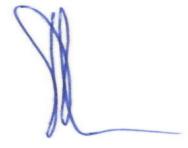


На правах рукописи



Швайко Борис Александрович

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ
ИНСТРУМЕНТОВ КОНТРОЛЯ КОНФИГУРАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

Специальность 2.5.22 - Управление качеством продукции.
Стандартизация. Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель: **Бром Алла Ефимовна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Антипов Дмитрий Вячеславович
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королёва», заведующий кафедрой «Производство летательных аппаратов и управление качеством в машиностроении»

Александрова Светлана Викторовна
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры «Прикладная информатика»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

Защита состоится _____ 2025 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета 24.2.331.18 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.7, ауд. 414ибм

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим выслать по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр.1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru

Автореферат разослан «____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,

кандидат технических наук, доцент

 Е.С. Постникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Основная цель контроля качества готовой продукции заключается в предоставлении заказчику гарантии, что процессы проектирования, производства и приемочных испытаний строго соответствуют конструкторской и технологической документации. Для предотвращения несоответствия характеристик изделия заданным требованиям заказчика/ технического задания (ТЗ) применяются различные организационные, технические и цифровые инструменты.

Соответствие эксплуатационных, функциональных, физических характеристик и свойств готового изделия требованиям заказчика обеспечивается технологией управления конфигурацией (УК).

Интеграция УК в системы менеджмента качества (СМК) на предприятиях обеспечивает полную прослеживаемость через весь жизненный цикл параметров изделия и наследуемость свойств, атрибутов и комплектов документации при разработке новых моделей, позволяет отслеживать в реальном времени все изменения, вносимые в конструкцию изделия. В перспективе это должно сократить затраты времени и ресурсов на разработку, испытания и контроль качества усовершенствованных образцов техники.

На предприятиях машиностроения сейчас активно ведутся работы по созданию внутреннего сквозного контроля за выполнением требований ТЗ и процессами формирования единичных (атомизированных) информационных моделей (ИМ) моделей, узлов и агрегатов, интегрируемых в общую ИМ изделия. Это предполагает определение точек оперативного контроля качества, в которых различным инструментальными и статистическими методами будет подтверждаться, что характеристики разрабатываемого изделия соответствуют требованиям ТЗ.

При разработке новых моделей/модификаций/исполнений изделия, имеющих в своем составе большую номенклатуру комплектующих, возникает проблема контроля качества новых и доработанных узлов и подсистем, так как необходимо накопить большой объем статистических данных для определения основных эксплуатационных показателей в условиях их высокой неопределенности, а испытания могут быть длительными и дорогостоящими.

Таким образом, разработка инструментов, направленных на обеспечение качества продукции на основе сквозного контроля требований к изделиям, не требующих при этом значительных затрат времени и ресурсов на проведение полномасштабных приемочных испытаний, поддерживающих соответствие параметров изделий требованиям заказчика, представляются актуальными и востребованными.

Цель работы – обеспечение качества машиностроительной продукции на основе разработки инструментов контроля конфигурации, подтверждающих соответствие характеристик изделий требованиям заказчика и позволяющих сократить затраты на доработку в условиях стохастичности параметров новых и усовершенствованных моделей техники.

Задачи исследования:

1. Анализ нормативно-методической базы обеспечения качества машиностроительной продукции и инструментов приемочного контроля.
2. Построение структуры связи элементов процесса управления конфигурацией изделия по основным этапам жизненного цикла на основе систематизации групп требований и атрибутов объектов конфигурации.
3. Разработка инструмента контроля дискретных и непрерывных параметров конфигурации на основе оценки допустимых отклонений.
4. Разработка инструмента контроля параметров новых и усовершенствованных моделей техники на основе стохастического подобия распределений параметров с учетом появления аномальных выбросов.
5. Апробация разработанных инструментов и оценка эффекта от внедрения на АО «Мытищинский машиностроительный завод» (АО «ММЗ»).

Объект исследования – СМК и нормативная документация по контролю качества на машиностроительных предприятиях РФ.

Предмет исследования – процессы подтверждения соответствия характеристик изделий требованиям заказчика и методы приемочного контроля и оценки качества готовой продукции.

Область исследований диссертации соответствует пунктам 5, 9 и 12 паспорта специальности 2.5.22:

5. Методы оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством.
9. Разработка и совершенствование научных инструментов оценки, мониторинга и прогнозирования качества продукции и процессов.
12. Научно-практическое совершенствование направлений подтверждения соответствия продукции (услуг), систем качества, производств.

Степень разработанности темы

Проблемой развития методов и инструментов управления качеством занимаются множество российских ученых, в частности Айдаров Д.В., Амиров Ю.Д., Антипов Д.В., Васильев В.А., Васин С.А., Григорьева Н.С., Долгов В.А., Козловский В.Н., Лапидус В.А., Французова Ю.В., Червяков Л.М. и другие. Существует обширная нормативная база, содержащая основы контроля качества продукции по стадиям жизненного цикла изделия (ГОСТ Р 2.601-2019, ГОСТ Р 50779.52-95).

Несмотря на наличие ГОСТов и нормативно-методических указаний по контролю качества продукции и построению информационных моделей (ИМ), в процессе эксплуатации заказчик все равно сталкивается с несоответствием требуемых параметров фактическим, дефектами и отказами, особенно при использовании новых образцов техники, что свидетельствует о необходимости разработки инструментов контроля качества, интегрируемых в СМК на предприятиях и позволяющих сократить время и ресурсы на испытания новых и усовершенствованных моделей.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Построена структура связи элементов процесса УК изделия, включающая контуры контроля и аудита параметров конфигурации в процессах ЖЦ изделия с определением точек оперативного контроля, что позволит реализовать в СМК на предприятиях сквозной контроль качества и наследуемость характеристик изделий в ИМ;

2. Разработан инструмент, включающий способы расчёта допустимых отклонений параметров в зависимости от их вида (дискретный или непрерывный) и алгоритм контроля интервальных параметров на основе оценки допусков по атрибуту «геометрические размеры»; в отличие от существующих подходов, учитывающий требование к конфигурации изделий по взаимозаменяемости элементов сборки для серийного выпуска продукции;

3. Разработан инструмент контроля качества новых и усовершенствованных моделей техники на основе стохастического подобия параметров; в отличии от существующей методической базы приемочного контроля качества, инструмент включает анализ аномальных выбросов путем композиции бинарных нечетких отношений; это позволит сократить затраты на проведение испытаний и выявление потенциально возможных неявных отказов, а также формировать статистическую базу конфигурации изделий с учетом косвенных взаимосвязей режимов и параметров эксплуатации.

Практическая значимость. Разработанные в диссертации инструменты реализованы в виде алгоритмов и программного обеспечения на языке Python, что позволяет создать на предприятиях машиностроительной отрасли модуль автоматизированного сквозного контроля выполнения требований к изделиям, что в целом обеспечит качество продукции как мелко, так и крупносерийного выпуска.

Положения, выносимые на защиту:

1. Структура связи элементов процесса УК изделия, включающая контуры контроля и аудита параметров конфигурации в процессах ЖЦ изделия и точки оперативного контроля характеристик изделий;

2. Инструмент контроля дискретных и непрерывных параметров конфигурации узлов по атрибуту «геометрические размеры» на основе оценки допустимых отклонений;

3. Инструмент контроля качества базовых, усовершенствованных и новых моделей техники на основе стохастического подобия распределений параметров и композиции бинарных нечетких отношений для анализа возможности появления неявных отказов.

Обоснованность и достоверность результатов основывается на использовании в диссертации общепринятых при контроле качества продукции нормативных документов, апробированного математического аппарата и компьютерных инструментов обработки статистических данных, результатов измерений и расчетов, а также подтверждается результатами аprobации на предприятиях АО «ММЗ» и АО «БАЗ». Эффективность применения подтверждена

соответствующими актами внедрения. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций опирается на достоверность данных, корректность проведения расчетов и согласованность результатов контроля качества выбранных параметров на основе стохастического подобия с теоретическими расчетами.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования докладывались на трех научно-практических конференциях - IV Международной научно-практической конференции, XIX Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики», всероссийской научно-практической конференции «Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование», а также на заседаниях кафедры промышленной логистики МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2022-2025 годах.

Публикации

Основное положение работы отражено в 10 научных работах, общим объемом автора 3,83 п.л / 2,31 п.л., из них в журналах, рекомендованных ВАК РФ – 7, 3 из которых аккредитованы по специальности 2.5.22, а также 3 статьи в материалах научных конференций.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и заключения, списка литературы из 153 наименований, а также приложения. Диссертация содержит 150 страниц основного текста, 22 рисунка, 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность темы диссертации, определены направления и объект исследования, сформулированы цели и задачи исследования, а также основные положения, составляющие научную новизну, теоретическую и практическую значимость работы.

В Главе 1 «Анализ проблем обеспечения качества готовой продукции в машиностроении и современных подходов к ее решению» проведен анализ основ управления качеством, стандартизации и сертификации промышленной продукции, нормативной и методической базы по обеспечению приемочного контроля качества готовой продукции, а также принципов и перспектив использования в СМК на предприятиях технологии управления конфигурации изделий.

В Главе 1 проведен анализ процедур по обеспечению и управлению качества, как частей менеджмента качества, обеспечивающих соблюдение установленных требований к продукции. Различные испытания изделий, такие, как типовые, периодические и приемо-сдаточные, играют ключевую роль в обеспечении качества и надежности продукции в процессе производства. Контроль качества направлен непосредственно на продукцию, в то время как обеспечение качества направлено на организацию процессов подтверждения соответствия характеристик изделия требованиям. После успешного прохождения контроля качества заказчику предоставляют данные о выполнении требований.

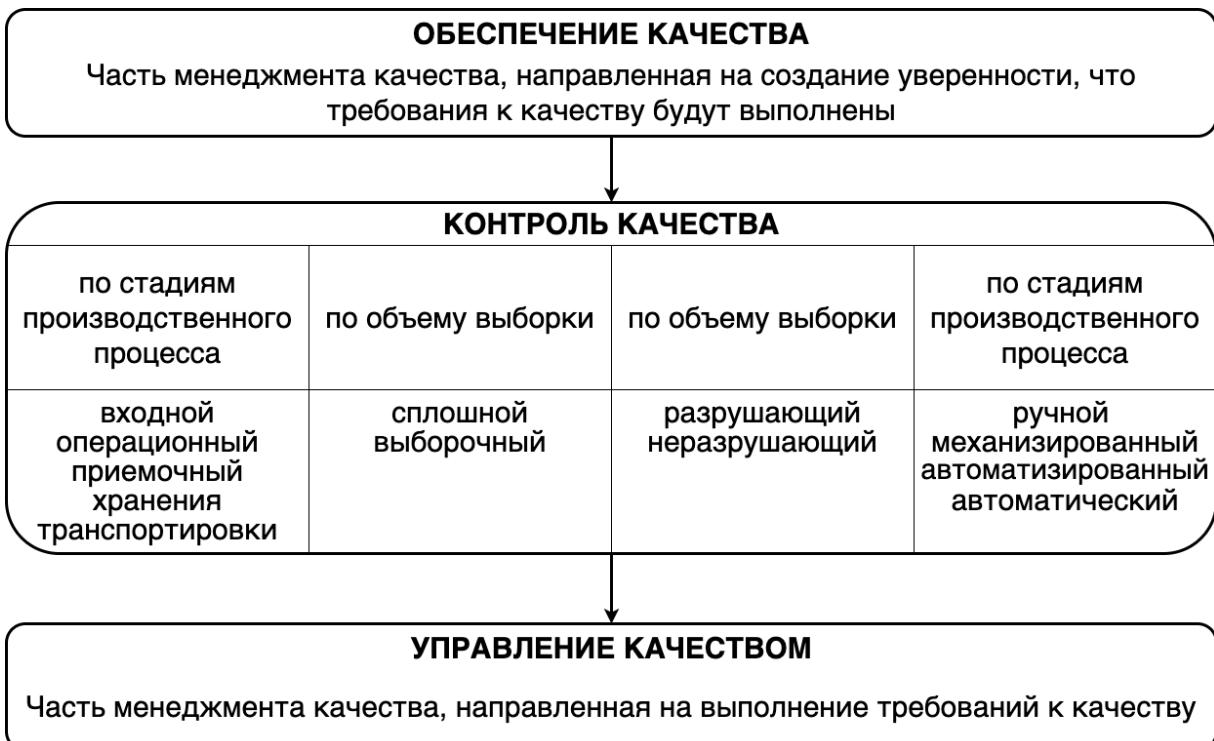


Рисунок 1. Виды контроля качества продукции

Методически контроль качества продукции строится на статистических методах контроля, и схемы контроля прописаны в ГОСТ по приёмочному контролю. Но существующая нормативно-методическая база основывается на статистических детерминированных методах. Это затрудняет и существенно замедляет процесс контроля качества модифицированных и новых моделей техники, требуя сбор и обработку статистических данных в большом объеме о надежностных эксплуатационных характеристиках изделий. В результате это может приводить в эксплуатации к несоответствию показателей надёжности к установленным изначально требованиям. Если у производителя существуют проблемы в эффективной организации контроля качества продукции, применение выборочного приемочного контроля не принесет ожидаемых результатов, потому что будет нарастать эффект статистической невоспроизводимости выборок изделий из одной и той же партии.

На предприятиях общего машиностроения номенклатура комплектующих изделий как покупных, так и производимых элементов довольно значительна. Это приводит к тому, что зачастую выходного контроля качества уже готового изделия бывает недостаточно. Необходимо решить – в каких точках процессов ЖЦ необходимо организовать точки оперативного контроля качества для обеспечения выходного качества конечной продукции. При контроле качества должны проверяться функциональные, физические и эксплуатационные характеристики изделия, совокупность которых представляет собой конфигурацию изделия в соответствии с ГОСТ Р 59193-2020. Объектом конфигурации (ОК) является часть конечного изделия, характеризующаяся набором функциональных свойств и технико-экономических характеристик.

Для соответствия требованиям ТЗ и сквозного прослеживания показателей качества необходимо внедрять технологию управления конфигурацией (УК) на предприятиях. УК осуществляет контроль за качеством как самого изделия, так и комплектов документации (КД) по нему.

Но с точки зрения контроля качества новых ОК как физически существующих изделий – управление конфигурацией это очень затратная процедура. Зачастую, у предприятий нет ресурсов на проведение полноценных испытаний и контроля качества всех узлов на многономенклатурном предприятии.

Таким образом, с одной стороны необходимо в рамках УК внедрять оперативный контроль качества, решая проблемы сквозного контроля показателей ОК; с другой стороны, необходимо проводить эти процедуры наименее затратным способом для новых/модифицированных изделий. Приемочный контроль должен строиться, учитывая стохастичность показателей разрабатываемой техники по отношению к эталонным образцам, при этом не затрачивая на это много времени и ресурсов.

В Главе 2 «Исследование процессов контроля конфигурации при создании информационной модели изделия» рассмотрены информационные и технические аспекты создания ИМ изделия, систематизированы группы требований и атрибутов объектов конфигурации, построена схемы контроля и аудита конфигурации в процессе создания, производства и эксплуатации изделия.

В диссертации на основе ГОСТ 15.016-2016 были систематизированы группы требований и соответствующие им атрибуты, которые затем должны проверяться в процессе контроля конфигурации для выполнения требования заказчика.

ОК с соответствующими группами требований описываются деревом с корнями изделия (связным графом без циклов, в котором одна вершина представляет собой корень – конечное изделие (КИ)), в котором выделяются уровни конфигурации (например, в соответствии с этапами сборки узлов и блоков).

Так как техническое изделие проходит ряд этапов ЖЦ, то УК также должно присутствовать на каждом этапе ЖЦ. Был сделан вывод о необходимости выделения точек оперативного контроля, соответствующим основным итерациям контроля конфигурации изделия: - при разработке ТЗ под требования заказчика, при создании функциональной конфигурации, утверждении проектно-конструкторской конфигурации, - утверждении физической конфигурации, формировании эксплуатационной конфигурации.

Это обеспечит сквозной контроль качества параметров ОК, преемственность между проектными работами, производством и контролем качества, а также соответствие требований ТЗ атрибутам информационной модели. На Рисунке 2 представлена схема структуры связи элементов процессов управления конфигурацией изделия с выделением точек оперативного контроля, соответствующих, с одной стороны, процессам ЖЦ изделия, с другой стороны, обозначающих проведение в этих точках процедур контроля и аудита конфигурации, где документально подтверждается, что параметры изделия соответствуют заданным требованиям.

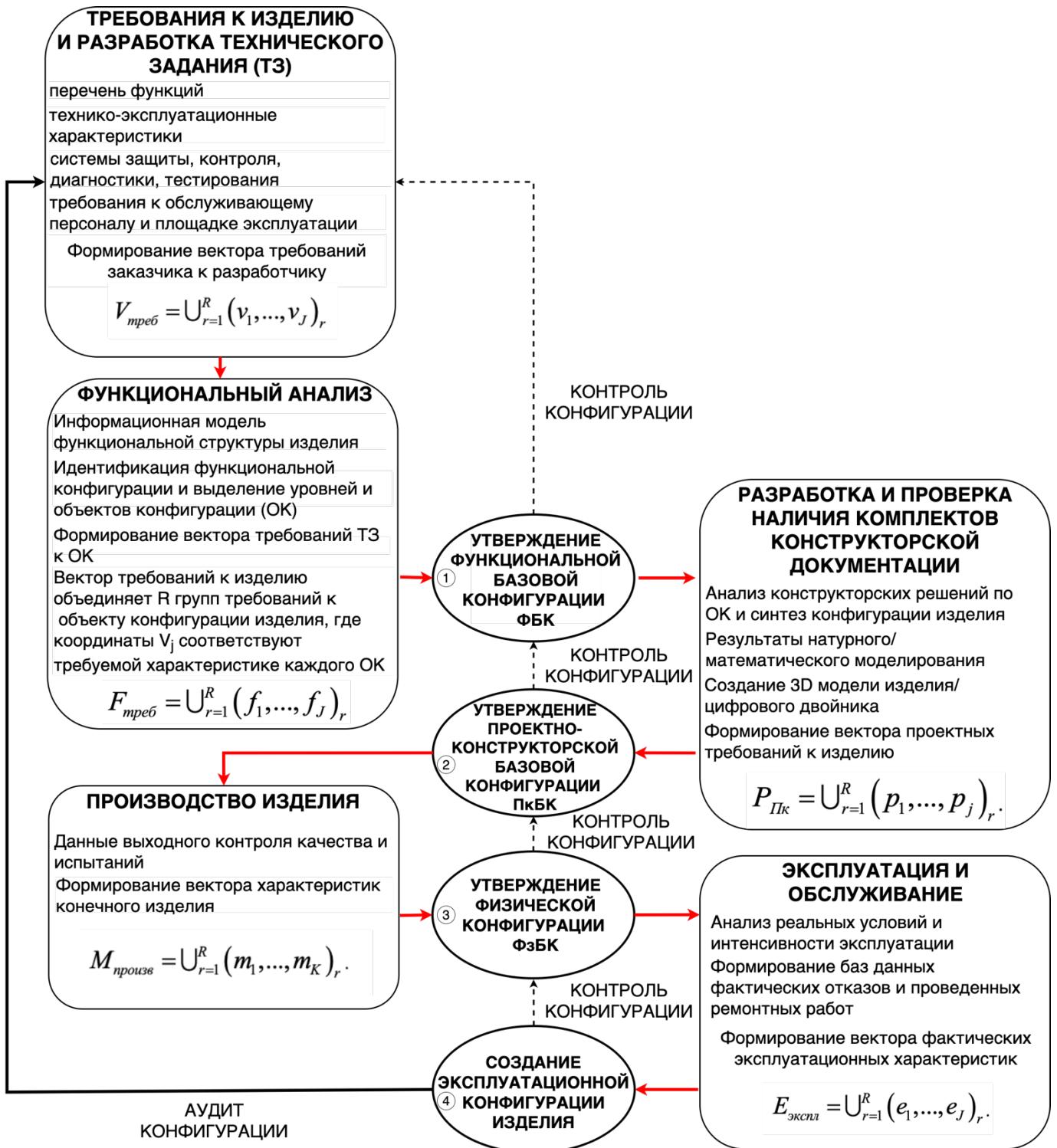


Рисунок 2. Схема структуры связи элементов процесса управления конфигурацией изделия в процессе создания, производства и эксплуатации изделия

В Главе 3 «Разработка инструмента контроля параметров атрибутов конфигурации с учетом взаимозаменяемости элементов» исследованы свойства и виды взаимозаменяемости элементов, разработан инструмент по контролю параметров атрибутов конфигурации базовой модели техники на основе оценки

допустимых отклонений, построен циклический алгоритм поэтапного контроля конфигурации модели техники и создано программное решение для его реализации.

Для реализации контроля конфигурации в диссертации был разработан инструмент оперативного контроля численного значения параметров атрибутов на основе оценки допустимых отклонений. В машиностроении четко прописаны ситуации отклонений от номинальных (требуемых) параметров конструкции как отдельных деталей, так и узлов и агрегатов; можно выделять производственный (технологически), ремонтный, эксплуатационный допуски, допуск на готовую продукцию.

В процессе разработки и производства продукции серийного выпуска накапливаются погрешности различного вида, что осложняет получение абсолютно идентичных параметров по совокупности деталей. В результате контроля качества произведенной продукции констатируется факт, что параметр находится в поле допуска, и готовое изделие считается соответствующим требованиям заказчика с учетом допустимых отклонений.

Так как параметры ОК могут быть непрерывными, то есть с полями допусков (симметричными и асимметричными), а могут иметь дискретные значения, для учета их отклонений предлагается использовать разные подходы.

Для дискретных параметров предлагается использовать среднеквадратичное отклонение σ в случае, если распределение параметра x_i соответствует нормальному распределению, то правило 3σ , а для параметров с полями допуска – с учетом коэффициента асимметрии. На Рисунке 3 приведена схема систематизации параметров ОК и соответствующих способов расчета допустимых отклонений по атрибуту «геометрические размеры». Исходный массив параметров варианта изделия преобразуется в матрицу, в которой по строкам идут индексы объекта конфигурации, а по столбцам индексные значения параметров объектов. Число и структура выходных матриц зависят от числа точек оперативного контроля конфигурации и состава характеристик модельного ряда изделий или узлов. Дальнейшая оценка результирующих матриц позволяет выявить ОК с показателями, наиболее близким к нормативным/требуемым, а также наиболее перспективные модели внутри отдельно взятого этапа. Если в процессе анализа перечня функций и матрицы параметров функциональной базовой конфигурации были внесены изменения в конструкцию изделия или его функциональные характеристики, эти изменения в обязательном порядке должны быть согласованы с заказчиком, отражены в ТЗ, и отражены в матрице требований и матрице функциональных характеристик.

В диссертации был разработан алгоритм и программное обеспечение для проведения итеративной проверки соответствия дискретных и непрерывных параметров изделия требованиям заказчика с учетом оценки допустимых отклонений. Аналогично с помощью такого программного инструмента можно проверять и другие виды атрибутов, характеризующим требования к эксплуатации. Это позволит автоматизировать процесс выбора подходящих вариантов ОК по численным характеристикам атрибутов.



Рисунок 3. Схема систематизации параметров и способов расчетов допустимых отклонений по атрибуту «геометрические размеры»

В Главе 4 «Разработка инструмента контроля качества новых и усовершенствованных моделей техники на основе стохастического подобия» исследованы теоретические основы стохастического подобия объектов и процессов, разработан инструмент контроля качества новых и усовершенствованных моделей техники, также проведена апробация разработанных инструментов по контролю конфигурации изделий и оценка эффекта от внедрения.

Если рассматривать два изделия, функционирующие в условиях неопределенности, то стохастическое подобие показателей процесса (функций распределений) позволяет определить, насколько эти два изделия подобны в своих случайных характеристиках. Для сравнения двух случайных процессов или распределений вероятностей используется критерий стохастического подобия. Он позволяет оценить, насколько одно распределение или процесс похожи на другое. Сложность конструкции и внутренних процессов взаимодействия элементов

в современной технике приводит к возникновению редких неплановых отказов, которые сложно обнаружить при контроле. Это обусловило выбор критерия Андерсона-Дарлинга, для проверки соответствия распределения параметров образца изделия теоретическому распределению (нормальному или экспоненциальному), более чувствительного к отклонениям в крайних значениях распределений и подходящего для распределений с длинными и тяжелыми хвостами:

$$A^2 = -n - \sum_{i=1}^n \frac{2i-1}{n} [\ln(F(x_i)) + \ln(1 - F(x_{n+1-i}))],$$

где $F(x_i)$ - значение теоретической функции распределения в точке x_i , n -объем выборки.

Для дискретных параметров в диссертации использовался критерий Манна-Уитни (U-тест) — непараметрический статистический тест, используемый для сравнения двух независимых выборок и проверки гипотезы о равенстве их распределений. Для непрерывных параметров использовался критерий Колмогорова-Смирнова. На Рисунке 4 приведен фрагмент таблицы с перечнем ОК, параметров качества, указан вид параметра – дискретный или непрерывный.

Апробация проводилась на АО «ММЗ» и АО «Брянский Автомобильный Завод». В качестве конечных изделий АО «ММЗ» рассматривались гусеничные машины, были выбраны два узла – бортовая передача (БП) и гидромехническая трансмиссия (ГМТ), выделены основные характеристики конфигурации данных узлов для проверки их стохастического подобия эталонному образцу в процессе испытаний при различных скоростных и нагрузочных режимах.

node	param	aram_1	param_val	param_values_f	st_criteria	st_criteria_result
Бортовая пер	ПХ 800 об/н	Непреры	[809.943293]	[789.10517601 78]	(0.27, 0.001293505978137	Параметр не соответств
Бортовая пер	3Х 800 об/м	Непреры	[838.239544]	[762.32709212 82]	(0.37, 1.752719083983507	Параметр не соответств
Бортовая пер	ПХ 2500 об	Непреры	[2506.88150]	[2384.77824688 2]	(0.35, 7.850159128072286	Параметр не соответств
Бортовая пер	t масла	Непреры	[93.6635064]	[67.60874618 77.7]	(0.19, 0.053902078931298	Параметр соответствует
Бортовая пер	кол-во цикл	Дискретн	[9 6 9 8 15 1]	[10 8 8 8 16 9 12 8]	(4523.0, 0.2423528500369	Параметр соответствует
ГМТ	оборотов/мн	Непреры	[2079.34486]	[1972.09254452 1]	(0.66, 6.55317981883723e	Параметр не соответств
ГМТ	Давление у	Непреры	[2.0470776]	[2.07804533 1.687]	(0.09, 0.815414712466131	Параметр соответствует
ГМТ	Давление в	Непреры	[0,28505264]	[0.18067928 0.076]	(0.07, 0.968409926139721	Параметр соответствует
ГМТ	Расход масл	Непреры	[0.58084777]	[0.34380516 0.545]	(0.18, 0.078221157978418	Параметр соответствует
ГМТ	t масла	Непреры	[136.393104]	[111.05177695 11]	(0.13, 0.368187786062860	Параметр соответствует
ГМТ	кол-во цикл	Дискретн	[10 9 5 9 10]	[9 9 11 12 12 9 5 5]	(3800.0, 0.0032255105445	Параметр не соответств

Рисунок 4. Фрагмент таблицы проверки соответствия закона распределения параметров тестируемого образца эталонному образцу

Построение диаграмм размаха по результатам контроля позволяет выделить режимы, при которых изделие работает стабильно, и регистрировать аномальные выбросы, которые могут быть обусловлены дефектами конструкции, неустойчивостью к нагрузкам, что может привести к снижению безопасности

эксплуатации. В случае, если на диаграмме наблюдались выбросы, необходимо провести анализ, являются ли они шумом (из-за ошибки в данных) или свидетельствуют о наличии внутреннего дефекта. На Рисунке 5 приведена схема, соответствующая алгоритму и разработанному программному обеспечению по контролю параметров качества изделия.

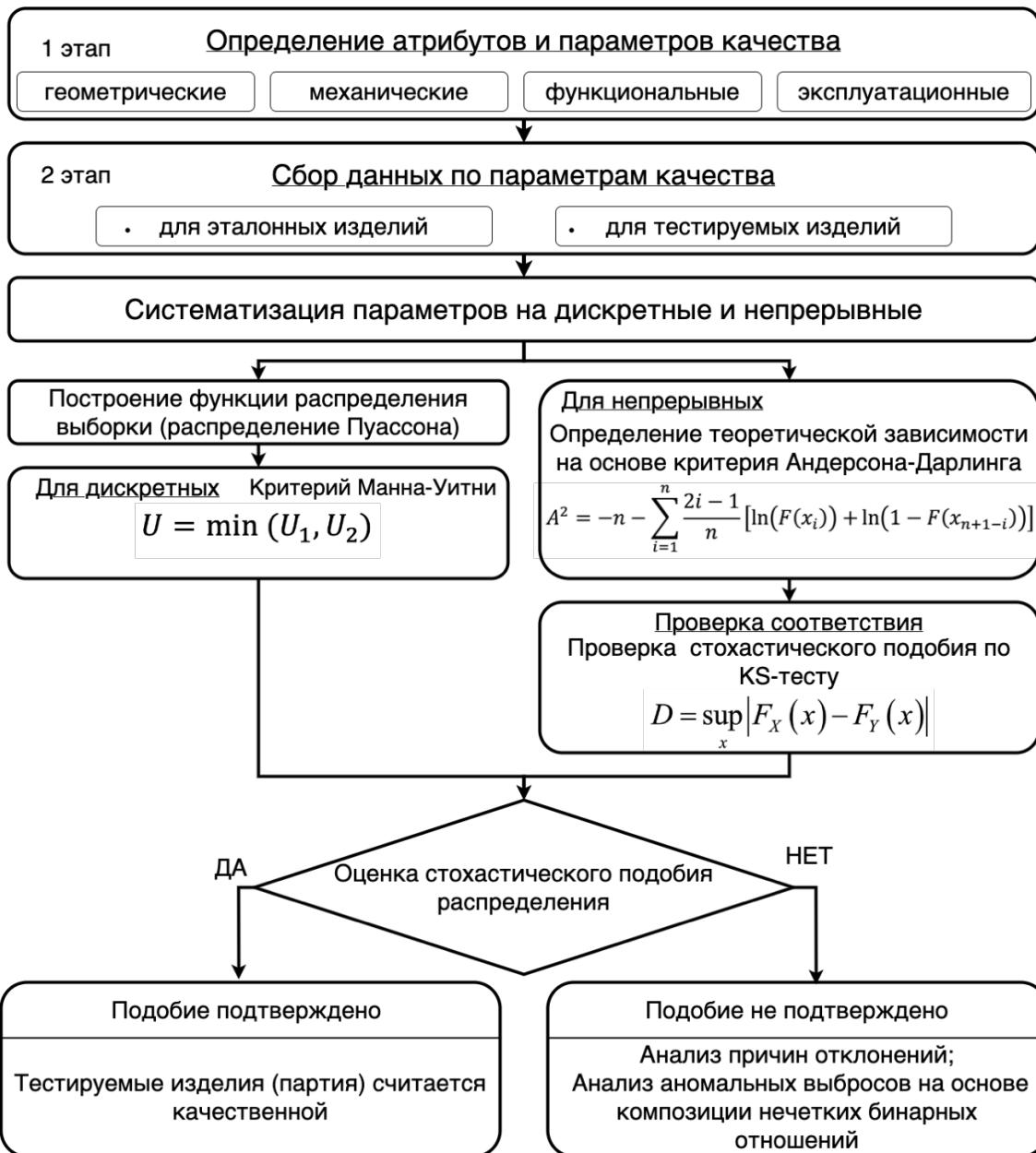


Рисунок 5. Схема реализации инструмента контроля параметров на основе стохастического подобия

На Рисунках 6, 7, 8 по выбранным параметрам представлены фрагменты графиков распределений значений параметров эталонной и тестируемой моделей и соответствующих им диаграмм размаха для БП и ГМТ.

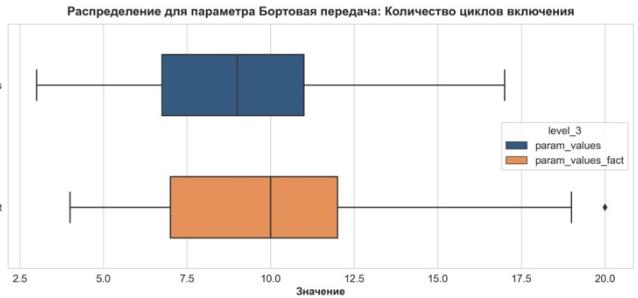
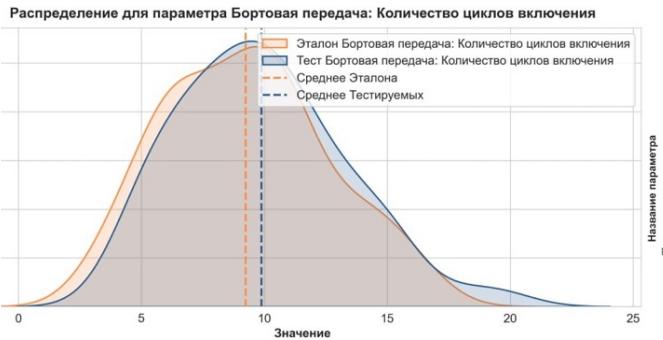


Рисунок 6. График распределения и диаграмма размаха для БП по параметру количество циклов включения

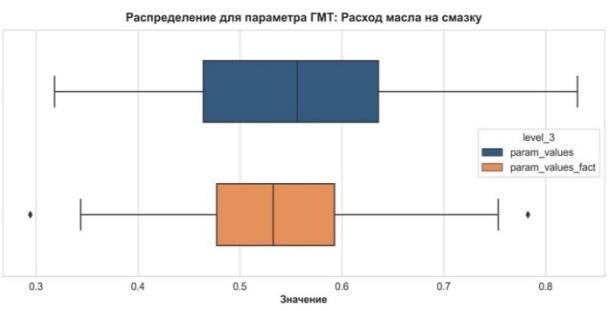
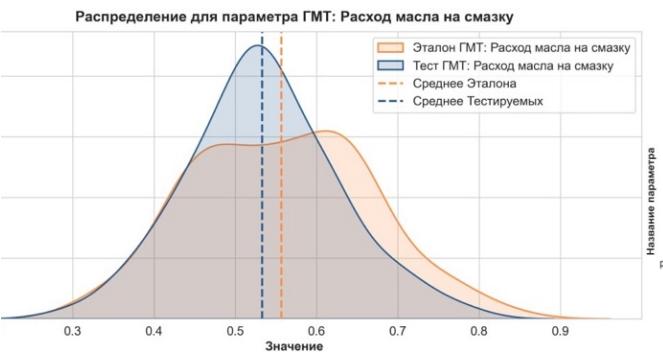


Рисунок 7. График распределения и диаграмма размаха для ГМТ по параметру расход масла на смазку

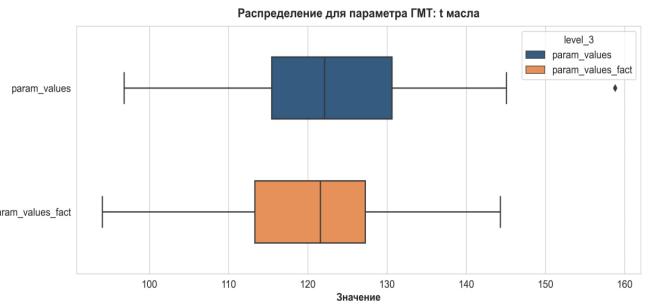
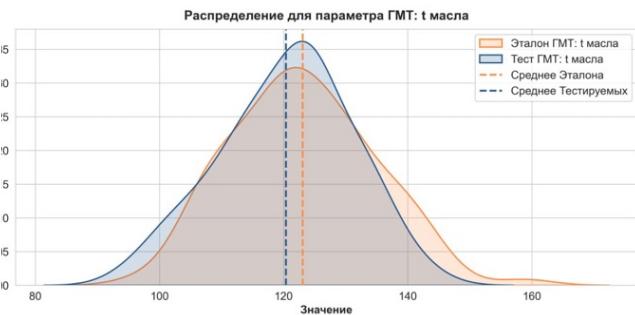


Рисунок 8. График распределения и диаграмма размаха для ГМТ по параметру температура масла

Для ГМТ диаграмма размаха по распределению «t масла» фиксирует аномальный выброс у тестируемого образца, обусловленный рядом причин: неисправность датчиков, проскальзывание гидротрансформатора, утечки или неисправность масляного насоса, проблемы с гидравлической системой или управлением.

В диссертации для анализа причин аномальных выбросов и их влияния на такие важные качественные атрибуты, как устойчивость и адаптивность к нагрузкам,

безопасность, сохранение работоспособности в различных температурных режимах, предложено использовать композицию бинарных нечетких отношений. Композиция бинарных нечетких отношений позволяет найти неявные внутренние связи между этими нечеткими множествами и реализуется с помощью максиминной свертки:

$$\mu_{\tilde{Q} \otimes \tilde{R}} (x_i, x_k) = \max \left\{ \min \left\{ \mu_{\tilde{Q}} (x_i, x_j), \mu_{\tilde{R}} (x_j, x_k) \right\} \right\}$$

$$(\forall x_i, x_k) \in X_1 \times X_3$$

Для анализа атрибута «Устойчивость к воздействиям и внешним факторам», выраженного в качественном виде, построены следующие нечеткие множества и нечеткие бинарные отношения:

Нечеткое множество

$$X_1 \text{«нагрузка»} = \{x_{1\text{низкая}}, x_{1\text{средняя}}, x_{1\text{высокая}}\}$$

Нечеткое отношение

$$Q \subseteq X_1 \times X_2$$

«нагрузка – температура масла»

$$X_2 \text{«темпер. масла»} = \{x_{2\text{низкая}}, x_{2\text{средняя}}, x_{2\text{высокая}}\}$$

$$S \subseteq X_2 \times X_3$$

«температура масла - устойчивость к перегреву»

$$X_3 \text{«устойчивость к перегреву»} = \{x_{3\text{низкая}}, x_{3\text{средняя}},$$

$$R \subseteq X_3 \times X_4$$

$$x_{3\text{высокая}}\}$$

«устойчивость к перегреву – устойчивость к износу»

$$X_4 \text{«устойчивости к износу»} = \{x_{4\text{низкая}}, x_{4\text{средняя}},$$

$$M_{\tilde{Q} \otimes \tilde{R}}$$

$$x_{4\text{высокая}}\}$$

Результат максиминной свертки

Матрица инциденций имеет следующий вид:

$$M_{\tilde{Q} \otimes \tilde{R}} = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,8 & 0,1 \\ 0,7 & 0,9 & 0,4 \\ 0,3 & 0,6 & 0,4 \end{pmatrix}$$

Результаты композиции нечетких отношений свидетельствуют о низкой устойчивости ГМТ к перегреву и износу при высокой температуре масла и низких нагрузочных режимах: максимальные значения степеней принадлежности 0,9 и 0,7 при низкой нагрузке, высокой температуре и низкой устойчивости к перегреву; минимальные значения 0,1 при высокой нагрузке и высокой температуре. Аномальный выброс на диаграмме размаха характерен для скрытых дефектов. Это конструктивные недостатки, связанные с недостаточной герметичностью трубопроводов, требующие доработки конструкции гидросхемы.

Таким образом, даже при наличии стохастического подобия распределений параметров эталонного и тестируемого образцов необходимо проводить анализ

аномальных выбросов, чтобы определить их причину и исключить возможность появления отказа при эксплуатации.

Таким образом, инструмент контроля качества новых и усовершенствованных моделей техники на основе стохастического подобия, включающий диаграммы размаха распределений и композицию бинарных нечетких отношений для анализа аномальных выбросов, позволяет провести оценку соответствия характеристик изделия заявленным требованиям. Для автоматизации процесса контроля качества также разработано программного обеспечения на языке Python.

На АО «ММЗ» внедрение разработанных инструментов позволило выделить точки сокращения затрат на проведение испытаний и контроль качества основных узлов. Самое большое сокращение затрат составило 8,49% - затраты на моделирование в CAD системах уже существующих узлов с актуализацией под действующее КД и последующей модернизацией. На АО «БАЗ» разработанные в диссертации инструменты применялись для автоматизации анализа данных промежуточных испытаний и приемочного контроля; затраты на обработку данных в среднем снизились на 6,7%.

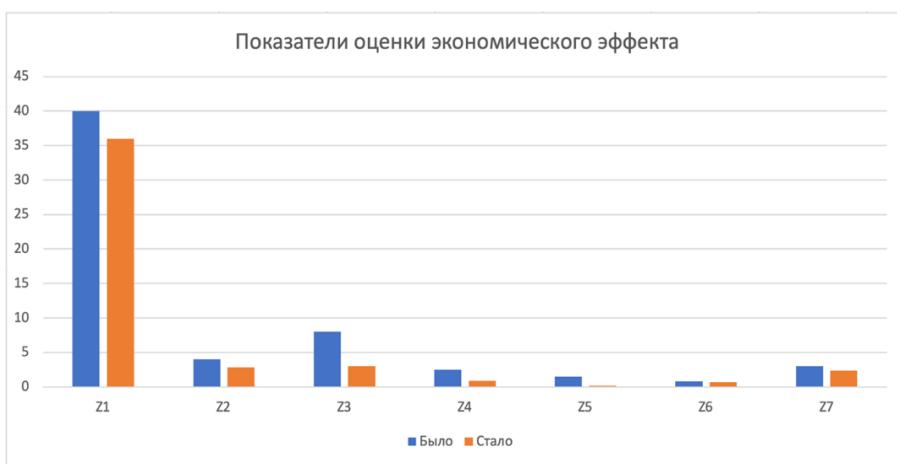


Рисунок 9. Гистограмма изменения затрат

- z_1 – фонд оплаты труда (ФОТ);
- z_2 – затраты на электроэнергию;
- z_3 – затраты на закупку стендов для испытаний;
- z_4 – затраты на исправление дефектов по гарантийным обязательствам;
- z_5 – затраты на разработку эксплуатационной документации по новым моделям техники;
- z_6 – затраты за счет сокращения объема испытаний новых моделей;
- z_7 – затраты на моделирование в CAD системах уже существующих узлов с актуализацией под действующее КД и последующей модернизацией.

Апробация показала применимость и необходимость использования разработанных инструментов в части обеспечения качества продукции для снижения затрат для проведения испытаний и контроля качества.

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ нормативной и методической базы по обеспечению приемочного контроля качества выявил главную задачу контроля качества, заключающуюся в обеспечении точного соответствия параметров произведенной продукции требованиям, изложенным в конструкторской и технологической документации; но

существующая база основывается на статистических детерминированных методах, что затрудняет и существенно замедляет процесс контроля качества новых моделей техники. Был сделан вывод, что необходимо разрабатывать и внедрять оперативный сквозной контроль качества, обеспечивающий статистическую воспроизводимость параметров выпускаемой продукции.

Результаты исследований современных цифровых технологий в области обеспечения качества продукции позволили обосновать необходимость интеграции в процесс контроля качества технологии управления конфигурацией, в рамках которой возможно осуществить контроль комплектов документации по изделию. Это позволит на предприятии реализовать сквозной контроль качества в процессе создания информационной модели изделия.

Построенная в диссертации структура связи элементов процесса УК изделия включает контуры контроля параметров изделий по всем процессам жизненного цикла; организация точек контроля качества на предприятиях в соответствии с этой схемой обеспечит наследуемость характеристик изделия, сквозной контроль качества, создание атомизированных информационных моделей по базовым узлам и подсистемам.

Разработанный инструмент контроля параметров узлов и подсистем изделий учитывает требования взаимозаменяемости элементов сборки на основе оценки допустимых отклонений дискретных и непрерывных параметров; позволяет сформировать набор вариантов ОК и оценить возможности создания новых модификаций изделия, что упростит создание комплектов документации по базовым ОК.

Разработанный инструмент контроля качества новых моделей/модификаций техники на основе стохастического подобия позволяет определить подобие функций распределений параметров эксплуатации новых образцов техники по отношению к эталонным образцам и наличие потенциально возможных скрытых дефектов; для определения причин и анализа неявных внутренних связей между параметрами изделия в инструмент включена композиция нечетких бинарных отношений, что в целом обеспечит сокращение затрат времени и ресурсов на проведение тестировочных испытаний и процедуры контроля качества в целом.

Апробация разработанных инструментов и программного обеспечения позволила выявить области затрат, наиболее чувствительные к возникновению различного рода инцидентов, связанных с возвратом узлов и агрегатов на доработку; в частности, затраты на моделирование в CAD системах уже существующих узлов с актуализацией под действующее КД и последующей модернизацией снизились на 8,49%; затраты на разработку эксплуатационной документации по новым моделям техники снизились на 4,1%. Так как апробация проводилась на 2 разных узлах, используемых для сборки конечных изделий как в крупносерийном, так и мелкосерийном производстве, можно утверждать, что разработанные инструменты, алгоритмы и ПО могут быть рекомендованы к применению в СМК предприятий различного типа.

Направлениями и перспективами дальнейшего развития исследований по теме диссертации являются вопросы создания цифровой тени изделий на основе сбора и статистической обработки показателей, получаемых в процессе тестировочных испытаний изделий, и последующей интеграции в цифровые двойники изделий для прогнозирования поведения техники в различных условиях эксплуатации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности 2.5.22

1. Швайко Б. А. О необходимости оперативного контроля качества в процессах управления конфигурацией // Инновации в менеджменте. 2023. № 3(37). С. 74-79. (0,55 п.л.)

2. Швайко Б. А. Контроль конфигурации изделия в системе менеджмента качества на предприятии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 5. С. 84-87. DOI 10.24412/2071-6168-2024-5-84-85. (0,32 п.л.)

3. Бром А. Е., Швайко Б. А. К вопросу об организации оперативного контроля качества продукции общего машиностроения // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 11. С. 499-503. DOI 10.24412/2071-6168-2023-11-499-500. (0,42 п.л / 0,21 п.л)

Другие публикации по теме диссертационной работы:

4. Швайко, Б. А., А. Е. Бром. Организация производственно-логистической сети на основе интеграции центров компетенций // Эффективность организации и управления промышленными предприятиями: проблемы и пути решения: материалы IV Международной научно-практической конференции, Воронеж, 2023. С. 190-195. (0,21 п.л. / 0,1 п.л.)

5. Б. А. Швайко, А. Е. Бром. Направления реорганизации и создания производственно-логистических систем в современных условиях // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: материалы XIX Международной научно-практической конференции, Тольятти, 2023. Том 1. С. 172-174. (0,16 п.л. / 0,08 п.л.)

6. Методы анализа и оценки показателей целей устойчивого развития / Б. А. Швайко [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 12(150). С. 215-218. (0,36 п.л. / 0,09 п.л.)

7. Обзор методов нормализации критериев устойчивого развития / Б. А. Швайко [и др.] // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 12(150). С. 44-47. (0,22 п.л. / 0,06 п.л.)

8. Швайко, Б. А., Герцик Ю. Г. Внедрение системы менеджмента качества на машиностроительном предприятии в рамках формирования стратегии сервисного обслуживания // Естественно-гуманитарные исследования. 2022. № 40(2). С. 302-314. (1,16 п.л. / 0,58 п.л.)

9. Швайко, Б. А., Омельченко И.Н. Использование методов прогнозирования фрактальных рядов в системах массового обслуживания // Устойчивое развитие и новая индустриализация: наука, экономика, образование: Материалы конференции, Москва, 2021. С. 515-518. (0,21 п.л. / 0,1 п.л)

10. Швайко, Б. А. Организация технического сервиса как ключевое направление повышения качества машиностроительной продукции сельскохозяйственной отрасли // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 5(119). С. 72-75. (0,22 п.л.)