторный практикум: учебное пособие / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис; под ред. А.Н. Леонова – Минск: БГАТУ, 2022. – 124 с.
5. ГОСТ 26529-85. Материалы порошковые. Метод испытания на радиальное сжатие.
6. Normal Distribution Generator – Good Calculator [goodcalculator.com>normal-distribution-generator/](http://goodcalculator.com/normal-distribution-generator/) Перевод с английского.