

УДК 347.823.21

DOI 10.51955/2312-1327_2025_3_56

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРЕССОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Николай Сергеевич Херсонский,
orcid.org/0000-0003-1296-7131,
кандидат технических наук
генеральный директор ООО «СОЮЗСЕРТ»,
ул. Викторенко, д. 7, корпус 30
Москва, 125167, Россия
hersn@yandex.ru

Людмила Геннадьевна Большедворская,
orcid.org/0000-0002-1425-7398,
доктор технических наук, профессор
Московский государственный технический
университет гражданской авиации,
Кронштадтский бульвар, д. 20
Москва, 125493, Россия
l.bolshedvorskaya@mstuca.ru

Аннотация. Обзор публикаций и результатов научных исследований в авиационной и аэрокосмической отраслях свидетельствует о недостаточности разработок и рекомендаций по применению статистических методов для оценки качества и надежности пиротехнических устройств, входящих в состав таких важных систем, как двигательные установки, системы разделения, элементы конструкций летательных аппаратов и других устройств. В данной статье представлен методический подход к проведению статистической оценки качества прессованных деталей, по результатам которой производителям сложных технических агрегатов и комплектующих изделий предоставляется возможность сократить количество брака и переделок, оптимизировать производственный процесс и повысить производительность труда. Кроме этого, стабильное качество комплектующих, подтвержденное результатами статистического анализа, позволит обеспечить надежную эксплуатацию готовых изделий, продлевая их срок службы.

Ключевые слова: таблицы классификации контролируемых параметров, статистический анализ, качество прессованных деталей, сокращение количества дефектных прессдеталей, планы статистического приемочного контроля по количественному и альтернативному признаку.

STATISTICAL METHODS FOR INSPECTION OF PRESSED PARTS

Nikolai S. Khersonsky,
orcid.org/0000-0003-1296-7131,
Candidate of Technical Sciences
General Director of SOYUZCERT LLC,
7, building 30, Viktorenko St.
Moscow, 125167, Russia
hersn@yandex.ru

*Ludmila G. Bolshedvorskaya,
orcid.org/0000-0002-1425-7398,
Doctor of Technical Sciences, Professor
Moscow State Technical University of Civil Aviation,
20, Kronshtadtsky blvd
Moscow, 125493, Russia
l.bolshedvorskaya@mstuca.ru*

Abstract. A review of publications and research results in the aviation and aerospace industries indicates a lack of development and recommendations for the use of statistical methods to assess the quality and reliability of pyrotechnic devices that are part of such important systems as propulsion systems, separation systems, structural elements of aircraft and other devices. The article presents a methodological approach to conducting a statistical assessment of the quality of pressed parts, as a result of which manufacturers of complex technical units and components will be given the opportunity to reduce the number of defects and alterations, optimize the production process and increase labor productivity. In addition, the stable quality of components confirmed by the results of statistical analysis will ensure reliable operation of finished products extending their service life.

Keywords: tables of classification of controlled parameters, statistical analysis, quality of pressed parts, reduction of the number of defective pressed parts, plans of statistical acceptance control on a quantitative and alternative basis.

Введение

Статистические методы давно и весьма убедительно доказали свою применимость в сфере мониторинга, контроля, прогнозирования и совершенствования технологических процессов производства, применяемых в различных отраслях¹ [Базин и др., 2013; Бриш и др., 2017; Ефремов и др., 2021; Кулув и др., 2019; Лемешко и др., 2023; Стабилизация..., 2007].

Авиационная и аэрокосмическая отрасли не исключение, но, тем не менее, можно отметить недостаточность разработок и рекомендаций по применению статистических методов для оценки качества и надежности изделий в конструкциях современных воздушных судов и космических аппаратов, к которым относятся пиротехнические устройства, входящие в состав таких важных систем, как двигательные установки, системы разделения, элементы конструкций летательных аппаратов и других устройств².

Актуальность применения пиротехнических средств в авиации обострилась на фоне активного использования беспилотных авиационных систем в лесном хозяйстве для мониторинга возникновения и распространения лесных пожаров, поиска облаков, способных обеспечить пожаротушение путем распыления с помощью пиротехнических устройств частиц реагентов, вызывающих локальные осадки [Новые способы..., 2024].

Особую роль пиротехнические устройства играют в конструкции космического аппарата, обеспечивая крепление и последующее отделение отработанных частей, а также раскрытие антенн, панелей солнечных батарей и др. Надежная работа указанных устройств, технологической особенностью

¹Вентцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие для вузов / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. 2 изд. М.: Высшая школа. 2000. 480 с.

²Детали механизмов авиационной и космической техники: учебное пособие для вузов по направлению «Авиа- и ракетостроение» / Ю. М. Климов и др.; под ред. Ю. М. Климова, Е. А. Самойлова. М.: Изд-во МАИ, 1996. 341 с.

создания которых являются процессы прессования и высверловки, создают условия для эффективного выполнения программ полета, предотвращая аварийные ситуации.

Пиропатроны, чаще всего, используются в системах, являющихся одноразовыми, например, срабатывание подушки безопасности, автоматическое пожаротушение, дымовое техническое назначение и др. Тем самым, ограничивается возможность получения достоверной информации для последующего анализа возникающих сбоев, отклонений в качестве и надежности данного изделия по фактам свершившихся событий в эксплуатационных условиях.

В данной статье показаны результаты экспериментального исследования на примере процесса изготовления прессованных деталей, контролируемых относительно параметров высоты и глубины высверловки посредством применения статистических методов, таких как статистический анализ технологического процесса, определение настройки, оценки стабильности и точности процесса прессования, а также разработки планов статистического приемочного контроля параметров готовых изделий.

Материалы и методы

Анализируя результаты научных достижений в исследуемой области, можно выделить несколько практических выводов, которые могут быть использованы в данной работе [Редько и др., 2011; Емельянов и др., 2017]. Например, в публикации авторов о применении статистических методов для анализа дефектов подчеркивается, что существенное влияние на качество изделий оказывают структурный состав материалов, включая уровень сопротивления механическому воздействию, повышенные оптические свойства, степень электропроводности, уровень сцепления различных материалов при горячем прессовании и др. [Контроль качества..., 1974; Некрасов и др., 2019; Равич и др., 2019].

В таблице 1 представлен обзорный анализ существующих и использующихся наибольшей популярностью статистических методов для оценки качества прессования.

Таблица 1 – Основные группы статистических методов оценки качества прессования

Группы статистических методов	Направленность метода	Область практического применения
Описательная статистика	Расчет основных статистических показателей (среднее значение, медиана, стандартное отклонение, размах) для ключевых параметров деталей (размеры, вес, твердость, плотность и т.д.)	Получение общей картины о стабильности процесса прессования, выявление отклонений от заданных значений, определение разброса параметра
Контрольные карты	Графическое представление изменений статистических	Раннее обнаружение причин нестабильности, выявление

Группы статистических методов	Направленность метода	Область практического применения
	показателей во времени. Позволяют выявить тенденции, циклические изменения и выход процесса из-под контроля	необходимых корректирующих действий. Позволяют оперативно реагировать на отклонения и предотвращать выпуск бракованной продукции
Гистограммы	Графическое представление распределения значений определенного параметра. Позволяет визуализировать форму распределения, определить его симметричность, наличие выбросов	Оценка соответствия фактического распределения параметра заданному, выявление потенциальных проблем с качеством, связанных с ненормальным распределением
Анализ возможностей процесса	Оценка стабильности процесса прессования стабильно производить детали, соответствующие заданным допускам. Рассчитываются индексы возможностей процесса	Определение потенциальной возможности процесса, сравнение различных процессов прессования, оценка влияния изменений в процессе на его стабильность
Регрессионный анализ	Метод организации серии экспериментов для выявления наиболее важных факторов, влияющих на качество прессования и оптимизацию параметров процесса	Оптимизация параметров процесса для достижения наилучших показателей качества. Позволяет прогнозировать качество деталей на основе известных параметров процесса
Планирование эксперимента	Организация серии экспериментов с учетом наиболее значимых факторов, влияющих на качество прессования	Быстрое и эффективное определение оптимальных параметров процесса, минимизация затрат на проведение эксперимента
Анализ видов и последствий отказов	Систематический подход к выявлению потенциальных отказов в процессе прессования, оценка их серьезности, вероятности возникновения и возможности обнаружения	Предотвращение отказов, повышение надежности процесса и улучшения качества продукции. Позволяет сосредоточить усилия на устранение наиболее критических рисков
Статистический приемочный контроль	Метод контроля качества партии деталей на основе выборочной проверки. Позволяет принять решение о приемке или отклонении партии на основе результатов проверки выборочных образцов	Контроль качества входящих материалов или готовой продукции, минимизация затрат на контроль

Но, тем не менее, несмотря на значительное развитие статистических методов контроля качества продукции, научно-технические достижения и растущие потребности к созданию новых высокотехнологичных комплектующих, готовых изделий для поддержания работоспособности и надежности авиационных, космических и других производств выдвигают ряд

новых малоизученных задач, одной из которых является задача статистического контроля качества прессованных деталей.

Поэтому выбор и обоснование применимости статистических методов в зависимости от изменений достижений научно-технического прогресса и условий производства, применяемых сырья и материалов, компетентности кадров требуют более детального исследования.

Результаты

Анализ точностных характеристик процесса изготовления прессованных деталей (прессдеталей), включающий определение стабильности, оценки коэффициента точности, корректировки уровня настройки проводился по схеме, включающей несколько этапов [Херсонский, 2011; Херсонский и др., 2008].

На первом этапе от объема каждой выработки в течение пяти смен отбиралось по 100 прессованных деталей, у которых с точностью до 0,1 мм замерялись высота и глубина вы сверловки. По результатам замеров определялись средние арифметические значения параметров по формуле:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} x_{ij}, \quad (1)$$

где: x_{ij} – значение исследуемого параметра i -той прессованной детали в j -той смене ($i = 1, 2, \dots, 100; j = 1, 2, \dots, 5$).

Средние квадратические отклонения значений исследуемых параметров определялись по формуле:

$$\bar{S}_j = \frac{1}{100} \sqrt{\sum_{i=1}^{100} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}. \quad (2)$$

Далее для настройки процесса произведены вычисления среднего значения из группы пяти выборок по исследуемому параметру по формуле:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 \bar{x}_j. \quad (3)$$

Стабильность процесса по исследуемому параметру определялась по критерию Кокрена [Закс, 1976] по формуле:

$$G = \frac{\bar{S}_{j_{max}}^2}{\bar{S}_1^2, \bar{S}_2^2, \bar{S}_3^2, \bar{S}_4^2, \bar{S}_5^2}, \quad (4),$$

где: $S_{j_{max}}^2$ – максимальная дисперсия из 5 выборочных дисперсий $\bar{S}_1^2, \bar{S}_2^2, \bar{S}_3^2, \bar{S}_4^2, \bar{S}_5^2$, определяемых по формуле $\bar{S}_j^2 = (\bar{x}_j)^2$.

Расчётное значение критерия Кокрена G сравнивалось с критическим значением $G_{kp} = 0,26$, взятым из таблиц работы [Закс, 1976] при общепринятым уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $K=5$ (число выборок) и $\gamma = n-1=99$.

При выполнении неравенства $G < G_{kp}$ процесс считается стабильным, в противном случае – нестабильным.

Следующий этап – расчет коэффициента точности процесса K_T , который определялся по формуле:

$$K_T = \frac{6 \bar{\bar{S}}}{\Delta}, \quad (5)$$

где: $\bar{\bar{S}}$ – среднее квадратическое отклонение процесса по всем выборкам для каждого параметра прессованной детали;

Δ – чертежное поле допуска по параметрам высоты и глубины запрессовки; q – средний уровень качества раздельно по параметрам глубины высверловки (L) и высоты (H), определялся по формулам нормального закона распределения [Закс, 1976]:

$$q_L = 1 - \{F\left(\frac{L_2 - \bar{\bar{L}}}{\bar{\bar{S}}_L}\right) - \left(\frac{L_1 - \bar{\bar{L}}}{\bar{\bar{S}}_L}\right)\}, \quad (6)$$

и

$$q_H = 1 - \{F\left(\frac{U - \bar{\bar{H}}}{\bar{\bar{S}}_H}\right) - \left(\frac{P - \bar{\bar{H}}}{\bar{\bar{S}}_H}\right)\}, \quad (7)$$

где: L_1 – нижнее значение поля допуска глубины высверловки по чертежу на прессдеталь;

L_2 – верхнее значение поля допуска глубины высверловки по чертежу на прессдеталь;

$\bar{\bar{L}}$ – среднее арифметическое значение глубины высверловки по информации по пяти выборкам;

$\bar{\bar{S}}_L$ – среднее квадратическое отклонение значения глубины высверловки по информации по пяти выборкам;

U – верхнее граничное значение высоты прессдетали по чертежу;

P – нижнее граничное значение высоты прессдетали по чертежу;

$\bar{\bar{H}}$ – среднее арифметическое значение высоты по информации по пяти выборкам;

$\bar{\bar{S}}_H$ – среднее квадратическое отклонение значений высоты прессдетали по информации по пяти выборкам.

Проверка соответствия экспериментальных данных значений параметров глубины вы сверловки и высоты пресс детали по критерию Пирсона χ^2 [Закс, 1976] показала соответствие их распределений нормальному закону.

Результаты статистического анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты статистического анализа процесса изготовления прессованных деталей

Параметры выборки	Номер выборки, j				
	1	2	3	4	5
Выборочное среднее арифметическое значение параметра высоты прессованных деталей, \bar{H}_j , мм	51,3	51,2	51,3	51,1	51,3
Выборочная дисперсия значения параметра высоты прессованных деталей, \bar{S}_{Hj}^2 , мм ²	0,5782	0,5297	9,4013	0,4189	0,5167
Выборочное среднее арифметическое значение параметра глубины вы сверловки прессованных деталей, \bar{L}_j , мм	64,6	64,6	64,6	64,6	64,5
Выборочная дисперсия значения параметра глубины вы сверловки прессованных деталей, \bar{S}_{Lj}^2 , мм ²	0,0278	0,0309	0,0489	0,0448	0,0487

Результаты расчётов определения точностных показателей процессов изготовления прессованных деталей по параметрам: высоте и глубине вы сверловки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов определения точностных показателей процессов изготовления прессованных деталей по параметрам: высоте и глубине вы сверловки

Допустимые значения параметров прессованных деталей	Значения критерия Кокрена, G	Критические значения критерия Кокрена, G_{kp}	Коэффициент точности процессов, K_t	Средние арифметические значения параметров пресс деталей по пяти выборкам, \bar{H}, \bar{L}	Средние квадратические отклонения по пяти выборкам, \bar{S}_H, \bar{S}_L	Уровень качества, $q_H, q_L, (\%)$
50,0 ≤ H ≤ 54,0	0,24	0,26	1,14	$\bar{H} = 51,25$	$\bar{S}_H = 0,76$	$q_H = 3,6$
62,0 ≤ L ≤ 68,0	0,25	0,26	0,20	$\bar{L} = 64,6$	$\bar{S}_L = 0,02$	$q_L = 0,0001$

Анализируя данные таблицы 3, можно сделать вывод, что процесс изготовления прессованных деталей относительно параметров высоты и глубины вы сверловки стабилен, так как $G_H < 0,26$ и $G_L < 0,26$.

Дискуссия

Для рассматриваемых вариантов изготовления прессдеталей в проведенном исследовании с помощью методов экспертных оценок было установлено, что выход значений конкретных параметров за пределы чертежного поля допуска может привести к потере работоспособности изделий. Для таких параметров ОСТ 84-612-79 устанавливает Π_B категорию значимости, поэтому в таблице классификации параметров прессдеталей были определены приемлемые (q_u) и предельные (q_m) уровни качества для Π_B категории значимости: глубина вы сверловки – $q_u = 0,65\%$ и $q_m = 5,5\%$, высота прессованной детали – $q_u = 0,65\%$ и $q_m = 5,5\%$.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что технологический процесс изготовления прессдеталей относительно высоты не удовлетворяет требованиям по точности (для нормального процесса должно быть $K_t < 1,0$) и требует дополнительной наладки. Технологический процесс изготовления прессдеталей относительно глубины вы сверловки удовлетворяет требованиям по точности, поэтому может быть переведен на статистический приемочный контроль (СПК).

Для контроля параметров анализируемых деталей с учетом полученной информации в качестве примера были использованы планы по количественному (по ГОСТ 20736-75³) и по альтернативному признакам (по ОСТ 84-612-79.)

Для рассматриваемого примера это значение составило $\bar{\bar{S}}_L = 0,02$ (определен по пяти выборкам, поэтому известно заранее).

В работе предложен алгоритм выбора плана контроля (нормального, усиленного или ослабленного) по стандарту на примере параметра глубины вы сверловки прессдетали.

Из стандарта выбирается уровень контроля III, который применяют в том случае, если приемка партий, не соответствующих установленным требованиям, приводит к большим потерям или стоимость процедуры контроля незначительная.

Из таблицы 1 стандарта выбирается рекомендуемое значение приемочного уровня качества $q_u = 0,65\%$, в стандарте он обозначен как AQL.

Из таблицы 2 стандарта для объема сменной выработки $N = 1300$ шт. выбирается код выборки «L» для III уровня контроля. По коду выборки «L» и приемочному уровню качества q_u (AQL) = 0,65% по таблице 2 стандарта для усиленного контроля находят объем выборки $n = 21$.

Для приемки прессдеталей по параметру глубины вы сверловки от сменной выработки, равной $N = 1300$ шт., случайным образом отбирается выборка, соответствующая объему $n = 21$. У отобранных прессдеталей с точностью до 0,1 мм замеряется глубина вы сверловки и определяется среднее арифметическое значение по формуле (1). Далее, в соответствии с алгоритмом и проведенными

³ Государственный стандарт Союза ССР. Статистический приемочный контроль по количественному признаку. Планы контроля ГОСТ 20736-75 (ОСТ СЭВ 1672-79). Государственный комитет СССР по стандартам. Москва. Изд-во Стандартов, 1982.

расчетами формулируется вывод о принятии партии прессдеталей по параметру глубины запрессовки.

Для практического применения данного подхода рекомендуется переходить от одного плана контроля к другому в зависимости от изменения входного уровня качества в соответствии со следующими правилами:

- переход от нормального контроля к усиленному следует осуществлять в том случае, если при нормальном контроле две из пяти последовательных партий прессдеталей были забракованы при первом предъявлении. Переход к усиленному контролю означает, что средний входной уровень качества проконтролированных партий прессдеталей превысил установленное значение q_n (AQL);

- переход от усиленного контроля к нормальному следует осуществлять только в тех случаях, если при усиленном контроле пять последовательных партий прессдеталей принимаются с первого предъявлении. Если это правило не выполняется и необходимо сохранить в силе усиленный контроль для десяти последовательных партий прессдеталей, при этом выборочный контроль прекращается. Следует выяснить причины ухудшения качества прессдеталей и принять меры по устранению этих причин;

- переход от нормального контроля к ослабленному следует осуществлять в том случае, если одновременно соблюдаются следующие условия: при нормальном контроле последние десять партий прессдеталей были приняты с первого предъявлении; технологический процесс изготовления прессдеталей по параметру глубины запрессовки является стабильным и выпуск прессдеталей ритмичен;

- переход от ослабленного контроля к нормальному следует осуществлять в том случае, если выполнено хотя бы одно из следующих условий: очередная партия была забракована при первом предъявлении; нарушена стабильность и ритмичность выпуска прессдеталей.

При желании можно применять планы СПК по количественному признаку, используя рекомендации приведенных стандартов: ГОСТ Р ИСО 3951-1-2007⁴, ГОСТ Р ИСО 3951-2-2009⁵, ГОСТ Р ИСО 3951-3-2009⁶.

В качестве примера рассмотрим возможность выбора планов контроля для параметра глубины вы сверловки прессдетали по планам СПК по альтернативному признаку.

При альтернативном признаке контролируемого параметра технологического процесса изготовления прессдеталей в процедурах контроля

⁴ ГОСТ Р ИСО 3951-1-2007. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 1. Требования к одноступенчатым планам на основе предела приемлемого качества для контроля последовательных партий по единственной характеристике единственному AQL. Дата введения 2008-09-01.

⁵ ГОСТ Р ИСО 3951-2-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 2. Общие требования к одноступенчатым планам на основе AQL при контроле последовательных партий по независимым характеристикам качества. Официальное издание. М.: Стандартинформ. 2011.

⁶ ГОСТ Р ИСО 3951-3-2009. Национальный стандарт Российской Федерации. Статистические методы. Процедуры выборочного контроля по количественному признаку. Часть 3. Двухступенчатые схемы на основе AQL для контроля последовательных партий. Дата введения 2010-12-01.

принимают одно из двух решений: пригодна прессдеталь к дальнейшему использованию или нет, т. е. делят прессдетали на годные или негодные (альтернативы).

Контроль по альтернативному признаку имеет ряд преимуществ по сравнению с контролем по количественному признаку. Это обусловлено меньшим объемом вычислений и упрощением процедур организации данного процесса на производстве.

К недостаткам контроля по альтернативному признаку можно отнести требование к обеспечению значительного количества выборок для контроля, так как малая часть информации, содержащейся в наблюдениях, ограничивает достоверность получаемого результата.

Представленная методика не зависит от закона распределения контролируемых параметров и поэтому является более универсальной, тогда как в большинстве случаев по количественному признаку предполагается, что измеряемые параметры имеют распределение, близкое к нормальному, что не всегда соответствует действительности.

В рассматриваемом случае уже показано, что оба контролируемых параметра прессдетали распределяются по нормальному закону. На практике можно воспользоваться корректируемыми планами контроля (усиленными, нормальными и ослабленными) по альтернативному признаку из стандарта ОСТ 84 612-79.

Возможности применимости плана контроля качества прессдетали по параметру глубины вы сверловки продемонстрируем на примере объема партии $N = 1300$ шт.

Из таблиц классификации параметров для данной прессдетали и контролируемых параметров определяют, что:

– глубина вы сверловки – II_Б категории имеет приёмочный уровень качества $q_u = 0,65\%$ и браковочный уровень качества $q_m = 5,50\%$.

Планы контроля для параметра глубины вы сверловки находят из таблицы 1 настоящего стандарта на пересечении строки для объемов партий $N = 1300$ и столбцов соответствующих уровней качества. Для ведения СПК устанавливаются три уровня контроля:

- усиленный контроль (планы контроля $\frac{n_1}{c_1} = \frac{200}{2}$);
- нормальный контроль (планы контроля $\frac{n_2}{c_2} = \frac{200}{3}$);
- облегченный контроль (планы контроля $\frac{n_3}{c_3} = \frac{80}{3}$),

где: n_1, n_2, n_3 – объемы выборок для усиленного, нормального и облегченного контроля, соответственно;

c_1, c_2, c_3 – приемочные числа для усиленного, нормального и облегченного контроля, соответственно.

Обычно начинают с усиленного контроля при выполнении условия:

$\bar{q}_{ex} \leq q_n$, где: \bar{q}_{ex} – входной уровень качества прессдеталей относительно параметра глубины высверловки.

Расчет среднего входного уровня качества \bar{q}_{ex} производится по параметру глубины высверловки прессдеталей по формуле:

$$\bar{q}_{ex} = \frac{\sum_{i=1}^k D_i}{\sum_{i=1}^k N_i}, \quad (8)$$

где: $k = 10$ – число последних подряд изготовленных и проверенных партий или число смен непрерывного ведения технологического процесса прессования прессдеталей;

N_i – количество прессдеталей в i -той партии или сменной выработке;

D_i – количество дефектных прессдеталей по параметрам глубины высверловки.

Статистический приемочный контроль проводится по следующим решающим правилам:

- от партии объёмом $N = 1300$ случайным образом отбирается выборка объёмом $n_1 = 200$ прессдеталей;
- проводится контроль по параметру глубины высверловки прессдеталей;
- если число обнаруженных в выборке дефектных прессдеталей d по параметру равно или менее приемочного числа c_1 ($d \leq 2$), то партия по этим параметрам принимается;
- если число обнаруженных в выборке дефектных прессдеталей d по параметру больше приемочного числа c_1 ($d > 2$), то партия по этим параметрам бракуется и возвращается в цех (изготовителю) для разбраковки посредством проведения сплошного контроля.

Переход от одного плана контроля к другому в зависимости от изменения входного уровня качества производится в соответствии с правилами, приведенными в стандарте:

- переход от усиленного контроля к нормальному производится при принятии по контролируемому параметру с первого предъявления не менее пяти подряд изготовленных партий;
- переход от нормального контроля к облегченному производится при принятии по контролируемому параметру с первого предъявления не менее тридцати подряд изготовленных партий прессдеталей. При этом технологический процесс должен быть стабильным, а выпуск продукции ритмичным;
 - переход от облегченного контроля к нормальному производится:
 - при забраковании по контролируемому параметру предъявленной партии прессдеталей;
 - при нарушении технологического процесса или ритмичности выпуска прессдеталей.

Переход от нормального контроля к усиленному производится при забраковании по контролируемому параметру трех из пятнадцати подряд изготовленных партий прессдеталей.

Если при применении усиленного контроля не осуществлен переход на нормальный контроль на десяти подряд изготовленных партиях прессдеталей, то необходимы переход на сплошной контроль по контролируемому параметру, отработка и анализ технологического процесса.

Возобновление сплошного статистического приемочного контроля по контролируемому параметру разрешается при выполнении требований, при которых средний входной уровень качества соответствует условию $\bar{q}_{\text{вх}} \leq q_{\text{н}}$ и определен не менее, чем по пятнадцати подряд изготовленным, проверенным сплошным контролем и принятым с первого предъявления партиям прессдеталей.

При сравнении объёмов выборок для контроля по количественному признаку (усиленный контроль $n = 21$ прессдеталей) и по альтернативному признаку (усиленный контроль $n = 200$ прессдеталей) объём выборок для контроля по количественному признаку почти в 10 раз меньше.

Заключение

В результате проведенного статистического анализа технологического процесса изготовления прессдетали относительно параметров высоты и глубины вы сверловки продемонстрирована практическая применимость статистических методов, позволяющих определить настройку, стабильность и точность процесса производства изделия относительно этих параметров.

Разработаны и рекомендованы для внедрения в производство планы статистического приемочного контроля по количественному и альтернативному признаку глубины вы сверловки прессдетали, что позволит производителям снизить трудоемкость ее контроля и значительно сократить количество брака и производственные затраты.

Приведенные в статье статистические методы контроля различных параметров изделий и комплектующих к ним могут применяться в авиационной, космической и других отраслях промышленности. Они являются мощным инструментом для оценки и улучшения качества прессования деталей.

Выбор конкретного метода зависит от целей анализа, доступных данных и специфики процесса. Внедрение статистических методов в процесс прессования позволяет обеспечить его стабильность, снизить количество дефектов и повысить качество продукции.

Для успешного применения статистических методов необходимо обучение персонала, использование специализированного программного обеспечения и проведения постоянного мониторинга и анализа данных.

Библиографический список

Базин С. А. Анализ проблем применения статистических методов контроля качества при производстве крепежных изделий / С. А. Базин, К. В. Подмастерьев // Перспективное развитие науки, техники и технологий : Материалы 3-й Международной научно-практической конференции: в 3 томах, Курск, 18 октября 2013 года / Ответственный редактор Горохов А.А.. Том 1. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2013. С. 182-184. EDN THDUMX.

Бриш В. Н. Применяемость статистических методов анализа и контроля качества продукции машиностроения на разных этапах производства / В. Н. Бриш, А. В. Старостин, Ю. Р. Осипов // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-4. С. 719-724. EDN XIIITVZ.

Емельянов А. А. Моделирование и статистический контроль рисков процесса закупки / А. А. Емельянов, Ю. А. Родионова, А. Л. Савкин // Автоматизация процессов управления. 2017. № 2 (48). С. 49-59. EDN YUKKXH.

Ефремов А. Н. Применение статистических методов для анализа дефектов кадмievого покрытия на стали / А. Н. Ефремов, С. В. Юдин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 12. С. 332-337. DOI 10.24412/2071-6168-2021-12-332-338. EDN HSBWTW.

Закс Л. Статистическое оценивание / Л. Закс; перевод с нем. В. Н. Варыгина. М.: Изд-во «Статистика», 1976. 598 с.

Контроль качества продукции машиностроения. Под редакцией доктора философии А. Э. Артес. Москва: Изд-во стандартов, 1974. 447 с. (на русском языке)

Кулуев Р. Р. Статистические методы контроля и управления качеством продукции / Р. Р. Кулуев, Д. А. к. Кадирова // European research: innovation in science, education and technology : Collection of scientific articles XLVIII International correspondence scientific and practical conference, London, United Kingdom, 24–25 января 2019 года. London, United Kingdom: PROBLEMS OF SCIENCE, 2019. С. 15-20. EDN ZGNPST.

Лемешко Е. Статистические методы как инструмент эффективного управления производством готовых металлических изделий / Е. Лемешко, В. В. Ященко // Актуальные аспекты модернизации российской экономики : X Всероссийская заочная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 25 декабря 2023 года. Санкт-Петербург: ЛЭТИ, 2023. С. 101-106. EDN MKCHBY.

Некрасов Р. Ю. Концептуальная модель управления геометрической точностью деталей, обрабатываемых на станках / Р. Ю. Некрасов, Ю. А. Темпель // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. Т. 21 № 3. С. 6-16. DOI 10.17212/1994-6309-2019-21.3-6-16. EDN PZJVCR.

Новые способы применения пиротехнических средств вызивания осадков для тушения лесных пожаров / С. В. Брыксин, А. К. Муранов, Д. А. Киселев [и др.] // Технологии безопасности жизнедеятельности. 2024. № 5. С. 27-33. DOI 10.17223/29491665/5/4. EDN PGQBCY.

Равич Г. С. Выборочный контроль качества изделий серийного производства на основе метода статистической оценки параметров / Г. С. Равич, В. Г. Падера // Методы менеджмента качества. 2019. № 8. С. 22-26. EDN TDFKXX.

Редько Л. А. Проблемы применения статистических методов контроля и управления качеством / Л. А. Редько, Е. С. Пескова // Вестник науки Сибири. 2011. № 1 (1). С. 203-205. EDN OXWQGN.

Стабилизация механических свойств в изделиях тяжелого машиностроения / Д. В. Руцкий, С. И. Жульев, Б. А. Сивак, Ю. М. Шелухина, А. В. Мозговой // Тяжелое машиностроение. 2007. № 12. С. 26-28.

Херсонский Н. С. Статистические методы в задачах менеджмента разработки, проектирования, производства и обслуживания изделий различного назначения. М.: «Эко-Пресс», 2011. 336 с.

Херсонский Н. С. Статистические методы оценки точностных характеристик размерных цепей изделий и технологических процессов их изготовления / Н. С. Херсонский, В. В. Прошин; под

редакцией А. В. Смольякова, генерал-майора, канд. воен. наук, академика Академии проблем качества РФ. М.: Типогр. ФГУП НИИ «Геодезия», 2008. 83 с.

References

Bazin S. A., Podmasteryev K. V. (2013). Analysis of the problems of applying statistical methods of quality control in the production of fasteners. *Prospective development of science, technology and technology*. № 1: 182-184. (in Russian)

Brish V. N., Starostin A. V., Osipov Yu. R. (2016). Applicability of statistical methods of analysis and quality control of mechanical engineering products at different stages of production. *Fundamental research*. 12-4: 719-724. (in Russian)

Bryksin S. V., Muranov A. K., Kiselev D. A. [et al.]. (2024). New methods of using pyrotechnic means of causing precipitation to extinguish forest fires. *Life safety technologies*. 5: 27-33. (in Russian)

Efremov A. N., Yudin S. V. (2021). Application of statistical methods for analyzing defects of cadmium coating on steel. *Izvestia of Tula State University. Technical sciences*. 12: 332-337. (in Russian)

Emelyanov A. A., Rodionova Yu. A., Savkin A. L. (2017). Modeling and statistical control of procurement process risks. *Automation of management processes*. 2(48): 49-59. (in Russian)

Khersonsky N. S. (2011). Statistical methods in the tasks of management of the development, design, production and maintenance of products for various purposes. Moscow: «Eco-Press», 2011. 336 p. (in Russian)

Khersonsky N. S., Proshin V. V. (2008). Statistical methods for assessing the accuracy characteristics of dimensional chains of products and technological processes of their manufacture. Moscow: Typogr. FSUE Research Institute «Geodesy», 2008. 83 p. (in Russian)

Kuluev R. R., Kadirova D. A. K. (2019). Statistical methods of product quality control and management. *European research: innovation in science, education and technology*. 15-20. (in Russian)

Lemeshko E., Yashchenko V. V. (2023). Statistical methods as a tool for effective management of the production of finished metal products. *Actual aspects of the modernization of the Russian economy*. 101-106. (in Russian)

Nekrasov R. Yu., Tempel Yu. A. (2019). Conceptual model for controlling the geometric accuracy of parts processed on machines. *Metal processing (technology, equipment, tools)*. 21(3): 6-16. (in Russian)

Quality control of mechanical engineering products. Edited by Ph.D. A. E. Artes. Moscow: Publishing House of Standards, 1974. 447 p. (in Russian)

Ravich G. S., Padera V. G. (2019). Selective quality control of serial production products based on the method of statistical evaluation of parameters. *Quality management methods*. 8: 22-26. (in Russian)

Redko L. A., Peskova E. S. (2011). Problems of applying statistical methods of quality control and management. *Bulletin of Science of Siberia*. 1(1): 203-205. (in Russian)

Rutsky D. V., Zhuliev S. I., Sivak B. A., Shelukhina Yu. M., Mozgovoy A. V. (2007). Stabilization of mechanical properties in heavy engineering products. *Heavy engineering*. 12: 26-28. (in Russian)

Zaks L. (1976). Statistical evaluation. Moscow: Publishing house «Statistics», 1976. 598 p. (in Russian)