

Б. Н. Гузанов, А. С. Кривоногова

B. N. Guzanov, A. S. Krivonogova

ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

guzanov_bn@mail.ru, anna.krivonogova@rsvpu.ru

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

STATISTICAL METHODS OF ANALYSIS AND QUALITY MANAGEMENT OF MACHINE-BUILDING PRODUCTS

***Аннотация.** В статье рассмотрены основные тенденции применения статистических методов анализа и контроля потребительских свойств продукции в структуре системы менеджмента качества предприятий машиностроительного комплекса. Обосновывается целесообразность использования различных видов и инструментов статистического контроля как одного из важнейших условий рентабельного управления качеством выпускаемой продукции, а также действенного способа повышения стабильности и эффективности производственных процессов в целом.*

***Abstract.** The main trends of statistical methods of analysis and control of consumer properties of products in the structure of the quality management system of enterprises of the machine-building complex are discussed in the article. The feasibility of using different types and tools of statistical control is justified as one of the most important conditions for cost-effective quality management of production products, as well as an effective way to increase stability and efficiency of production processes in general.*

***Ключевые слова:** качество продукции; управление качеством; контроль качества продукции; статистические методы; статистический контроль.*

***Keywords:** product quality; quality management; quality control of products; statistical methods; statistical control.*

Качество продукции относится к числу важнейших показателей деятельности машиностроительных предприятий и характеризует, в первую очередь, степень удовлетворения потребности в ней в соответствии с ее предназначением. В зависимости от назначения и предъявляемых требований качество изделия чаще всего не может быть оценено каким-то одним показателем, так как зависит от множества технологических факторов, поставляемого сырья и организационных мероприятий. Это обусловлено тем, что машиностроительный комплекс при производстве своей продукции объединяет изделия предприятий различных отраслей и на этой основе выпускает собственный авторский продукт, потребительские свойства которого наследуют в себе качественные характеристики изделий, полученных по кооперации [1; 2].

Можно сказать, что уровень качества машиностроительной продукции объединяет в себе достигнутый уровень качества в добывающих отраслях экономики и непосредственно влияет на повышение технического уровня и качества продукции перерабатывающих отраслей.

Для определения научно-технического уровня выпускаемой продукции, ее соответствия требованиям потребителей, решения производственных, экономических и социальных задач, а также для самого управления качеством необходимо осуществлять оценку уровня качества продукции. Как показано в работе [3], подобную оценку возможно проводить различными методами в зависимости от сложности продукции, назначения и количества показателей, характеризующих ее качество. Систематические исследования, выполненные в последние годы [4; 5], убедительно показали, что в системе оценивания качества продукции важнейшую роль играют статистические методы анализа и управления качеством выпускаемой машиностроительной продукции.

Под статистическими методами управления качеством продукции понимают выборочные методы, основанные на применении теории вероятностей и математической статистики. Обычно для обработки и анализа данных используют не один, а несколько статистических методов, которые в совокупности позволяют получить более достоверную информацию при анализе выявленного разброса данных. Весьма полезно в этом случае использовать современные компьютерные технологии, применение которых позволяет существенно повысить эффективность и валидность результатов обработки и анализа получаемой информации [6]. В настоящее время существует большое количество прикладного программного обеспечения, дающего возможность применять статистические методы для управления качеством продукции и регулирования технологических процессов. В частности, разработаны коммерческие программные продукты, такие как Statistica, Statgraphics, SPSS, Minitab, MATLAB и др. В России по виду статистических методов широко используются следующее программное обеспечение:

- прикладная статистика – иногда с дальнейшим выделением статистики случайных величин, многомерного статистического анализа, статистики случайных процессов и временных рядов, статистики объектов нечисловой природы (Система Регрессионного Статистического Моделирования СРСМ, или СТАТМАСТЕР; АДДА, ГРАНТ, КЛАМС, ЭКОНОМЕТРИК, РЕГРЕССИЯ, ЛИСАТИС, ЭКОСТАТ, РЕСТ);
- статистический приемочный контроль (СПК, АТСТАТ-ПРП, КОМПЛАН);

- статистическое регулирование технологических процессов, в частности, методом контрольных карт (СТАТКОН, АВРОРА-РС);
- планирование эксперимента (ПЛАН, ЭКСПЛАН, ПАСЭК, ПЛАН-ЭКС);
- надежность и испытания (НАДИС, ОРИОН, СЕНС).

В качестве нормативной базы при внедрении соответствующих статистических методов в последние годы наибольшее распространение в отечественном машиностроительном производстве получила модель стандартов Международной организации по стандартизации (ISO), в частности ИСО серии 9000. Одним из базовых принципов стандартов этой серии является подход к принятию решений, основанных на свидетельствах, при реализации которых разработку механизмов применения статистических методов ориентируют для всех стадий жизненного цикла продукции, начиная с исследования рынка и кончая обслуживанием потребителей и окончательной утилизацией изделия в целом [7; 8].

Важным преимуществом статистических методов можно считать возможность по ограниченному числу наблюдений принимать обоснованные решения при анализе и управлении качеством продукции. Они являются достаточно информативными, позволяют агрегировать полученную информацию, представить ее в наглядном виде и предложить соответствующие выводы по результатам проведенной экспертизы. В целом статистические методы играют существенную роль в объективной оценке количественных и качественных характеристик процесса и являются одним из важнейших элементов системы обеспечения и управления качеством машиностроительной продукции. Однако здесь необходимо учитывать, что к этим методам при внедрении в реальную производственную практику предъявляют ряд ограничительных требований, среди которых выделяют: процедуры сбора статистических данных должны быть достаточно простыми и не требовать для их использования специальных знаний; результаты обработки и анализа полученной информации должны позволить специалистам оперативно анализировать и совершенствовать производственный процесс с достаточной точностью и быстротой [9].

В настоящее время для анализа и управления качеством производимой продукции были сформированы и реализованы следующие основные направления применения статистических методов в практике машиностроительного производства:

- анализ качества производственного процесса;
- регулирование технологических процессов;

- систематический контроль качества в определенных точках производственного процесса, где возникает контролируемая характеристика производимой продукции;
- оценка показателей качества готовой продукции.

Все эти направления объединяют целую группу статистических методов, которая является неотъемлемой частью комплексной системы менеджмента качества (СМК) предприятия и рассматривается не только как инструмент контроля качества продукции, но и как способ оценки текущего состояния технологических процессов, позволяющий своевременно внести в них необходимые коррективы и тем самым обеспечить установленный и стабильный уровень качества. Рассмотрим последовательно основные задачи, решаемые с использованием статистических методов в рамках выбранных направлений.

1. Статистический анализ качества производственного процесса.

Этот метод предполагает совокупность действий по установлению значений показателей точности и стабильности производственного процесса и определению закономерностей их измерения во времени и применяется для установления свойств случайного процесса в конкретных условиях производства. Качество продукции зависит от большого числа взаимосвязанных и независимых друг от друга факторов, имеющих как закономерный, так и случайный характер, причем в процессе механической обработки поверхности заготовки все эти факторы чаще всего присутствуют одновременно. К ним относят возможную точность режимов резания на используемом оборудовании, квалификацию персонала, погрешность режущего инструмента в зависимости от химического состава и структуры обрабатываемого материала, внешних условий и др.

В связи с этим получаемые в результате изготовления нормируемые чертежом параметры качества деталей имеют определенный разброс, ограничиваемый установленными допусками по форме, геометрии, базовым поверхностям и шероховатости поверхности. Как следствие неизбежных отклонений, целью применения статистических методов анализа качества производственного процесса является выявление степени влияния случайных и/или закономерных факторов на показатели качества. При этом отмечается, что если влияние факторов случайного характера является преобладающим, то тогда технологический процесс считается статистически управляемым и применение статистических методов контроля качества и хода технологических процессов становится возможным [10].

С другой стороны, если в технологическом процессе преобладают факторы неслучайного характера, то процесс определяют как статистически не-

управляемый и тогда применение статистических методов анализа качества становится невозможным до выявления причин и минимизации степени влияния обнаруженных неслучайных факторов, как правило, связанных с исправностью используемого оборудования. После проведения оперативных либо регламентированных ремонтно-наладочных работ процедуру статистического анализа повторяют вновь вплоть до достижения статистической управляемости процесса.

С помощью статистического анализа в этом случае решаются следующие задачи:

- определение точности и стабильности технологического процесса (без чего статистический контроль и статистическое регулирование невозможны);
- установление характера различия средних значений (случайного и неслучайного) одного и того же параметра качества изделий или его рассеяния, изготавливаемых в различных условиях производства (например, на различном оборудовании или в различные смены);
- оценка степени влияния (корреляции) двух или более факторов на показатели качества продукции;
- выявление факторов, существенно влияющих на изменение параметров качества, и факторов, которыми можно пренебречь;
- выявление изменения параметров качества во времени и характера (случайного или неслучайного) этого изменения.

Применение статистического анализа качества должно в обязательном порядке предшествовать проведению в установленной последовательности работ по регулированию технологических процессов [11].

2. Статистическое регулирование технологических процессов.

Применение указанной методики позволяет управлять качеством продукции в процессе производства путем своевременного вмешательства в технологический процесс за счет корректировки его параметров по результатам выборочного контроля производимой продукции. Статистические методы регулирования качества используют при наладке технологических процессов для обеспечения их стабильности и предупреждения брака, то есть за счет оперативной коррекции параметров технологического процесса предотвращается выпуск несоответствующей продукции. Статистическое регулирование в данном случае производится либо по количественному, либо по альтернативному признаку [12].

Основным техническим средством статистического регулирования является контрольная карта, на которой отмечают значения регулируемой характеристики в смежных выборках. На карту наносят горизонтальную цен-

тральную линию регулирования, соответствующую среднему значению регулируемой характеристики при правильной наладке процесса (центр настройки) и границы регулирования, ограничивающие область значений регулируемого параметра и соответствующую удовлетворительной наладке технологического процесса.

Контроль по количественному признаку заключается в определении с требуемой точностью фактических значений контролируемого параметра у единиц продукции из выборки. Основанием для принятия решения о вмешательстве в ход технологического процесса для его наладки служит несоответствие количественных значений параметров качества требованиям технологической документации или чертежа. При регулировании процесса по количественному признаку обычно используют карты средних арифметических значений (\bar{X} -карта), медиан (\bar{X} -карта), средних квадратичных отклонений (S-карта) и размахов (R-карта). Этот метод достаточно информативен, требует малый объем выборки, однако весьма сложен в исполнении, так как для него необходимы такие средства контроля, которые позволяют получать фактические значения контролируемого параметра.

Контроль по альтернативному признаку заключается в определении соответствия контролируемого параметра или единицы продукции установленным требованиям. При этом каждое отдельное несоответствие считается дефектом и принятием решения для вмешательства в технологический процесс служит соотношение числа годных и негодных (дефектных) изделий в выборке. Для регулирования по альтернативному признаку используют контрольные карты доли дефектных единиц продукции (p-карта), числа дефектных единиц продукции (np-карта), числа дефектов (c-карта) и числа дефектов на единицу продукции (u-карта). Преимуществом этого метода является то, что здесь достаточно установить лишь факт соответствия или несоответствия контролируемого параметра его установленным требованиям. Поэтому в этом случае можно использовать и такие простейшие средства контроля, как предельные калибры, шаблоны, а также визуальный контроль, основанный на сравнении с контрольным образцом. Однако контроль по альтернативному признаку менее информативен, что требует значительно большего объема выборки при равных исходных данных.

В зависимости от типа производства, номенклатуры выпускаемой продукции и требований заказчика выбирают тот или иной способ контроля для статистического регулирования технологического процесса. Совокупность современных статистических методов контроля качества подразделяется по степени сложности на три категории:

- элементарные статистические методы;

- промежуточные статистические методы;
- передовые статистические методы.

В указанной последовательности степень сложности возрастает, что требует привлечения специального обученного персонала и соответствующего оборудования как для проведения статистических оценок, так и для расчета и анализа экспериментальных данных. Поэтому в обычной производственной практике наиболее широко нашли применение элементарные статистические методы, которые доступны для персонала и находят отражение в соответствующих стандартах организации.

3. Систематический контроль качества. Как правило для сбора и анализа данных используют семь статистических методов или инструментов контроля качества, к которым относят: графики; расщепление (стратификация) данных; диаграмма Парето; причинно-следственная диаграмма (диаграмма Исикавы); контрольный листок и гистограмма; диаграмма разброса; контрольные карты [13]. Указанные инструменты могут использоваться по отдельности и в различных сочетаниях, усиливая друг друга в получении информации в зависимости от задач организации систематического контроля качества.

Контрольный листок – инструмент для сбора данных и их автоматического упорядочения для облегчения дальнейшего использования собранной информации.

Стратификация (расслоение) – инструмент, позволяющий произвести селекцию данных в соответствии с различными факторами.

Гистограмма – инструмент, позволяющий зрительно оценить распределение статистических данных, сгруппированных по частоте попадания данных в определенный (заранее заданный) интервал.

Анализ Парето – инструмент, позволяющий объективно представить и выявить основные факторы, влияющие на исследуемую проблему и распределить усилия для ее решения.

Причинно-следственная диаграмма Исикавы – инструмент, который позволяет выявить наиболее существенные факторы (причины), влияющие на конечный результат (следствие).

Диаграмма разброса – инструмент, позволяющий определить вид и тесноту связи двух рассматриваемых параметров процесса.

Контрольная карта – инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявленных к процессу требований.

Применяя достаточно простые инструменты управления качеством, можно добиться больших производственных успехов, выявляя истинную сущность процессов, происходящих на предприятии. В общем случае перечисленные инструменты можно рассматривать как целостную систему методов, обеспечивающую комплексный контроль показателей качества. Они являются наиболее важной составляющей системы контроля Всеобщего управления качеством – TQM (Total Quality Management). Применение достаточно простых статистических методов контроля качества по своему основному назначению направлено на контроль протекающего процесса и предоставление участнику процесса достоверной информации для его корректировки и улучшения, то есть постоянного самоконтроля качества производимой продукции. Все это является основой для поддержания на необходимом и достаточном уровне качества изделий машиностроительного комплекса.

4. Оценка показателей качества готовой продукции. В системе управления качеством машиностроительной продукции статистические методы контроля качества имеют особое значение и относятся к числу наиболее важных прогрессивных методов. Как показано в работе [14], статистические методы контроля качества подразделяют на следующие виды:

- статистический приемочный контроль;
- выборочный приемочный контроль по варьирующим характеристикам качества;
- стандарты статистического приемочного контроля;
- системы экономических планов;
- планы непрерывного выборочного контроля.

Считается, что наиболее характерным примером статистического контроля качества является статистический приемочный контроль. Приемочному контролю подвергается продукция, по которой завершены все или часть технологических операций и когда необходимо принять решение о ее годности. Он применяется при входном приемочном и инспекционном контроле, при периодических, типовых испытаниях, проводимых по требованию заказчика. Сущность методов статистического приемочного контроля состоит в том, что на основе ограниченного числа проверок или контроля части изделий (выборки) с требуемой точностью принимается решение о качестве всей партии изделий. В отличие от статистического регулирования технологических процессов, при статистическом приемочном контроле качества продукции принимают решение не о состоянии технологического процесса, а о приемке или браковке готовой продукции.

Статистический приемочный контроль может также осуществляться по количественному, качественному и альтернативному признакам [15]. Разли-

чают четыре основных метода приемочного контроля, к которому относят: одноступенчатый; двухступенчатый; многоступенчатый; последовательный. При одноступенчатом контроле решение относительно приемки партии принимают по результатам контроля только одной выборки. Его применяют, когда стоимость контроля небольшая, длительность испытаний велика, а партия не может быть задержана до окончания контроля.

Двухступенчатый контроль характеризуется тем, что решение о приемке партии продукции производится по результатам контроля не более двух выборок, причем необходимость второй определяется по результатам первой выборки. Эти планы применяют, когда одноступенчатый контроль не используется из-за большого объема выборки, а многоступенчатый – из-за большой продолжительности. То есть, первоначально для проверки отбирается небольшое число образцов, и если дефектов при их проверке окажется очень много, партия отклоняется, а если мало – принимается. Когда число обнаруженных дефектов оказывается недостаточно убедительным, проверяются образцы второй выборки и соответствующее решение принимается по сумме результатов обеих проверок. Преимущество двухступенчатого контроля заключается в том, что в среднем он требует при прочих равных условиях на 20–30% меньше изделий для проверки по сравнению с одноступенчатым контролем. Однако следует учитывать, что данный способ контроля более сложен и требует специально подготовленного персонала.

При многоступенчатом и последовательном контроле решение о контролируемой партии продукции принимается по результатам проверки ряда последовательных выборок, причем при многоступенчатом контроле максимальное число выборок ограничено, а при последовательном их число заранее не устанавливают. В обоих случаях отбор последующей выборки или пробы зависит от результатов проверки предыдущей выборки или пробы.

При последовательном контроле в среднем требуется наименьшее количество изделий для проверки. Следует заметить, что из-за своей сложности многоступенчатый контроль применяют на практике крайне редко и только тогда, когда имеется жесткое ограничение времени на отбор выборок. Последовательный контроль получил распространение в практике ресурсных испытаний на надежность, где по условиям их проведения очень важно сокращение объема выборок.

Оценку уровня качества машиностроительной продукции можно проводить различными методами в зависимости от ее сложности, назначения, количества показателей, характеризующих ее качество [16]. Таким образом, под статистическим анализом и управлением качеством машиностроительной продукции понимается совокупность методов и способов по установлению

статистическими методами значений показателей точности и стабильности производственного процесса и определению закономерностей их изменения во времени. Статистические методы управления качеством являются неотъемлемой частью комплексной системы менеджмента качества, реализуемой в организации, и признаются важным условием рентабельного управления качеством, а также средством повышения эффективности производственных процессов и качества выпускаемой продукции в целом. В настоящее время однозначно установлено, что статистические методы следует применять в тех случаях, когда в ограниченном числе наблюдений необходимо определить фактическое значение показателей точности используемого оборудования или уровня качества выпускаемой продукции, обосновать технические нормы и допуски, то есть вероятность попадания показателей качества в определенные пределы должна быть предсказуема.

Список литературы

1. Туркин, В. Г. Качество машиностроительной продукции : монография / В. Г. Туркин, Б. И. Герасимов, В. Д. Жариков ; под науч. ред. Б. И. Герасимова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 104 с. – ISBN 5-8265-0376-9.
2. Обеспечение качества машиностроительной продукции : учебное пособие / Б. Н. Гузанов, М. Ю. Большакова, Т. Б. Соколова [и др.] ; под ред. Б. Н. Гузанова ; Рос. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург : РГППУ, 2015. – 225 с. – ISBN 978-5-8050-0589-4.
3. Федюкин, В. К. Методы оценки и управление качеством промышленной продукции : учебник / В. К. Федюкин, В. Д. Дурнев, В. Г. Лебедев. – Москва : Филинь : Рилант, 2000. – 328 с. – ISBN 5-9216-0023-7.
4. Логанина, В. И. Статистические методы контроля и управления качеством продукции / В. И. Логанина, А. А. Федосеев. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 224 с. – ISBN 978-5-222-12715-5.
5. 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.
6. Клячкин, В. Н. Статистические методы управления качеством: компьютерные технологии : учебное пособие / В. Н. Клячкин. – Москва : Финансы и статистика, 2014. – 304 с. – ISBN 978-5-279-03046-0.
7. Кудинов, П. Ю. Статистические методы управления качеством по моделям стандартов ISO 9000 в системе TechnologiCS / П. Ю. Кудинов, В. И. Кушнир // *CADmaster*. – 2002. – № 5(15). – С. 22–25.
8. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования (Переиздание) : национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2015-11-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию // *Техэксперт* : [сайт]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200124394> (дата обращения: 25.04.2020).
9. Серебrenников, Г. Г. Опыт совершенствования статистических методов контроля качества машиностроительной продукции / Г. Г. Серебrenников, Х. Шиби // *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского*. – 2011. – № 2(33). – С. 300–304.

10. Кайнова, В. Н. Статистические методы в управлении качеством : учебное пособие / В. Н. Кайнова, Е. В. Зими́на. – Москва : Лань, 2019. – 152 с. – ISBN 978-5-8114-3664-4.
11. Головинский, В. В. Статистические методы регулирования и контроля качества. Расчет оптимальных вариантов / В. В. Головинский. – Москва : Машиностроение, 1974. – 264 с.
12. Р 50–601–19–91. Рекомендации. Применение статистических методов регулирования технологических процессов. – Москва : ВНИИС Госстандарта России, 1997. – 54 с.
13. Барабанова, О. А. Семь инструментов контроля качеством / О. А. Барабанова, В. А. Васильев, П. В. Москалев. – Москва : Изд-во МАТИ РГТУ им. К. Э. Циолковского, 2003. – 48 с.
14. Ефимов, В. В. Статистические методы в управлении качеством продукции : учебное пособие / В. В. Ефимов, Т. В. Барг. – Москва : КноРус, 2006. – 234 с. – ISBN 5-85971-262-6.
15. Титова, Л. А. Применение современных статистических методов контроля качества / Л. А. Титова // Экономинфо. – 2009. – № 12. – С. 28–32.
16. Гузанов, Б. Н. Основные принципы и методы оценки уровня качества машиностроительной продукции / Б. Н. Гузанов, В. В. Бухаленков // Техническое регулирование в едином экономическом пространстве : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Екатеринбург, 22 мая 2018 г. / Рос. гос. проф.-пед. ун-т. – Екатеринбург : РГППУ, 2018. – С. 27–39.

УДК 621.317:006.91

Д. Д. Журавлева¹, Т. Б. Соколова²

D. D. Zhuravleva, T. B. Sokolova

¹*ООО «СТК» МинералТрансСервис», Екатеринбург*

²*ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», Екатеринбург*

Mineraltransservice, Ekaterinburg

Russian State Vocational Pedagogical University, Ekaterinburg

zurgirl@mail.ru, sokolovtb@inbox.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ ПОТЕНЦИОМЕТРА

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALIBRATING A POTENTIOMETER

***Аннотация.** В статье рассматривается номенклатура и метрологические характеристики потенциометра. Описание структуры и содержания методики его калибровки для одного из крупных предприятий Екатеринбурга.*

***Abstract.** The article discusses the nomenclature and metrological characteristics of the potentiometer. Description of the structure and content of the calibration method for one of the largest enterprises in Ekaterinburg.*