

Мышковский Кирилл Александрович

бакалавр 4 курса ФПТИ

институт фундаментальной подготовки и технологических инноваций

(Институт ФПТИ)

Санкт-Петербургский Государственный Университет Аэрокосмического

Приборостроения

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМКИ ПРОДУКЦИИ НА
ПРЕДПРИЯТИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА
ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

Аннотация: В статье рассматривается проблема низкой эффективности процедуры приемки продукции на предприятиях энергетического машиностроения. Целью работы является разработка комплекса мероприятий по улучшению процедуры приемки на основе риск-ориентированного подхода с применением инструментов управления качеством. Предлагаемая методика базируется на последовательном использовании диаграммы Исикавы, FMEA-анализа, диаграммы Парето и SWOT-анализа, что позволяет систематизировать причины несоответствий, количественно оценить риски и ранжировать проблемы по степени критичности. В работе представлены результаты применения методики на предприятии энергетического машиностроения. Повторный анализ подтвердил снижение значений приоритетного числа риска по всем категориям несоответствий. Предложенный подход может быть адаптирован для предприятий различных отраслей.

Ключевые слова: приемка продукции, риск-ориентированный подход, управление качеством, FMEA-анализ, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, энергетическое машиностроение.

Abstract. The article addresses the problem of low efficiency of product acceptance procedures at power engineering enterprises. The aim of the work is to develop a set of measures to improve the acceptance procedure based on a risk-based approach using quality management tools. The proposed methodology is based on the sequential application of the Ishikawa diagram, FMEA analysis, Pareto diagram, and

SWOT analysis. The paper presents the results of applying the methodology at a power engineering enterprise. Repeated analysis confirmed a reduction in Risk Priority Number values across all non-conformity categories. The proposed approach can be adapted for enterprises in various branches of heavy engineering.

Keywords: product acceptance, risk-based approach, quality management, FMEA analysis, Pareto diagram, Ishikawa diagram, power engineering.

Введение.

Современное машиностроительное предприятие предъявляет высокие требования к качеству, надежности и эффективности выпускаемой продукции. Особенно важными данные требования являются для предприятий энергетического машиностроения, выпускающих оборудование для тепловых и атомных электростанций, поскольку от качества изготовления напрямую зависят безопасность и надежность энергетических объектов. Одним из ключевых этапов достижения целей в области качества является процедура приемки продукции, в ходе которой подтверждается соответствие характеристик изделий требованиям конструкторской, технологической и нормативной документации. Эффективность приемки напрямую влияет на сроки изготовления оборудования, выполнение договорных обязательств и уровень производственных затрат.

1. Методологический подход к анализу процедуры приемки продукции

1.1. Роль процедуры приемки в системе управления качеством предприятия

Процедура приемки продукции является одним из ключевых элементов системы менеджмента качества на промышленном предприятии. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2015, контроль качества должен осуществляться на всех стадиях производственного процесса, а приемка продукции представляет собой финальный этап подтверждения соответствия изготовленного изделия требованиям конструкторской, технологической и нормативной документации. Для предприятий энергетического машиностроения, выпускающих оборудование для тепловых и атомных электростанций, значимость данного

этапа многократно возрастает, поскольку от качества изготовления напрямую зависят безопасность и надежность энергетических объектов.

Современные исследования в области управления качеством демонстрируют устойчивый тренд — переход от разрозненного контроля отдельных операций к комплексному, процессно-ориентированному подходу. В рамках данного подхода процедура приемки рассматривается не как изолированная операция, а как неотъемлемая часть всей системы обеспечения качества, охватывающей все этапы жизненного цикла изделия — от входного контроля материалов до финальных испытаний готовой продукции. Эффективный инструментарий управления качеством должен измерять не только уровень соответствия продукции требованиям документации, но и способность системы своевременно выявлять и предотвращать возникновение несоответствий.

Развитие данного направления привело к появлению подхода, позволяющего идентифицировать «слабые места» в процедуре приемки, то есть несоответствия между текущим состоянием контроля и целевыми ориентирами по качеству. Важно, что данный подход учитывает не только технологическую, но и организационную, и кадровую составляющие, что создает основу для последующего анализа рисков потери качества продукции.

1.2. Факторы, влияющие на эффективность приемки продукции

Эффективность процедуры приемки продукции на предприятиях энергетического машиностроения определяется совокупностью взаимосвязанных факторов. Классические модели управления качеством, ориентированные на последовательные этапы контроля, закладывают важную основу для управления процессами. Однако их прямой потенциал для анализа причин несоответствий остается ограниченным, поскольку они изначально не содержат специализированных критериев, связанных с особенностями крупногабаритного турбинного производства. Новые подходы рассматривают контроль качества как процесс совместной эволюции технологических и организационных решений и предлагают более целостное решение,

позволяющее интегрировать различные группы факторов, влияющих на приемку продукции.

1.3. Инструменты управления качеством для анализа процедуры приемки

Для системного анализа причин несоответствий в процедуре приемки продукции и разработки обоснованных корректирующих мероприятий необходим комплекс инструментов управления качеством, позволяющий структурировать проблему, количественно оценить риски и определить приоритетные направления улучшений.

Диаграмма Исикавы применяется для систематизации факторов, влияющих на проблему. В рамках исследования причин низкого коэффициента приемки продукции целесообразно разделение причин на шесть основных групп: персонал, оборудование, материалы, методы производства, контроль и документооборот [8]. Данный инструмент позволяет визуализировать взаимосвязи между различными факторами и выявить корневые причины возникновения несоответствий. Важно отметить, что качество анализа напрямую зависит от состава экспертной группы, в которую должны входить представители различных подразделений — технологи, производственные мастера, инспекторы ОТК и конструкторы.

FMEA-анализ представляет собой структурированный метод количественной оценки рисков, связанных с потенциальными несоответствиями. Оценка выполняется по трем параметрам: тяжесть последствий (S) — от 1 до 10, вероятность возникновения (O) — от 1 до 10, возможность обнаружения (D) — от 1 до 10. Приоритетное число риска (ПЧР) рассчитывается как произведение указанных параметров по формуле (1):

$$\text{ПЧР} = S \times O \times D \quad (1)$$

Применение FMEA-анализа позволяет не только выявить наиболее критические несоответствия, но и определить, какие из них требуют первоочередного внимания. Однако следует учитывать, что оценки вероятности возникновения и обнаружения дефектов носят субъективный характер и зависят

от опыта экспертов, поэтому для повышения достоверности необходимо привлекать специалистов из разных подразделений.

Диаграмма Парето, основанная на принципе 80/20, позволяет ранжировать выявленные несоответствия по степени их влияния на общую проблему. Данный инструмент показывает, что, как правило, около 20 % причин формируют 80 % всех несоответствий, что позволяет сосредоточить ресурсы на устранении наиболее значимых факторов. При построении диаграммы Парето на основе результатов FMEA-анализа выделяются три группы причин:

- группа А (наиболее значимые причины, требующие первоочередного вмешательства),
- группа В (причины средней значимости, требующие локальных улучшений),
- группа С (наименее значимые причины, устранение которых не даст существенного эффекта без предварительной работы с причинами групп А и В).

SWOT-анализ позволяет комплексно оценить текущее состояние процедуры приемки, выявить сильные и слабые стороны процесса, а также внешние возможности и угрозы. Данный инструмент дает возможность обосновать необходимость предлагаемых мероприятий и определить стратегические направления развития системы качества. Ограничением SWOT-анализа является его статичность — он отражает ситуацию на момент проведения и требует регулярного обновления при изменении производственных условий или требований заказчиков.

Наибольший эффект при анализе процедуры приемки достигается при последовательном применении данных инструментов: диаграмма Исикавы позволяет выявить все возможные причины несоответствий, FMEA-анализ дает их количественную оценку, диаграмма Парето ранжирует причины по значимости, а SWOT-анализ формирует основу для стратегического планирования улучшений. Такая последовательность обеспечивает переход от

качественного описания проблемы к количественной оценке и обоснованным управленческим решениям.

2. Анализ и количественная оценка рисков процедуры приемки продукции

2.1. Систематизация и ранжирование причин несоответствий

На первом этапе анализа для систематизации причин низкого коэффициента приемки продукции с первого предъявления была построена диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма). Данный инструмент позволяет структурировать факторы, влияющие на результативность процедуры приемки, и выявить корневые причины возникновения несоответствий.

Причины возникновения дефектов были разделены на шесть основных групп в соответствии с классической структурой диаграммы Исикавы: персонал, оборудование, материалы, методы производства, контроль и документооборот.

Результаты систематизации причин представлены на рисунке 1. Для каждой из шести групп факторов были выявлены конкретные причины, оказывающие влияние на снижение показателя приемки продукции с первого предъявления.



Рисунок 1 – Диаграмма Исикавы: причины низкого коэффициента приемки продукции с первого предъявления

Наиболее значимое влияние на снижение приемки оказывают группы факторов «Материалы», «Персонал» и «Методы производства».

В группе «Материалы» критическими причинами являются: низкое качество литых заготовок (поры, раковины, трещины), несоответствие сварочных материалов и дефицит комплектующих.

В группе «Персонал» ключевые проблемы: недостаточная квалификация работников, нарушение технологической дисциплины и ошибки при разметке и сборке.

В группе «Методы производства» наиболее существенны: нарушение технологических режимов, отклонения геометрических размеров и недостаточный контроль крупногабаритных изделий.

Факторы групп «Оборудование», «Контроль» и «Документооборот» усиливают влияние первичных причин: недостаточная точность оборудования, ошибки программ ЧПУ, нехватка персонала ОТК, потеря документации и длительное согласование карт несоответствий.

Таким образом, диаграмма Исикавы подтверждает, что низкий коэффициент приемки продукции обусловлен не единичными нарушениями, а совокупностью взаимосвязанных факторов производственного, организационного и кадрового характера. Полученные результаты создают основу для перехода к количественной оценке выявленных рисков с использованием FMEA-анализа.

2.2. Количественная оценка рисков возникновения несоответствий

Для количественной оценки рисков применён FMEA-анализ. Оценка выполнялась по трём параметрам: тяжесть последствий (S), вероятность возникновения (O) и возможность обнаружения (D) по десятибалльным шкалам. Приоритетное число риска (ПЧР) рассчитывается по формуле (1).

Шкалы оценки параметров представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Шкала оценки тяжести последствий (S)

Баллы	Характеристика	Описание
10	Катастрофические последствия	Авария, угроза жизни, разрушение оборудования
8-9	Критические последствия	Полная замена изделия, срыв сроков
6-7	Значительные последствия	Дорогостоящий ремонт, увеличение цикла
4-5	Умеренные последствия	Устраняется дополнительными операциями
2-3	Незначительные последствия	Не влияет на работоспособность
1	Отсутствие последствий	Не влияет на качество и сроки

Таблица 2 – Шкала оценки вероятности возникновения (O)

Баллы	Характеристика	Описание
10	Очень высокая	Более 1 из 10 операций
8-9	Высокая	Примерно 1 из 10
6-7	Средняя	Примерно 1 из 50
4-5	Умеренная	Примерно 1 из 200

Баллы	Характеристика	Описание
2-3	Низкая	Примерно 1 из 1000
1	Крайне низкая	Практически невозможно

Таблица 3 – Шкала оценки возможности обнаружения (D)

Баллы	Характеристика	Описание
10	Обнаружить почти невозможно	Не выявляется существующими методами
8-9	Очень низкая	Может быть пропущен при стандартном контроле
6-7	Низкая	Выявляется только специальными методами
4-5	Средняя	Может быть обнаружен при визуальном контроле
2-3	Высокая	Легко обнаруживается стандартными методами
1	Очень высокая	Очевиден, не может быть пропущен

Результаты FMEA-анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты FMEA-анализа процедуры приемки продукции

№	Потенциальное несоответствие	Причина возникновения	S	O	D	ПЧР
1	Повторное предъявление продукции	Отсутствие фактической доработки	8	8	7	448
2	Низкое качество литых заготовок	Дефекты металла	9	7	6	378
3	Отклонение геометрических размеров	Ошибки разметки и базирования	9	8	5	360
4	Низкая квалификация персонала	Несоответствие разряда	8	7	6	336
5	Дефекты сварных швов	Нарушение режимов сварки	10	6	5	300
6	Потеря документации	Бумажный документооборот	7	7	6	294
7	Ошибки контроля геометрии	Сложность конструкции	8	6	6	288
8	Задержка приемки ОТК	Недостаток инспекторов	7	8	5	280
9	Ошибки ЧПУ обработки	Некорректная программа	8	5	6	240

Наиболее критичными рисками являются: повторное предъявление продукции (ПЧР = 448), дефекты литых заготовок (ПЧР = 378), отклонения геометрических размеров (ПЧР = 360) и низкая квалификация персонала (ПЧР = 336). Высокие значения ПЧР преимущественно связаны с организацией системы контроля и управления несоответствиями.

2.3. Ранжирование причин несоответствий с использованием диаграммы Парето

На основе результатов FMEA-анализа построена диаграмма Парето. Ранжирование выполнено по убыванию ПЧР (таблица 5).

Таблица 5 – Ранжирование причин несоответствий

Вид несоответствия	ПЧР	Доля, %	Накопленная доля, %	Группа
Повторное предъявление продукции	448	15,32	15,32	А
Низкое качество литых заготовок	378	12,93	28,25	А
Отклонение геометрических размеров	360	12,31	40,56	А
Низкая квалификация персонала	336	11,49	52,05	А
Дефекты сварных швов	300	10,26	62,31	А
Потеря документации	294	10,05	72,37	А
Ошибки контроля геометрии	288	9,85	82,22	В
Задержка приемки ОТК	280	9,58	91,79	В

Вид несоответствия	ПЧР	Доля, %	Накопленная доля, %	Группа
Ошибки ЧПУ обработки	240	8,21	100,00	С

На основе данных таблицы 5 построена диаграмма Парето, представленная на рисунке 2.

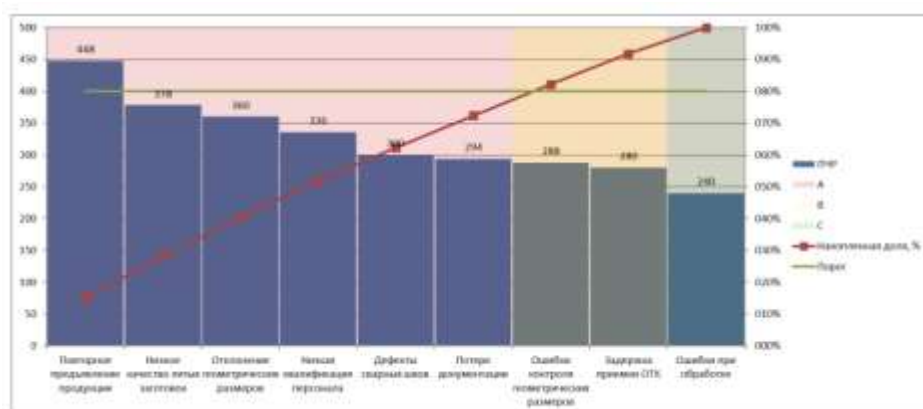


Рисунок 2 – Диаграмма Парето причин несоответствий

Анализ диаграммы Парето позволяет выделить три группы причин:

Группа А (наиболее значимые) — 6 факторов, формирующих 72,37 % несоответствий: повторные предъявления, качество заготовок, отклонения геометрии, квалификация персонала, дефекты сварки, потеря документации. Требуют первоочередного вмешательства.

Группа В (средней значимости) — ошибки контроля геометрии и задержки приемки ОТК, добавляющие 19,4 %. Требуют локальных улучшений.

Группа С (наименее значимые) — ошибки ЧПУ (8,21 %). Устранение не даст значительного эффекта без работы с группами А и В.

Таким образом, наиболее критичные риски связаны с организацией системы управления качеством, что подтверждает необходимость комплексных решений по цифровизации, повышению квалификации и усилению контроля.

3. Разработка и оценка мероприятий по улучшению процедуры приемки продукции

3.1. Комплекс мероприятий по устранению критических причин несоответствий

На основе результатов анализа разработан комплекс из восьми мероприятий (таблица 6).

Таблица 6 – План мероприятий по улучшению процедуры приемки продукции

Категория проблемы	Рекомендация	Метод	Ответственные	Сроки	Ожидаемый результат
Повторные предъявления	Внедрить электронный контроль доработок	Чек-лист, блокировка в системе	ОТК, IT-отдел	1 мес.	Снижение на 50 %
Документоборот	Полный переход на электронный документоборот	Электронная подпись, цифровой архив	IT-отдел, ОТК	3 мес.	Устранение потерь
Качество заготовок	Усиление входного контроля	Расширенный НК, рейтинг поставщиков	ОТК, закупки	2 мес.	Снижение дефектов на 30 %

Категория проблемы	Рекомендация	Метод	Ответственные	Сроки	Ожидаемый результат
Отклонения геометрии	Внедрение цифровых систем контроля	3D-измерения, лазерный трекинг	Техотдел, ОТК	6 мес.	Снижение отклонений
Квалификация персонала	Программа обучения и аттестации	Матрица компетенций	Отдел кадров, ОТК	2 мес.	Повышение квалификации
Дефекты сварки	Автоматизация контроля режимов	Регистрация параметров	Техотдел, ОТК	3 мес.	Снижение дефектов
Загрузка ОТК	Цифровое планирование	Приоритизация, расширение штата	Дирекция по качеству	2 мес.	Сокращение времени ожидания
Контроль геометрии	Внедрение переносных систем	Лазерный трекинг	Техотдел, ОТК	6 мес.	Повышение точности

3.2. Оценка эффективности предложенных мероприятий

Для оценки эффективности проведён повторный FMEA-анализ (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты FMEA-анализа после внедрения мероприятий

№	Потенциальное несоответствие	Мероприятие	S	O	D	П Ч Р
1	Низкое качество литых заготовок	Усиление входного контроля	9	4	4	144
2	Дефекты сварных швов	Повышение квалификации сварщиков	10	3	4	120
3	Задержка приемки ОТК	Планирование загрузки ОТК	7	4	4	112
4	Отклонение геометрии	Дополнительный промежуточный контроль	9	4	3	108
5	Низкая квалификация персонала	Аттестация и обучение	8	3	4	96
6	Повторное предъявление продукции	Электронный контроль доработок	8	3	3	72
7	Ошибки контроля геометрии	Лазерные измерительные системы	8	3	3	72
8	Ошибки ЧПУ	Проверка программ и симуляция	8	2	3	48

№	Потенциальное несоответствие	Мероприятие	S	O	D	П Ч Р
9	Потеря документации	Электронный документооборот	7	2	2	28

Значения ПЧР снизились по всем категориям. Наиболее существенное снижение: повторные предъявления — на 84 % (с 448 до 72), потеря документации — на 90 % (с 294 до 28), ошибки ЧПУ — на 80 % (с 240 до 48).

На основе остаточных значений ПЧР построена повторная диаграмма Парето (таблица 8, рисунок 3).

Таблица 8 – Диаграмма Парето после внедрения мероприятий

Вид несоответствия	П Ч Р	Доля, %	Накопленная доля, %	Группа
Низкое качество литых заготовок	144	18,00	18,00	A
Дефекты сварных швов	120	15,00	33,00	A
Задержка приемки ОТК	112	14,00	47,00	A
Отклонение геометрических размеров	108	13,50	60,50	A
Низкая квалификация персонала	96	12,00	72,50	A

Вид несоответствия	П Ч Р	Доля, %	Накопленная доля, %	Группа
Ошибки контроля геометрии	72	9,00	81,50	В
Повторное предъявление продукции	72	9,00	90,50	В
Ошибки ЧПУ	48	6,00	96,50	С
Потеря документации	28	3,50	100,00	С

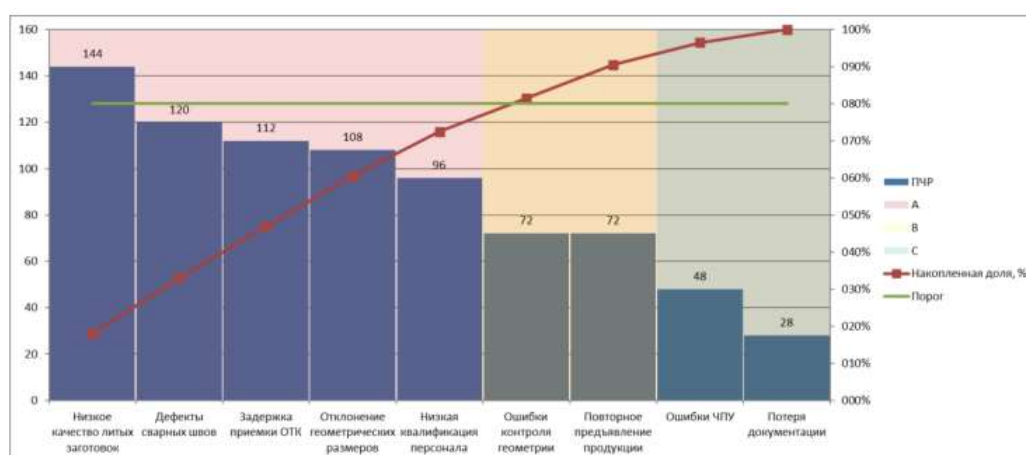


Рисунок 3 – Диаграмма Парето после внедрения мероприятий

Сравнительный анализ показывает перераспределение долей: организационные проблемы (повторные предъявления, потеря документации) перешли в группы В и С, а на первый план вышли технологические проблемы (качество заготовок, дефекты сварки). Группа А после внедрения включает пять факторов, формирующих 72,5 % остаточных несоответствий, что указывает на необходимость дальнейшего совершенствования технологических процессов.

Заключение. В работе разработана методика повышения эффективности приемки продукции на основе риск-ориентированного подхода с применением инструментов управления качеством. Методика включает последовательное

использование диаграммы Исикавы, FMEA-анализа, диаграммы Парето и SWOT-анализа.

Проведённый анализ деятельности предприятия энергетического машиностроения выявил системные проблемы: низкий коэффициент приемки с первого предъявления, значительное количество карт несоответствий, длительное согласование документации, недостаточную цифровизацию процессов и влияние человеческого фактора.

Систематизированы причины несоответствий. На основе количественной оценки рисков определены наиболее критические проблемы: повторные предъявления продукции, дефекты литых заготовок, отклонения геометрических размеров и недостаточная квалификация персонала.

Разработан комплекс мероприятий, включающий цифровизацию документооборота, усиление входного контроля, внедрение современных систем контроля геометрии, повышение квалификации персонала и оптимизацию работы отдела технического контроля.

Повторный анализ подтвердил результативность предложенных мер: достигнуто значительное снижение рисков по всем категориям несоответствий.

Предложенная методика имеет практическую значимость и может быть адаптирована для предприятий тяжелого машиностроения, ориентированных на высокое качество и надежность продукции.

Список использованных источников

1. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. — М.: Стандартиформ, 2020. — 32 с.
2. ГОСТ 24297-2013. Верификация закупленной продукции. Организация проведения и методы контроля. — М.: Стандартиформ, 2019. — 18 с.
3. ТР ТС 032/2013. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением». — М.: Евразийская экономическая комиссия, 2013. — 96 с.

4. Адлер Ю.П. Применение FMEA-анализа для управления производственными рисками // Стандарты и качество. — 2023. — № 4. — С. 42-47.

5. Орлов С.В. Использование диаграммы Исикавы при совершенствовании производственных процессов // Методы менеджмента качества. — 2023. — № 7. — С. 34-39.

6. Васильев Д.П. Применение диаграммы Парето для анализа производственного брака // Контроль качества продукции. — 2022. — № 9. — С. 18-23.

7. Смирнов И.В. Цифровизация процессов технического контроля на машиностроительных предприятиях // Методы менеджмента качества. — 2024. — № 1. — С. 27-33.

8. Кузнецов Е.С. Анализ причин возникновения несоответствий на производстве энергетического оборудования // Стандарты и качество. — 2023. — № 11. — С. 41-46.

References

1. GOST R ISO 9001-2015. Quality management systems. Requirements. — M.: Standartinform, 2020. — 32 p.

2. GOST 24297-2013. Verification of purchased products. Organization of conduct and control methods. — M.: Standartinform, 2019. — 18 p.

3. TR TS 032/2013. Technical Regulation of the Customs Union "On the safety of equipment operating under excessive pressure". — M.: Eurasian Economic Commission, 2013. — 96 p.

4. Adler Yu.P. Application of FMEA analysis for production risk management // Standards and Quality. — 2023. — No. 4. — P. 42-47.

5. Orlov S.V. The use of the Ishikawa diagram in improving production processes // Quality Management Methods. — 2023. — No. 7. — P. 34-39.

6. Vasiliev D.P. Application of the Pareto diagram for the analysis of production defects // Product Quality Control. — 2022. — No. 9. — P. 18-23.

7. Smirnov I.V. Digitalization of technical control processes at machine-building enterprises // Quality Management Methods. — 2024. — No. 1. — P. 27-33.

8. Kuznetsov E.S. Analysis of the causes of nonconformities in the production of power equipment // Standards and Quality. — 2023. — No. 11. — P. 41-46.