

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

На правах рукописи



ШУТИКОВ МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ
ПРИ КОНТРОЛЕ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ОСОБО ОТВЕТСТВЕННОЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ**

Специальность: 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Феофанов Александр Николаевич

Москва - 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ И МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ.....	10
1.1. Постановка задачи эффективного функционирования организации на основе составления производственного расписания с помощью интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами	10
1.2. Аналитический обзор существующих систем управления производственными процессами	15
1.2.1. Принципы применения автоматизированных систем управления производственными процессами	20
1.2.2. Опыт внедрения автоматизированных систем управления производственными процессами	21
1.2.3. Преимущества методов автоматизированной системы управления производственными процессами в организации.....	23
1.3. Системно-целевой подход к созданию и внедрению интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при контроле деталей после особо ответственной технологической операции	24
1.4. Выводы по первой главе	28
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ.....	29
2.1. Модель информационных потоков интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при обнаружении дефектных деталей в партии после особо ответственной технологической операции.....	29
2.2. Функциональное моделирование технологического процесса изготовления деталей на предприятии мелкосерийного типа производства в случае обнаружения дефектов	39
2.3. Анализ показателей эффективности производственной системы при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами ..	44
2.4. Выводы по второй главе	48
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СФОРМИРОВАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ..	49
3.1. Алгоритм технологического процесса при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами	49
3.2. Формирование технологического процесса изготовления детали типа «Рама» при помощи пакета прикладных программ «ТЕМП», являющимся одним из компонентов интегрированной автоматизированной системы	54
3.3. Применение MES-системы «ФОБОС» как одного из компонентов интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами	57

3.4. Оценка ресурсов, необходимых для бесперебойного функционирования технологического процесса при изготовлении деталей	67
3.5. Выводы по третьей главе.....	73
ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СФОРМИРОВАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ ..	74
4.1. Построение контрольной карты Шухарта	74
4.2. FMEA-анализ на примере процесса изготовления детали типа «Рама» без внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами .	80
4.3. Оценка влияния использования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на показатель общей эффективности оборудования.....	99
4.4. FMEA-анализ на примере процесса изготовления детали типа «Рама» с внедрением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами	105
4.5. Выводы по четвертой главе	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	126
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	129
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Таблица FMEA-анализа для технологического процесса изготовления детали типа «Рама» при внедрении КИМ после ответственной операции	141
Приложение Б. Таблица FMEA-анализа для технологического процесса изготовления детали типа «Рама» без внедрения КИМ после ответственной операции	146
Приложение В. Комплект документов на технологический процесс.....	150
Приложение Г. Справка о внедрении результатов исследования, полученных в диссертации.....	162

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В современных реалиях одним из основных аспектов является развитие перспективных технологий в производственных процессах и управленческих системах, что отражено в Программе развития цифровой экономики в Российской Федерации до 2035 года, согласно Распоряжению от 28 июля 2017 года №1632-р.

Одним из актуальных направлений деятельности предприятия является внедрение автоматизированной системы управления производственными процессами на уровне структурных подразделений. Взаимосвязи между функциями предприятия и управляющими производственными системами установлены в положениях ГОСТ Р МЭК 62264-1-2014 (ISA-95), который определяет терминологию и модели, программные функции, физические модели производственных мощностей, производственные, технологические и другие процессы.

В отличие от крупносерийного и массового производства, где компенсация дефицита годных деталей решается за счет небольшого увеличения числа исходных заготовок, в производствах мелкосерийного типа задача своевременной компенсации дефицита до сих пор не решена.

Актуальность темы исследования заключается в создании модели интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами в условиях мелкосерийного производства, разработанной на основе технологического процесса изготовления и контроля параметров деталей после особо ответственной технологической операции (согласно ГОСТ Р 55753-2013) с целью обоснования значения коэффициента качества, входящего в состав общего показателя эффективности использования технологического оборудования, который характеризуется показателем Overall Equipment Effectiveness (OEE). Под качеством в данной работе понимается изготовление в срок заданного количества деталей, соответствующих технической документации (чертежи и планирование).

Степень разработанности проблемы. Вопросам разработки автоматизированных систем управления промышленных предприятий посвящены труды Соломенцева Ю. М., Митрофанова В. Г., Черпакова Б. И., Фролова Е. Б., Схиртладзе А. Г., Базрова Б. М., Загидуллина Р. Р., Хасцаев Б. Д., Кальмана Р., Фраминана Ж. и др.

Вопросы, связанные с разработкой элементов системы производственного планирования и управления технологическими процессами, нашли отражение в работах отечественных и зарубежных ученых, таких как Албагачиев А.Ю., Капитанов А. В., Мезенцев Ю. А., Адлер Ю. П., Смирнов Н. В., Джонсон С. М., О'Лири Д., Шухарт У. и др.

Однако вопрос исследования влияния коэффициента качества на выпуск годной продукции при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при контроле деталей после особо ответственной технологической операции недостаточно изучен.

Целью диссертационной работы является повышение эффективности управления технологическим процессом изготовления годной продукции мелкосерийного производства путем использования интегрированной автоматизированной системы, позволяющей своевременно обнаружить дефектные детали после особо ответственной технологической операции и коррекции текущего производственного расписания.

Для достижения сформулированной цели были поставлены следующие **задачи:**

- анализ существующих автоматизированных систем управления производственными процессами в мелкосерийном производстве;
- выявление связи между обнаружением дефектных деталей после особо ответственной технологической операции и корректировкой производственного расписания, а также установление зависимости между увеличением значения коэффициента качества и своевременной компенсацией дефицита годной продукции;

- разработка модели интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами для компенсации дефицита при обнаружении дефектных деталей в партии и ее формальное описание;
- разработка алгоритма управления производственным процессом в мелкосерийном производстве с учетом выявленных дефектных деталей при последовательном способе организации их движения;
- разработка методических рекомендаций, которые могут быть применены для предприятий с мелкосерийным типом производства, а также в учебном процессе по дисциплине «Управление жизненным циклом изделий» при подготовке магистров по направлениям «Управление качеством в автоматизированных производственных системах», «Интегрированные системы управления цифровыми производствами и предприятиями», «Компьютерное моделирование сложных технических систем», «Методы и средства проектирования производственных систем».

Объект исследования — интегрированная автоматизированная система управления производственными процессами на основе данных контроля с дальнейшей корректировкой производственного расписания.

Предмет исследования — процедура своевременной компенсации дефицита деталей в условиях мелкосерийных машиностроительных производств.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- установлена связь между обнаружением дефектных деталей после особо ответственной технологической операции и корректировкой производственного расписания, а также выявлена зависимость между увеличением значения коэффициента качества и своевременной компенсацией дефицита годной продукции;
- разработана модель интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на основе обработки результатов контроля после особо ответственной технологической операции в целях своевременной компенсации дефицита годной продукции;

– предложен алгоритм управления производственными процессами в интегрированной автоматизированной системе с целью своевременной компенсации дефицита годной продукции при обнаружении дефектных деталей в партии после особо ответственной технологической операции при последовательном способе организации движения.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке оригинальной модели интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами в целях своевременной компенсации дефицита годной продукции с применением высокоточного измерительного оборудования и использованием инструментов MES и системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП).

Практическая значимость исследования состоит в:

– организации интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, направленной на своевременное выявление дефектных деталей после особо ответственной технологической операции и корректировки производственного расписания;

– предложенных методических рекомендациях, которые были применены АО «ЦНИИАГ» и могут быть использованы для других предприятий с мелкосерийным типом производства, а также в учебном процессе по дисциплине «Управление жизненным циклом изделий» при подготовке магистров по программам «Управление качеством в автоматизированных производственных системах», «Интегрированные системы управления цифровыми производствами и предприятиями», «Компьютерное моделирование сложных технических систем», «Методы и средства проектирования производственных систем» ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

Положения, выносимые на защиту:

– структурная схема взаимосвязей управления и функционирования производственных процессов при изготовлении партии деталей на мелкосерийном производстве;

- модель интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на основе анализа результатов контроля после особо ответственной технологической операции в целях своевременной компенсации дефицита годной продукции;
- алгоритм функционирования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами в целях своевременной компенсации дефицита годной продукции при обнаружении дефектных деталей в партии после особо ответственной технологической операции;
- влияние использования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на показатель общей эффективности оборудования.

Методы исследования. В работе использовались методы системного подхода, математической статистики, экспертных оценок и факторного анализа.

Степень достоверности и апробации результатов. Результаты, полученные в диссертационной работе, подтверждаются соответствием экспериментальных и теоретических исследований, а также разработкой оригинальной модели интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на основе результатов контроля после особо ответственной технологической операции.

Основные положения и результаты диссертационного исследования докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях: «International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment (ICMTMTE 2020)», Sevastopol, 07-11 сентября 2020 года; Международная научно-техническая конференция «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении 2020 (ICMTMTE 2020)»; Международная научно-практическая конференция «Актуальные тренды и перспективы развития науки, техники, технологий» Белгород, 30 января 2019 года; Международная научно-техническая конференция «Пром-Инжиниринг», Сочи, 25-29 марта 2019 года; II Всероссийская научно-практическая конференция «Цифровая экономика: оборудование, управление,

человеческий капитал», Вологда, 20 декабря 2019 г.; II Международная молодёжная конференция «Новые подходы и технологии проектирования, производства, испытаний и промышленного дизайна изделий ракетно-космической техники», Москва, 07-09 ноября 2018 года.

Также результаты исследования рекомендовано применять в учебном процессе по дисциплине «Управление жизненным циклом изделий», при подготовке магистров по программам «Управление качеством в автоматизированных производственных системах», «Интегрированные системы управления цифровыми производствами и предприятиями», «Компьютерное моделирование сложных технических систем», «Методы и средства проектирования производственных систем».

Публикации по теме работы. Результаты исследования регулярно публиковались и докладывались на конференциях. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 2 научные работы — в изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, 8 публикаций — в научных журналах и материалах конференции, 1 учебное пособие.

Соответствие паспорту специальности. Научная работа соответствует формуле научной специальности 2.3.3 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» в пунктах 1, 4.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и содержит 163 страницы сквозной нумерации, включая 127 страниц основного текста, 23 страницы приложений, 1 страницу со списком сокращений, 35 Рисунков и 24 Таблицы. Список литературы содержит 90 наименований и занимает 12 страниц.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ И МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

1.1. Постановка задачи эффективного функционирования организации на основе составления производственного расписания с помощью интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Одним из ключевых ресурсов организации процессов является информация. В связи с растущей сложностью технологических процессов, возникает необходимость воспользоваться инструментами автоматизации — методами стратегии Индустрии 4.0. К таким инструментам относятся системы автоматизированного проектирования и управления организацией, например, такие как MES, ERP, CAD, PDM, CAE, CAM, SCADA и др. Эти инструменты призваны решать различные задачи функционирования организации, начиная от задач логистики и проектирования, до задач идентификации элементов изделия при его изготовлении. Одной из таких задач является планирование оптимальной загрузки оборудования в организации.

MES-система предназначена для управления дискретным машиностроительным производством и ориентирована на оптимизацию внутрицеховых материальных потоков при наличии большой номенклатуры изготавливаемых изделий. Такие системы выполняют постоянное имитационное моделирование перемещения материальных потоков внутри организации в соответствии с технологическими маршрутами, задачами данной системы являются операционное планирование и управление. MES-система оперирует данными о продолжительности технологических операций и с помощью определённых алгоритмов, рассчитывает загрузку оборудования так, чтобы минимизировать его простои и достичь максимальной эффективности его

использования. Отметим, что эвристические алгоритмы расчета производственных расписаний являются ядром MES-систем и охраняются в режиме ноу-хау.

Применение MES-систем в качестве специализированного промышленного обеспечения дает возможность повысить фондоотдачу технологического оборудования, тем самым увеличить общую эффективность станочного парка. Главной задачей MES является обеспечить постоянную занятость рабочего. Отметим, что MES-системы применяются для станочного оборудования, позволяя наглядно контролировать процесс производства в визуальной форме с помощью диаграммы Ганта путем получения адекватной и актуальной информации [6]. Существует возможность также получать полную информацию об используемом оборудовании, контролировать его износ и количество часов в эксплуатации, износ режущего инструмента, расход смазывающе-охлаждающей жидкости. Без применения автоматизированных систем управления производством часто возникают ситуации неэффективной загрузки и, как следствие, неэффективного использования оборудования [28]. Например, доля времени, в течение которого наблюдался простой производственного оборудования на предприятиях РФ, в периоды перестройки доходили до 40% и более.

MES-системы нашли свое применение для расчёта оптимального производственного расписания и загрузки станочного оборудования. В процессе функционирования технологических процессов, может возникнуть ситуация, когда станочное или измерительное оборудование выходит из строя. Простои технологического оборудования негативно сказываются на работе различных служб организации, напрямую не связанных с производством продукции, например, при контроле параметров деталей. В этом случае, MES-система получает информацию о таком оборудовании, о тех операциях, которые на нем выполнялись, и в автоматическом режиме перераспределяет материальные потоки так, чтобы минимизировать негативный эффект от неработающего оборудования, как представлено на Рисунке 1.

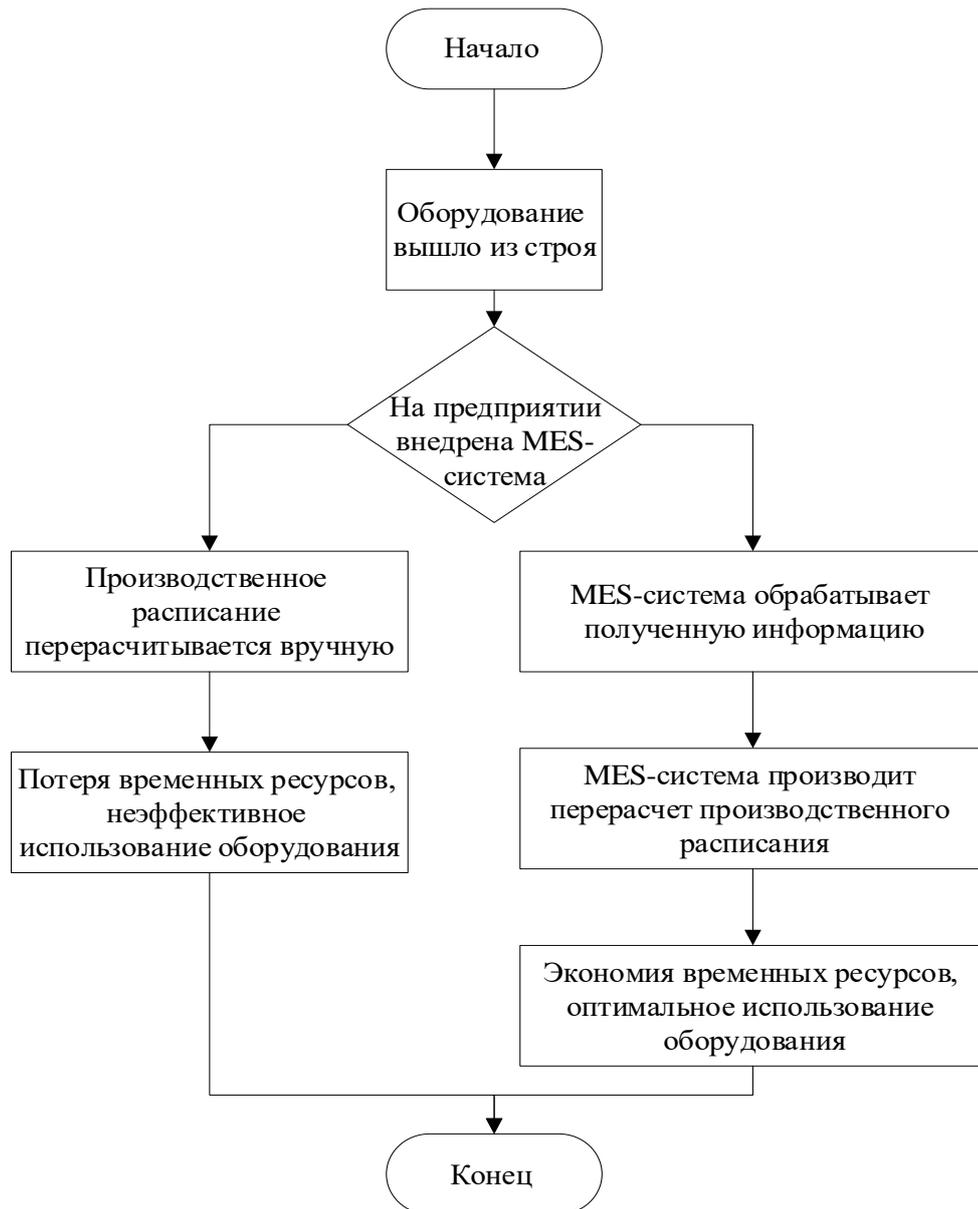


Рисунок 1 — Алгоритм сравнения действий при выходе оборудования из строя

В задачах управления мелкосерийным производством, к которому относится более 70% всех машиностроительных предприятий в мире, имеется одна особенность: низкая скорость исполнения заказов и относительно высокий уровень незавершённого производства [46]. Согласно мировой статистики в производствах подобного типа, не применяющих специальных программных решений, показатель эффективности использования технологического оборудования не превышает значения 45%, то есть пропускная способность станочной системы в таких производствах составляет половину от теоретического максимума. Откуда следует, что скорость прохождения производственных заказов

фактически в два раза ниже потенциально возможной и для дозагрузки оборудования предприятия вынуждены увеличивать объёмы своего незавершенного производства. Общепринято, что оптимальным достижимым значением показателя эффективности использования технологического оборудования является 85%, а хорошим результатом можно считать значение 65—70% [60]. Показатель эффективности использования технологического оборудования состоит из трех составляющих, таких как коэффициент времени, коэффициент производительности и коэффициент качества.

С другой стороны, попытка просто увеличить показатель эффективности использования технологического оборудования приводит к значительному снижению скорости исполнения заказов, которая характеризуется показателем МСЕ, и, как следствие, — низкая производительность труда на производстве. Многокритериальная оптимизация, реализованная в MES-системах, позволяет обеспечить эффективный баланс показателя эффективности использования технологического оборудования и МСЕ, т.е. одновременное максимально возможное увеличение этих показателей.

Таким образом, MES-системы обеспечивают планирование и управление производством с учётом обеспечения эффективного баланса показателя эффективности использования технологического оборудования и коэффициента МСЕ.

На производстве возникают ситуации, когда в процессе изготовления продукции вследствие различных несоответствий конструкторской документации изготавливаются дефектные детали. В этом случае при внедрении высокоточного измерительного оборудования после ответственных операций, необходимо определить степень дефекта. Если дефект является неустраняемым, то необходимо произвести дополнительное количество деталей. Если же дефект устраняемый, необходимо определить технологическую операцию, на которой его устранят. «В любом из этих случаев, производится коррекция производственного расписания. Однако даже в условиях мелкосерийного производства произвести коррекцию производственного расписания и при этом оптимально загрузить используемое

для изготовления и контроля технологическое и измерительное оборудование без помощи специализированных программных инструментов (MES-системы) не представляется возможным» [61, 69].

Таким образом, применение MES позволяет:

- без дополнительных вложений в производственный процесс увеличить скорости исполнения заказов;
- повысить исполнения заданных сроков производственных заказов за счет своевременной компенсации дефектных деталей;
- за счёт повышения показателя общей эффективности оборудования на 25—45 % увеличить фондоотдачу технологического оборудования;
- за счёт сокращения временных ресурсов снизить простой технологического оборудования, что позволяет понизить себестоимость изделий;
- своевременно обнаружить несоответствующую продукцию для дальнейшей коррекции производственного расписания и сдачи изделий в срок согласно нормативно-технической документации [52].

Из вышесказанного следует, что необходимо разработать интегрированную автоматизированную систему управления производственными процессами при изготовлении партии деталей при мелкосерийном производстве путем внедрения измерительного оборудования в MES-систему для контроля параметров деталей после особо ответственной технологической операции [43, 61].

На данный момент применение интегрированных автоматизированных систем управления производственными процессами, которые получают и обрабатывают информацию от различных компонентов (оборудования, производственных систем) в условиях мелкосерийного производства развито слабо [46, 56]. Следовательно, технологические процессы в этом случае часто подвержены простоям и оборудование может использоваться нерационально. Если в результате контроля какой-либо партии деталей был обнаружен дефект, то показатель ОЕЕ не достигает оптимального достижимого значения. В случае если обнаружение дефекта происходит после производства партии, то требуется

производить дополнительное количество деталей взамен дефектных, следовательно, сроки выпуска всей партии зависят от оперативности изготовления таких дополнительных деталей и часто оказываются под угрозой срыва. Вследствие этого эффективность функционирования технологических процессов, и, как следствие, всей организации, падает [20]. Актуальным решением является применение автоматизированных систем управления организацией и, в частности, автоматизация определённых производственных процессов, например, таких, как коррекция производственного расписания на основе информации о количестве негодных деталей после особо ответственных технологических операций, определяемых технологом. Управление технологическим процессом становится все более сложным и необходимостью изготовления продукции согласно определенным в нормативно-технической документации требованиям, а также большим количеством изменяющихся параметров и критериев.

1.2. Аналитический обзор существующих систем управления производственными процессами

Исследованиям вопросов повышения эффективности функционирования организации путем внедрения автоматизированных систем управления производством посвящено большое количество научно-исследовательских работ и диссертаций. Первые упоминания в мировой и отечественной научно-технической литературе об автоматизированных системах планирования оптимальной загрузки оборудования датированы концом 30-х годов двадцатого века. Однако из-за отсутствия мощных электронно-вычислительных машин (ЭВМ) на тот момент эти идеи не получили должного развития. С началом применения ЭВМ системы, решающие задачи оптимальной загрузки оборудования, получили новый импульс к развитию. Появилась возможность решать задачи загрузки цехового и лабораторного оборудования с помощью

средств автоматизации. С появлением все более мощных компьютерных средств функции автоматизированных систем управления стали более разнообразными, однако, главной задачей и сегодня является оптимизация и составления плана работ.

MES-система — специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства. Основные 11 функций MES-системы описаны в модели MESA-11. Указанная модель в 1994 году была определена Международной ассоциацией производителей и пользователей систем управления производством (MESA International). К основным функциям относятся контроль состояния и распределение ресурсов, управление качеством продукции, управление документами, отслеживание истории продукта, анализ производительности, сбор и хранение данных, управление производственными фондами, управление персоналом, управление производственными процессами и оперативное/детальное планирование.

Затем в 2004 году была предложена модель c-MES (collaborative Manufacturing Execution System), которая большее внимание уделяет обмену информацией о процессах не между уровнями одной и той же системы, а между несколькими системами. Она обеспечивает совместную работу с информацией о процессах и цепочках поставок [20].

Рассматривая существующие системы планирования производственного расписания, можно отметить, что одной из наиболее распространенных систем на российском рынке является российская система «ФОБОС». Такая система решает задачи организации и технологической подготовки производства. По средствам расчета оптимального производственного расписания производится оперативное планирование и диспетчерский контроль прохождения заказов. MES-система «ФОБОС» позволяет моделировать большое количество производственных ситуаций. Указанная система предоставляет возможность работать с четырьмя уровнями оптимизации и четырьмя степенями уплотнения расписания. Она

осуществляет комплексный мониторинг состояния производственных заказов в режиме реального времени, ведет оперативный учет возникающих простоев операций механообработки в каждом технологическом процессе, осуществляет оперативный производственный контроль выполнения заказов [32].

Можно выделить еще отечественную MES-систему PolyPlan. Эта система позволяет производить оперативно-календарное планирование цеха и формировать оперативные планы-графики функционирования оборудования. Она составляет производственное расписание по различному составу критериев и предоставляет возможность существенно снизить временные потери [20, 21].

Система такого типа позволяет формировать диаграмму Ганта и оценивать выполнение производственного плана с помощью мультипроектной идеологии. Кроме того, существует возможность выбора критериев планирования, благодаря чему появляется возможность за короткий промежуток времени выбрать вариант с наиболее оптимальным расписанием. При формировании производственного расписаний появляется возможность настройки алгоритма оптимизации и глубины его поиска.

Еще одним российским продуктом является автоматизированная система коррекции производственного расписания «1С: Предприятие MES Оперативное управление производством». Данная система осуществляет решения оперативных производственных задач, позволяет формировать оптимизированный по определённым критериям оперативный пооперационный производственный план, с учетом ограничений (доступности производственных ресурсов, условий следования операций) [73]. Повышение эффективности технологического оборудования и технико-экономических показателей производственных процессов достигается за счет снижения времени выполнения заказов путем рациональной загрузки оборудования [89]. Основными задачами, которые решает указанная система, являются:

- создание и обработка производственного расписания;
- отслеживание операций технологического процесса и сроков исполнения заказов;

– отслеживание отклонений от заданного графика, оперативный контроль производства и перерасчет расписания.

В данной системе объектом планирования являются технологические операции. Такие операции хранят информацию о нормативных сроках исполнения и данные для их анализа. Для размещения технологических операций в виде диаграммы Ганта используются механизмы оперативного планирования производства.

Если рассматривать зарубежные программные средства автоматизированного расчета производственного расписания, то можно отметить две системы: Ortems (Франция) и Preactor (Siemens).

Ortems собирает данные о производственных операциях, оборудовании и их маршрутах и описывает информацию о технологических заказах. Данная система дает возможность формировать производственное расписание, учитывая различные критерии и сопоставлять реальную производственную ситуацию с поставленными целями. При изменениях в производственном расписании, вносимых сотрудником предприятия, система проводит проверку правомочности таких действий и моделирует ситуацию изменения плана в случае принятия изменений. Пользователь своевременно получает информацию о всех изменениях в технологическом процессе [75].

Preactor — это автоматизированная система планирования производства, позволяющая своевременно анализировать и корректировать производственное расписание. После автоматизированного расчета, пользователь имеет возможность внести какие-либо изменения вручную. Такой подход позволяет учитывать специфику организации, в которой внедряется данная система и обеспечивает создание реальных производственных расписаний. Система позволяет повысить приоритет срочных заказов, произвести коррекцию производственного расписания в случае поломок, простоев и оптимально загрузить технологическое оборудование.

Preactor дает возможность передавать отчеты и информацию о состоянии технологического оборудования из главной системы в подсистему, например, эти

данные могут применяться в плановом отделе. Такая подсистема дает возможность начальникам цехов в режиме реального времени с помощью компьютера наблюдать производственное расписание [76].

Для оценки рассматриваемых MES-систем в данной работе экспертным путем с помощью метода баллов были выявлены весовые критерии, приведенные в Таблице 1.

Таблица 1 — Метод балльных оценок сравнения критериев рассматриваемых MES-систем

Объекты Критерии	Коэффициент весомости	MES- система «ФОБОС»	MES- система «PolyPlan»	1С: Предприятие MES Оперативное управление производством	Preactor	Ortems
Функциональная полнота системы	0,124	5	4	4	5	4
Универсальность	0,124	4	3	4	2	3
Простота обслуживания	0,123	3	2	3	3	4
Доступность	0,123	5	4	5	4	4
Стоимость	0,128	5	5	4	3	3
Адаптированность к российским условиям производства	0,128	5	5	5	3	3
Оперативность перерасчета производственного расписания	0,127	5	4	4	4	4
Возможность модернизации интеграции	0,123	4	4	4	5	3
Сумма	1	36	31	33	29	28
Значение оценки объекта исходя из коэффициентов весомости	-	4,507	3,886	4,128	3,62	3,005
Ранг	-	1	3	2	4	5

На основании экспертных оценок, используя метод баллов можно установить, что наиболее высокое значение оценки объекта, исходя из коэффициента весомости критериев, получила MES-система ФОБОС.

1.2.1. Принципы применения автоматизированных систем управления производственными процессами

Отметим, что требования заказчика оказывают значительное влияние на процесс внедрения автоматизированных систем (в том числе и осуществляющих расчет производственного расписания) в деятельность предприятия. Таким образом, выбор конкретной системы является прерогативой менеджмента предприятия.

«К принципам, на которых базируются теоретические основы построения системы автоматизированных систем расчета производственного расписания относятся:

- коррекция производственного расписания исходя из складывающейся на предприятии производственной ситуации;
- поставка сырья на технологические линии точно в срок согласно стратегии «Just-in-Time» (снижение запасов на складе, повышение оперативности производства);
- повышение коэффициента загрузки оборудования (уменьшение времени простоя, оптимизация времени на вспомогательные операции);
- значительное повышение производительности оборудования (увеличение выпуска продукции на оборудовании, приводящее к повышению его рентабельности);
- комплексное снижение затрат на производство.

Результатом всех вышеперечисленных составляющих является получение конкурентных преимуществ»* [59]. Каждая организация решает задачу внедрения по-своему:

* Фролов, Е. Б. MES-системы. Критерии, которые мы выбираем. / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // публикация на интернет-сайте MES «ФОБОС» — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/mes-sistemyi.-kriterii-kotoryie-my-i-vyibiraem.html>, свободный.

– ответственные сотрудники сами выбирают систему автоматизированного расчета производственного расписания из представленных на рынке вариантов и самостоятельно производят имплементацию выбранной системы на производстве;

– после самостоятельного выбора сотрудниками организации поставщик системы производит внедрение своего продукта в деятельность предприятия, однако дальнейшее его сопровождение находится в зоне ответственности сотрудников организации;

– после внедрения осуществляется не только техническая поддержка, но и долгосрочное сопровождение продукта.

На основании вышеперечисленного можно отметить, что при выборе системы автоматизированного расчета производственного расписания необходимо учитывать оборудование, используемое в организации, характеристики выпускаемой продукции, сложность технологических процессов производства, объем производства.

1.2.2. Опыт внедрения автоматизированных систем управления производственными процессами

Несмотря на то что принципы рабочих технологических процессов на предприятиях машиностроительной сферы в целом похожи, каждая организация имеет свои индивидуальные особенности. Таким образом, при внедрении автоматизированной системы оптимальной загрузки оборудования необходимо учитывать концепцию построения технологических процессов конкретной организации. В свою очередь, каждая организация подбирает систему исходя из своих потребностей. На технологические процессы, которые подвергаются автоматизации, влияет номенклатура станочного оборудования, степень загруженности оборудования и всей технологической линии, логистика внутри производства, степень влияния работы конкретной линии на общий результат

работы организации. Для предприятий мелкосерийного типа производства, с последовательным типом перемещения деталей, применение MES-систем является актуальным, так как в организациях такого типа отсутствуют заделы, что накладывает определенные требования к организации производственных процессов и оперативности перерасчета производственного расписания исходя их складывающейся оперативной ситуации.

«Внедрение MES-систем позволяет получить значительный положительный результат функционирования различных процессов организации, и, как следствие, позволяет повысить конкурентоспособность производства. Однако для получения необходимого положительного эффекта при внедрении MES-системы в организации, необходимо учитывать характеристики и количество выпускаемой продукции, количество и характеристики станочного оборудования, степень его использования. Применение MES-систем дает возможность составлять и своевременно корректировать производственные расписания, что, в свою очередь, позволяет более точно определить фактическую себестоимость изготовления как каждой отдельной детали, так и всего изделия в целом.

Применение систем такого типа дает преимущества, связанные с повышением прозрачности и наглядности информации об индивидуальной и общей эффективности работы организации. MES-система выступает как инструмент оперативного измерения эффективности технических и организационных изменений в производстве, что позволяет экономить время на анализ и принятие управленческих решений. Также данный инструмент позволяет сократить простои оборудования, средств технологического оснащения и производственного персонала в ожидании поступления компонентов технологического сбора»*[48].

* Схиртладзе А. Г. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 1: учебник для среднего профессионального образования / А. Г. Схиртладзе [и др.]; под общей редакцией Н. А. Чемборисова. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 263 с. — ISBN 978-5-534-02278-0.

1.2.3. Преимущества методов автоматизированной системы управления производственными процессами в организации

Без должного развития средств ЭВМ применение методов перерасчета производственного расписания было затруднено. В начале 20 века одним из первых способов оптимизировать производственную деятельность предприятия являлась диаграмма Ганта — первая модель, которая была предложена Генри Гантом в 1910 году.

Первые вычислительные машины внесли значительный вклад в области математической экономики и планирования производства [25]. Однако без применения систем типа MES эффективность планирования оставалась достаточно невысокой.

Внедрение MES систем дает ряд преимуществ организации, в которой она применяется, например, появляется возможность отслеживать состояние производственных мощностей в данный момент времени. Уполномоченные сотрудники получают актуальную информацию о состоянии средств производства, о выходе оборудования из строя, о времени исполнения того или иного заказа. На основе таких данных появляется возможность оперативно принимать эффективные управленческие решения.

Также MES-система осуществляет сбор производственной информации, такая информация дает возможность повысить прозрачность функционирования производственных линий, повышает адекватность и оперативность информации. В этой связи необходимо обеспечить безопасность передачи данных, так как искажение информации при передаче может привести к неверному расчету производственного расписания.

MES-система предоставляет данные о количестве доступного оборудования, количестве сырья, рассчитывает сроки производства исходя из определенных критериев [39]. Кроме того, MES-система обеспечивает связь между работниками и технологическим оборудованием в рамках цеха [60].

При изменении каких-либо из вышеперечисленных параметров MES-система в автоматизированном режиме позволяет корректировать оптимальную загрузку оборудования, и составить производственное расписание исходя из изменяющейся производственной ситуации [46].

В настоящий момент, когда сложность производственных процессов возрастает, номенклатура производимой продукции постоянно увеличивается, происходит внедрение новых станков и другого современного оборудования, а условия рынка постоянно изменяются, с задачей коррекции производственного расписания на производстве справится без помощи определённых автоматизированных систем практически невозможно [25].

1.3. Системно-целевой подход к созданию и внедрению интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при контроле деталей после особо ответственной технологической операции

Философия развития интегрированной автоматизированной системы коррекции производственного расписания, в том числе системы оптимальной загрузки оборудования, предполагает интеграцию и взаимодействие различных сложных компонентов, которые должны обеспечить надежное и непрерывное функционирование всей системы [54].

Такие факторы как многообразие задач и необходимость обеспечения пользователя соответствующей и актуальной информацией, взаимодействие с внешней средой и внутренней средой предприятия, распределенность элементов, входящих в систему, сложность современных производственных процессов, требуют применения определенных научных методов исследования, с помощью которых появляется возможность исследовать и внедрить интегрированную автоматизированную систему управления производственными процессами на действующее мелкосерийное производство [30].

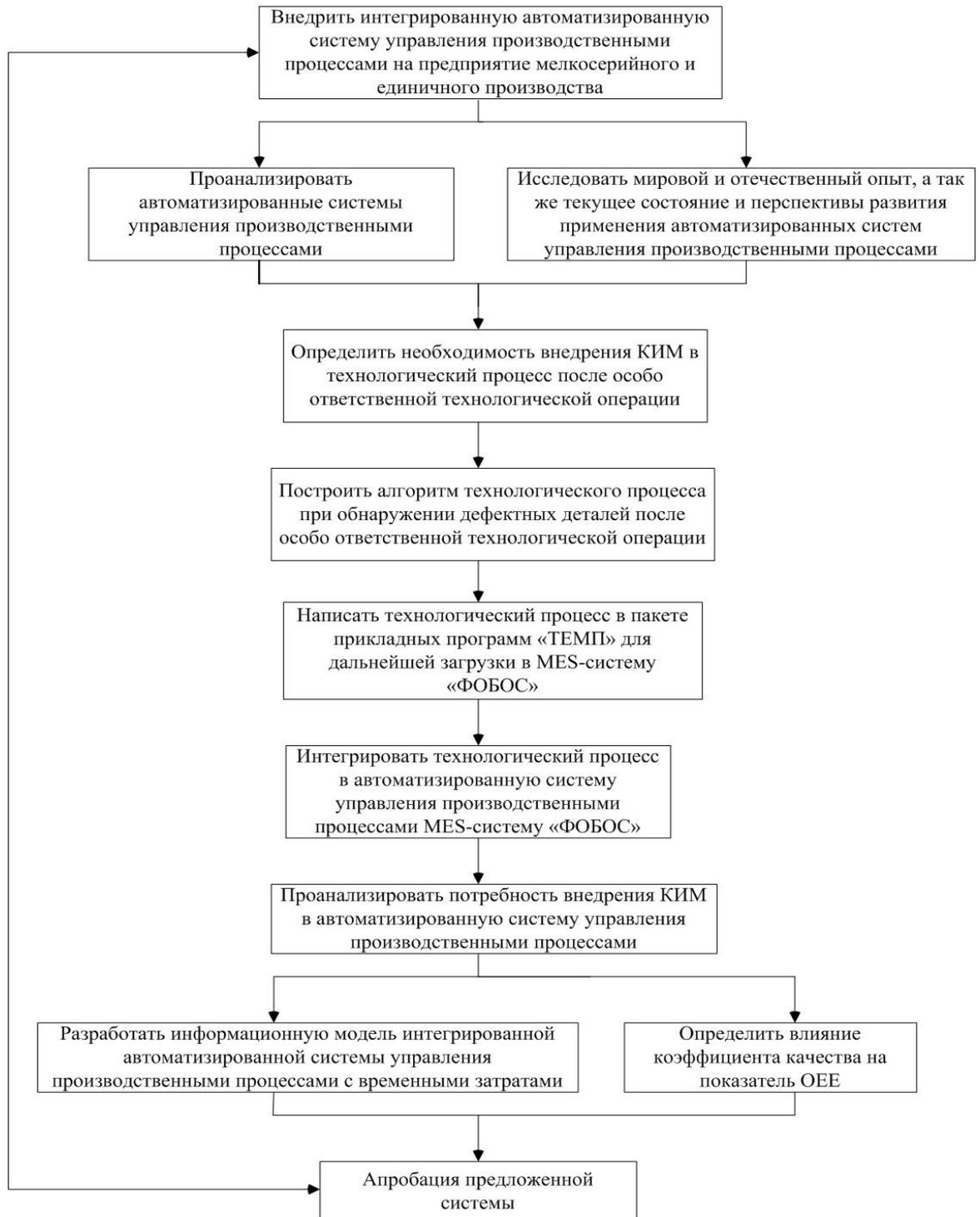


Рисунок 2 — Схема последовательности внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на предприятии мелкосерийного производства

На Рисунке 2 представлены основные элементы концептуальной модели внедрения такой системы в организацию, характеризующуюся выпуском мелкосерийной продукции с последовательным типом производства.

Представленная схема последовательности внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами позволяет четко визуализировать порядок действий, выявляет взаимосвязи между ними.

Для внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, на первом этапе необходимо выявить задачи, которые могут быть решены при внедрении указанной системы. Далее следует исследовать мировой и отечественный опыт на основании анализа литературных источников, а также текущее состояние и перспективы развития автоматизированных систем управления производственными процессами.

Кроме того, следует провести анализ существующих автоматизированных систем управления производственными процессами как отечественных, так и зарубежных разработок, присутствующих на российском рынке. Затем, необходимо разработать информационную модель интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами с временными затратами с учетом последовательного метода производства продукции на предприятии. На основе разработанной модели необходимо смоделировать производственную ситуацию обнаружения дефектных деталей после особо ответственной технологической операции и определить влияние коэффициента качества на показатель общей эффективности оборудования ОЕЕ.

Следующий шаг характеризуется построением информационной модели в виде алгоритма технологического процесса при обнаружении дефектных деталей после особо ответственной технологической операции. Далее следует разработать технологический процесс в системе автоматизированного проектирования технологических процессов «ТЕМП» и интегрировать его в автоматизированную систему управления производственными процессами MES-систему «ФОБОС». Для визуализации связей элементов разработанной системы рассматриваемый в работе технологический процесс изготовления деталей на предприятии, характеризующемся мелкосерийным типом производства с последовательным способом производства продукции представлен при помощи средств

функционального моделирования. На основе вышесказанного, необходимо провести анализ повышения эффективности технологического процесса на основе применения сформированной интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами. Данный анализ основывается на применении инструментов качества и оценки изменения показателя качества, входящего в состав общего показателя эффективности оборудования.

В результате появляется возможность провести апробацию внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами в условиях практики.

1.4. Выводы по первой главе

1. На основе проведенного анализа существующих MES-систем было определено, что применение таких систем обеспечивает эффективность автоматизированной коррекции производственного расписания и оптимальной загрузки оборудования для мелкосерийного производства.

2. Особенности и принципы внедрения автоматизированных систем управления производственными процессами на предприятиях машиностроительного профиля заключаются в том, что коррекция производственного расписания производится исходя из складывающейся на предприятии производственной ситуации, повышается коэффициент загрузки оборудования и его производительности.

3. Применение MES-системы позволяет обеспечить эффективный баланс показателей OEE и MCE, т.е. одновременное максимально возможное увеличение этих показателей.

4. Схема последовательности внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на предприятии мелкосерийного производства может быть сформирована для однозначной визуализации порядка действий и выявления взаимосвязи между ними.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

2.1. Модель информационных потоков интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при обнаружении дефектных деталей в партии после особо ответственной технологической операции

Метод воспроизведения и исследования определённого фрагмента действительности (предмета, явления, процесса, ситуации) или управления им, основанный на представлении объекта с помощью модели называется моделированием. Его применение обосновано тем, что модель позволяет исследовать интересующие свойства объекта, не используя при этом сам реальный объект. Это важно в том случае, если объект недоступен для проведения какого-либо эксперимента, либо его проведение сопряжено с определенным рода рисками, в том числе и финансовыми. Еще одно преимущество моделирования заключается в том, что модель допускается разрабатывать в той степени подробности, которая необходима для объективных результатов эксперимента. Незначительные, с точки зрения эксперимента, детали допускается не прорабатывать вовсе. В этой связи, при построении модели, важным является проведение рационального упрощения оригинала с сохранением всех свойств, оказывающих то или иное влияние на объект исследования [90].

Обобщенная схема интегрированной автоматизированной системы управления производственными заказами представлена на Рисунке 3. При функционировании производственного предприятия генерируется информация о состоянии заказа, которая передается в систему управления производственными заказами, которая производит корректировку производственного расписания. Исходя из произведенной корректировки, происходит обеспечение ресурсами для

дальнейшего функционирования предприятия [9]. На выход системы поступают выполненные заказы.

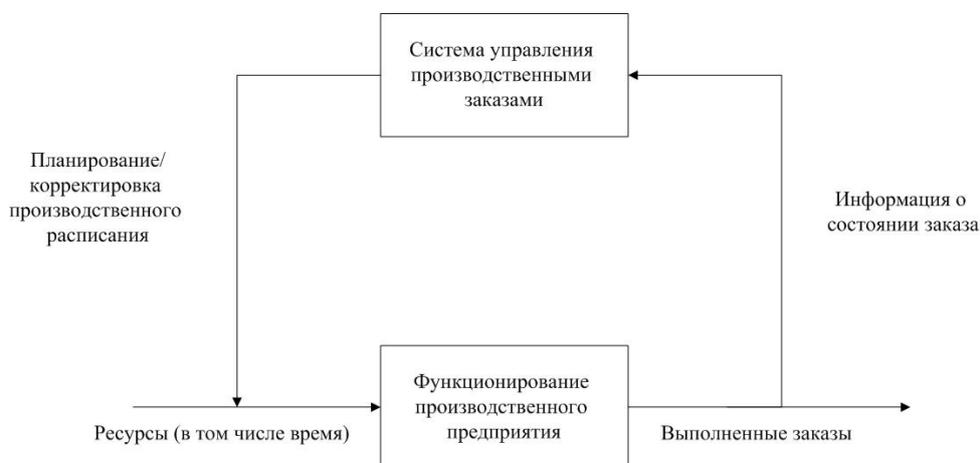


Рисунок 3 — Обобщенная схема интегрированной системы управления производственными заказами

Структурная схема взаимосвязей управления и функционирования производственных процессов при изготовлении партии деталей на мелкосерийном производстве приведена на Рисунке 4. Она состоит из системы управления производственными заказами, в которой описываются блоки управления, обеспечения и проектирования заказа, а также системы функционирования, в которой описываются блоки изготовления, обеспечения ресурсами и проектирования заказа.

Компонент проектирования заказа (ФП) описывает составление технологического процесса при помощи САПР ТП. Входом для него является задание на выполнение заказа, поступающее из внешней среды, а выходом — спроектированный технологический процесс. Данный процесс оказывает влияние и является входом для компонента обеспечения ресурсами заказа (ФР), который описывает используемое оборудование, сырье и электроэнергию. Выходом для данного компонента являются установленные требования к ресурсам, необходимым для реализации изготовления заказа. В свою очередь, компонент изготовления заказа (ФМ) характеризует непосредственно процесс изготовления партии деталей — технологические операции, их последовательность и

длительность. Выходом компонента является готовый заказ, передаваемый во внешнюю среду.

На каждый из описанных компонентов оказывает влияние соответствующий компонент системы управления производственными процессами. Компонент управления проектом заказа характеризует процесс возможного изменения технологического процесса исходя из потенциальной необходимости (закупка нового оборудования, необходимость перепланировки цеха и т. д.). Компонент управления обеспечением заказа (УР) характеризует возможность изменять посредством MES-системы количество ресурсов (в том числе количество используемого оборудования), необходимых для реализации изготовления заказа. Наконец, компонент управления изготовлением заказа (УМ) характеризует возможность перерасчета при помощи MES-системы производственное расписание исходя из складывающейся производственной ситуации (в том числе и при обнаружении дефектных деталей в изготавливаемой партии после особо ответственной технологической операции). Каждый компонент получает обратную связь от соответствующих компонентов функционирования.

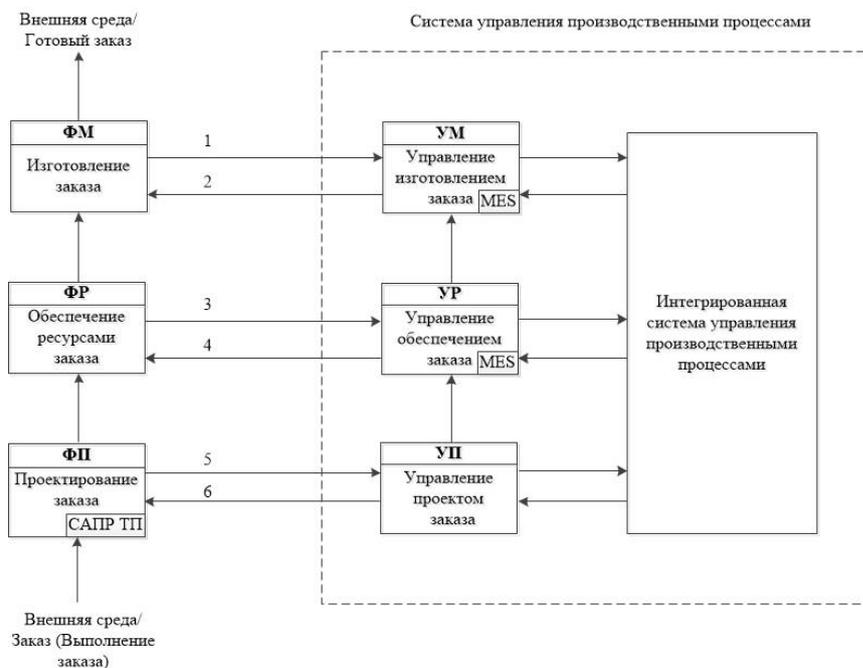


Рисунок 4 — Структурная схема взаимосвязей управления и функционирования производственных процессов при изготовлении партии деталей на мелкосерийном производстве

На Рисунке 4:

- 1 — информация о состоянии изготовления и контроля партии деталей после особо ответственной технологической операции;
- 2 — информация о корректировке производственного расписания;
- 3 — информация о состоянии обеспеченности ресурсами при получении заказа на изготовление партии деталей;
- 4 — информация о корректировке планов обеспеченности заказов (требуемые сроки по требуемым видам ресурсов);
- 5 — информация о состоянии проектирования заказа;
- 6 — информация о корректировке технологического процесса;
- ФМ — компонент, характеризующий функцию изготовления заказа;
- ФР — компонент, характеризующий функцию обеспечения ресурсами заказа;
- ФП — компонент, характеризующий функцию проектирования заказа;
- УМ — компонент, характеризующий управление изготовлением заказа;
- УР — компонент, характеризующий управление обеспечением заказа;
- УП — компонент, характеризующий управление проектом заказа.

Для рассмотрения и оценки взаимосвязи совокупностей представленных в структурной схеме элементов и описания связей со внешней средой, обратной связи, а также выходов и входов системы применяется такой вид подхода, как системный. В системном подходе рассматривается комплекс взаимосвязанных элементов [48]. Элементы системы, описывающие производственные процессы в мелкосерийном производстве, являются неоднородными, что приводит к выделению разных множеств [8]. В общем виде формальное описание системы в аспекте функционирования при изготовлении партии деталей на мелкосерийном производстве можно представить, согласно формуле [49]:

$$L_1^\phi = \langle z^\phi, a^\phi, q(z^\phi), q(a^\phi), O_1^\phi \rangle, \quad (1)$$

где z^ϕ — структура процесса функционирования; a^ϕ — множество входных и выходных объектов, участвующих в процессе функционирования при изготовлении партии деталей; $q(z^\phi)$ — множество различных свойств, описывающих элементы структуры технологического процесса; $q(a^\phi)$ — множество различных свойств, описывающих множество входных и выходных объектов, участвующих в процессе функционирования при изготовлении партии деталей; O_1^ϕ — множество связей между компонентами системы L_1^ϕ .

При анализе системы нужно также учитывать и окружающие условия, влияющие на нее, такие как электроснабжение предприятия, сроки, установленные заказчиком, поставка сырья и т. д. Для этого формально опишем рассматриваемую систему и окружающие условия. Формальное описание системы с учетом окружающих условий принимает вид согласно формуле [8]:

$$L_2^\phi = \langle L_1^\phi, \Theta^\phi, O_2^\phi \rangle, \quad (2)$$

где Θ^ϕ — окружающие условия функционирования, O_2^ϕ — множество связей между компонентами системы и окружающие условия.

Если формально описывать систему с точки зрения управления, то формула будет иметь вид [8]:

$$L_1^y = \langle z^y, a^y, q(z^y), q(a^y), O_1^y \rangle, \quad (3)$$

где z^y — структура управления технологическим процессом; a^y — множество входных и выходных объектов; $q(z^y)$ — множество различных свойств, описывающих элементы структуры управления технологического процесса; $q(a^y)$ — множество различных свойств, описывающие множество участвующих в процессе управления объектов; O_1^y — множество связей между компонентами системы.

В аспекте управления формальное описание системы с учетом окружающих условий управления можно представить следующим образом согласно формуле 4:

$$L_2^y = \langle L_1^y, \Theta^y, O_2^y \rangle, \quad (4)$$

где Θ^y — окружающие условия, O^y — множество связей между

компонентами системы и окружающие условия управления.

Технологический процесс изготовления деталей на предприятии мелкосерийного типа производства с последовательным способом организации движения деталей подвержен влиянию различных временных потерь (затрат). Для того чтобы оценить, на каких этапах технологического процесса они возникают, а также рассмотреть взаимосвязь компонентов интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, разработаем модель информационных потоков рассматриваемой системы, представленную на Рисунке 5,

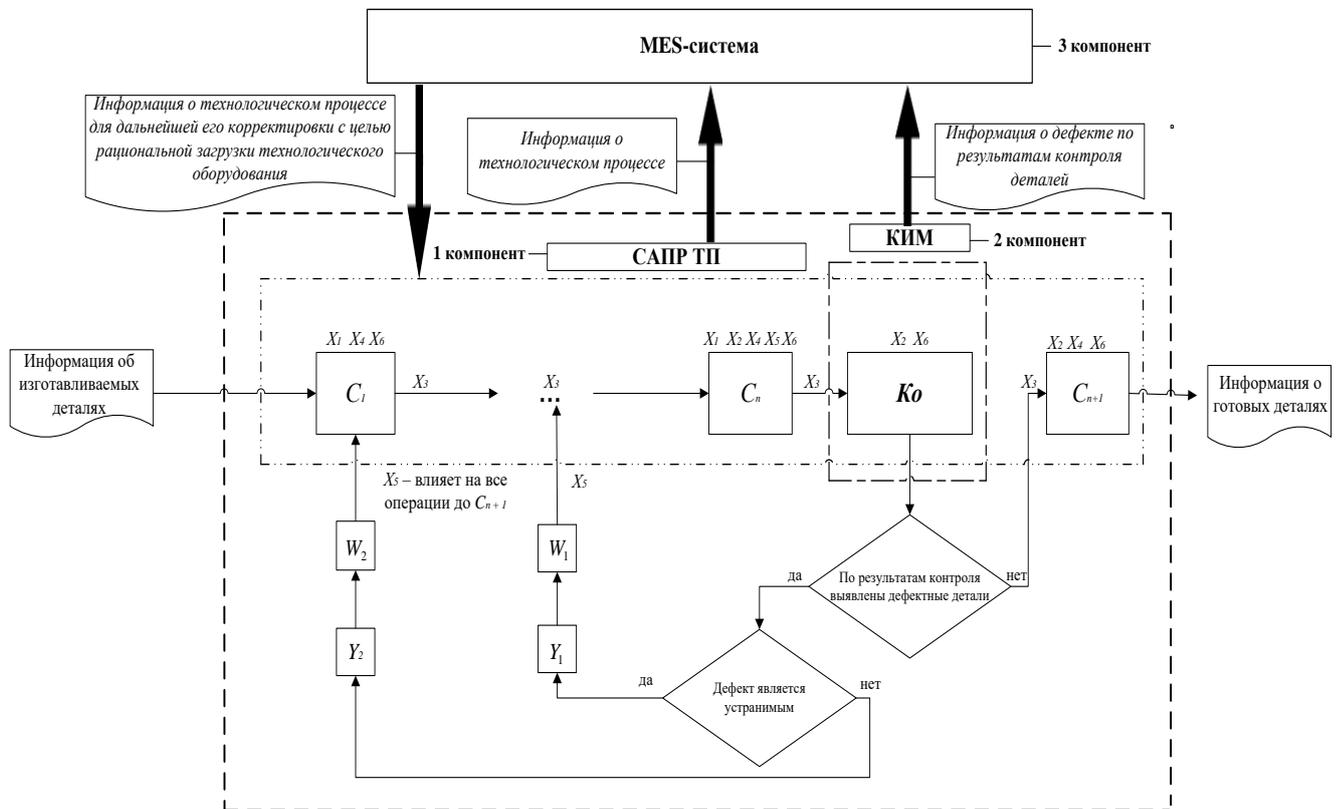


Рисунок 5 — Модель информационных потоков интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

где X_1 — $t_{пре_{гk}}$ информация о затратах времени, связанная с наличием переналадочных операций технологического оборудования во время поступления новых операций над партиями деталей (позиция ФМ на Рисунке 4);

X_2 — $t_{пре_{гk}}^{\Sigma}$ информация о временных потерях (затратах), образующихся из-за

ожидания партий деталей, обрабатываемых в текущий момент времени на предыдущей операции (позиция 1 на Рисунке 4); X_3 — $t_{nd_{e_{rgk}}}$ информация о затратах времени, образующихся в связи с перемещением деталей между технологическим оборудованием (позиция 1 на Рисунке 4); X_4 — $t_{nce_{rgk}}$ информация о временных потерях (затратах), связанных с обеспечением сырья, оснастки и инструмента (позиция ФР на Рисунке 4); X_5 — $t_{дефе_{rgk}}$ — информация о временных потерях (затратах), связанных с устранением дефектных деталей (позиция 1,2 на Рисунке 4); X_6 — $t_{онде_{rgk}}$ — информация о времени обработки или измерения партии деталей на k -ом станке или высокоточном измерительном оборудовании (позиция 5, 6 на Рисунке 4); w_1 — перерасчет производственного расписания в случае, если дефект устраним (позиция 2 на Рисунке 4); w_2 — перерасчет производственного расписания в случае, если дефект неустраним (позиция 2 на Рисунке 4); Y_1 — информация о устранимом дефекте (позиция 1 на Рисунке 4); Y_2 — информация о неустранимом дефекте (позиция 1 на Рисунке 4); КИМ — координатно-измерительная машина (позиция ФМ на Рисунке 4); C_1 — информация о технологических операциях (позиция ФП на Рисунке 4); C_n — информация об особо ответственной технологической операции (позиция ФМ на Рисунке 4); C_{n+1} — информация о следующих операциях после контрольной (позиция ФП на Рисунке 4), K_0 — контрольная операция (позиция ФМ на Рисунке 4).

В указанную систему интегрируется информация о технологическом процессе из САПР ТП и информация о параметрах деталей от измерительного оборудования в том числе от координатно-измерительной машины. Если детали являются годными, то информация об этом передается далее на следующую операцию технологического процесса. Если же детали являются дефектными, то определяется степень ее дефекта. Если имеется возможность доработать деталь, то дефект является устранимым, если такой возможности нет, дефект является неустранимым. В случае если дефект является устранимым, то деталь

отправляется на соответствующую технологическую операцию, а информация об этом передается в MES-систему для рациональной загрузки технологического оборудования. Если же дефект является неустранимым, то информация об этом является обоснованием необходимости изготовления новой детали взамен дефектной или необходимое количество деталей берется из следующих аналогичной изготавливаемой партии деталей. Выходом является информация о партии готовых деталей, изготовленных в срок согласно требованиям технической документации, прописанных в заявке заказчика. В случае, если дефектные детали обнаружены на ранней стадии технологического процесса, изготовление всей партии в срок становится возможным благодаря коррекции производственного расписания. Если же дефект обнаружен на поздних стадиях технологического процесса и, следовательно, нет возможности изготовить недостающее количество деталей в срок, то необходимое число деталей забирается из следующей партии. В этом случае MES-система обрабатывает информацию и на ее основе рассчитывает производственное расписание так, чтобы компенсировать получившийся дефицит годных деталей в следующей партии.

Тогда задача обеспечения выпуска партии продукции в срок для мелкосерийного производства может быть представлена в виде обобщенной математической модели согласно формуле [69]:

$$\begin{aligned}
 & \text{I. } \{F = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6)\} \rightarrow \min \\
 & \text{II. } \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{\text{деме}_{rgk}}^1 \geq \sigma_{\text{деме}_{r(g-1)k}}^1, k \in N\{1, q\} \\ \sigma_{\text{деме}_{rgk}}^1 \geq \sigma_{\text{деме}_{dpd}}^2 / e_r \in M, e_d \in e_r; k, d \in N\{1, q\} \end{array} \right\} \quad (5) \\
 & \text{III. } \left\{ \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{p_r} (h_{rg} t_{\text{онде}_{rgk}} + t_{\text{нрне}_{rgk}} + t_{\text{нпе}_{rgk}} + t_{\text{нде}_{rgk}} + t_{\text{дефе}_{rgk}} + t_{\text{онде}_{rgk}}) \leq \Phi_{\text{об}_k} \right\},
 \end{aligned}$$

где $u > 1; q \geq 1; h_{rgk} > 0$

$$x_1 = \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{u_r} \sum_{k=1}^q t_{npne_{rgk}} \quad \text{— затраты времени, связанные с работами по}$$

переналадке технологического оборудования при выполнении новых операций над партиями деталей;

$$x_2 = \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{u_r} \sum_{k=1}^q t_{npe_{rgk}}^{\Sigma} \quad \text{— временные потери, возникающие вследствие того, что}$$

партия деталей обрабатывается на предыдущей операции в данный момент;

$$x_3 = \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{u_r} \sum_{k=1}^q t_{nde_{rgk}} \quad \text{— затраты времени, образующиеся в связи с}$$

перемещением деталей между технологическим оборудованием;

$$x_4 = \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{u_r} \sum_{k=1}^q t_{nce_{rgk}} \quad \text{— временные потери, связанные с обеспечением сырья,}$$

оснастки и инструмента;

$$x_5 = \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{u_r} \sum_{k=1}^q t_{depe_{rgk}} \quad \text{— временные потери, связанные с устранением}$$

дефектной продукции;

$$x_6 = \sum_{r=1}^u \sum_{g=1}^{u_r} \sum_{k=1}^q t_{onde_{rgk}} \quad \text{— временные потери, связанные с обработкой или}$$

измерением партии деталей на k-ом станке или высокоточном измерительном оборудовании;

$$\sigma_{dete_{rgk}}^1 \quad \text{— начальный момент обработки детали;}$$

$$\sigma_{deter_{(g-1)k}}^1 \quad \text{— начальный момент времени обработки детали на предыдущей}$$

единице технологического оборудования;

k — единица технологического оборудования;

N — группа технологического оборудования;

q — количество единиц технологического оборудования, которое будет использоваться для операций обработки данных партий деталей;

$\sigma_{\text{деме}_{\text{дпд}}}^2$ — директивная связь, которая указывает на непосредственное отношение тех или иных служб к этапам жизненного цикла продукции;

e_r — определенная деталь в партии;

u — количество деталей;

r — номер детали;

$p_r \geq 1$ — количество операций на r -и детали;

g — номер операции;

$h_{rg} = \text{const}$ — величина партии деталей;

$t_{\text{онде}_{rgk}}$ — время обработки или измерения партии деталей на k -ом станке или высокоточном измерительном оборудовании;

$t_{\text{прне}_{rgk}}$ — временные потери, возникающие вследствие переналадки технологического оборудования при выполнении новых операций;

$t_{\text{пре}_{rgk}}$ — временные потери, возникающие вследствие обработки, партия деталей на предыдущей операции;

$t_{\text{нде}_{rgk}}$ — временные потери, возникающие вследствие транспортировки партий деталей;

$t_{\text{дефе}_{rgk}}$ — временные потери, связанные с устранением дефекта единицы продукции;

$t_{\text{пре}_{rgk}}^{\Sigma}$ — сумма времени простоя k -го станка и высокоточного измерительного оборудования во время обработки и контроля одной детали без учета общих временных потерь оборудования $t_{\text{онпк}}$, которое является суммой каждого неиспользованного времени в начале и конце интервала планирования:

$$t_{\text{онпк}} = k_{\text{онпк}}^1 + k_{\text{онпк}}^2$$

$t_{\text{нде}_{rgk}}$ — временные потери, связанные с перемещением деталей;

$\Phi_{об_k}$ — временной фонд работы k -го технологического оборудования на общем планируемом интервале;

$t_{прне_{rk}}$ — временные потери, при переналадке технологического оборудования в случае добавления новых операций [17, 33, 65].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что временные потери непосредственно влияют на процессы изготовления деталей.

Для оценки результатов внедрения системы необходимо рассмотреть показатели эффективности производственных систем, такие как показатель эффективности использования технологического оборудования ОЕЕ и показатель, характеризующий скорость прохождения деталей через конкретные производственные участки МСЕ.

2.2. Функциональное моделирование технологического процесса изготовления деталей на предприятии мелкосерийного типа производства в случае обнаружения дефектов

Отметим, что на любой технологический процесс оказывают влияние различные нормативные документы (государственные стандарты, локальные стандарты предприятия). Кроме того, технологический процесс реализуется при помощи оборудования, персонала предприятия, то есть существуют различные механизмы его реализации. Таким образом, для выявления взаимосвязей этапов технологического процесса изготовления партии деталей в случае внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами и определения управляющих воздействий и механизмов реализации, проведем функциональное моделирование рассматриваемого процесса. Для этого в качестве примера будет рассмотрена партия изготавливаемых деталей типа «Рама». Данная деталь является элементом конечного изделия, предназначенная для фиксации и защиты оптических устройств [53].

Моделирование служит целям установления отличительных черт системы или процесса в том случае, когда проводить исследование или эксперимент с реальной системой или объектом является затруднительным или невозможным [48]. Важно, чтобы между моделью и оригиналом существовало определенное сходство в каких-либо физических характеристиках или в структуре, или в функциях. Широкое применение получила методология моделирования из семейства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing), носящая название IDEF (ICAM Defenition) согласно Р 50.1.028-2001.

IDEF0-технология структурного анализа и проектирования — это язык моделирования, который в исходном своем виде носил название SADT (Structured Analysis and Design Technique). Данный процесс реализован в виде действий, связанных друг с другом логической и законченной цепочкой. На схеме визуализируется как сам процесс, так и определенные правила, регламентирующие его протекание (Control), производственные и человеческие ресурсы его выполнения (Mechanism), вход (Input) и определенный выход (Output).

IDEF3 — технология, благодаря которой определяется информация, которая требуется для проведения структурного анализа. Технология позволяет выявить взаимосвязанность и очередность элементов и действий в процессе. Также она позволяет определить альтернативные варианты развития процессов.

Совокупность упомянутых методологий является единым инструментальным методом структурного анализа, применимый практически к любым видам процессов.

Существуют разные программные пакеты для цифрового представления вышеперечисленных методологий [81]. Самыми популярными являются программные среды BPWin 4.0 и Ramus Educational.

IDEF0 позволяет:

- описывать любые системы, а не только информационные;
- формировать описание системы или процесса и его внешнего окружения до того момента, когда финальные требований к ней будут обозначены.

Таким образом, применение данной методологии дает возможность на ранних этапах построить и провести анализ системы.

IDEF0 нашла свое применение как технология анализа и проектирования процессов на логическом уровне. Ее результаты могут применяться при моделировании IDEF3 диаграмм и диаграмм потоков данных.

IDEF0 модель представляет собой иерархическое множество вложенных блоков. Для каждого блока есть возможность провести его декомпозицию на составляющие блоки.

Для того чтобы провести функциональное моделирование, необходимо определить входы и выходы процесса, также обозначить его ресурсы и воздействия, оказывающее на него управляющее влияние. В IDEF0 также моделируются управление и механизмы исполнения.

Методология IDEF0 предполагает, что модель является искусственным объектом, описывающая систему и ее компоненты. Разработка модели служит для анализа и принятия решений [50]. Данная методология показывает, что происходит в системе, как ею управляют и что преобразовывать.

Кроме того, графический способ представления процесса или системы позволяет четко и однозначно определить различные ее характеристики, что не всегда возможно при текстовом описании, зачастую из-за содержания избыточной информации, допускают неоднозначное толкование и т. д.

Разработка модели в IDEF0 представляет собой пошаговую, итеративную процедуру. На каждом этапе происходит обсуждение модели, ее анализ и доработка, после чего цикл повторяется. Таким образом, происходит тщательная проработка каждой составляющей процесса.

В нотациях IDEF0 применяется четыре вида стрелок:

I (Input) — вход;

C (Control) — управление;

O (Output) — выход;

M (Mechanism) — исполняющий механизм [13].

На диаграммах изображаются функции в виде прямоугольников или функциональных блоков. Функция должна иметь цель и приводить к конечному результату. Название функции должно выражать действие. Необходимо подбирать подходящее наименование для обозначения действий, визуализацией которых и являются блоки.

В целях установления последовательности этапов технологического процесса изготовления партии деталей, в случае внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, и в целях выявления управляющих воздействий и механизмов реализации данного процесса, проведем функциональное моделирование рассматриваемого процесса. На Рисунке 6 представлена IDEF0-модель технологического процесса при обнаружении после ответственных операций дефектных деталей.

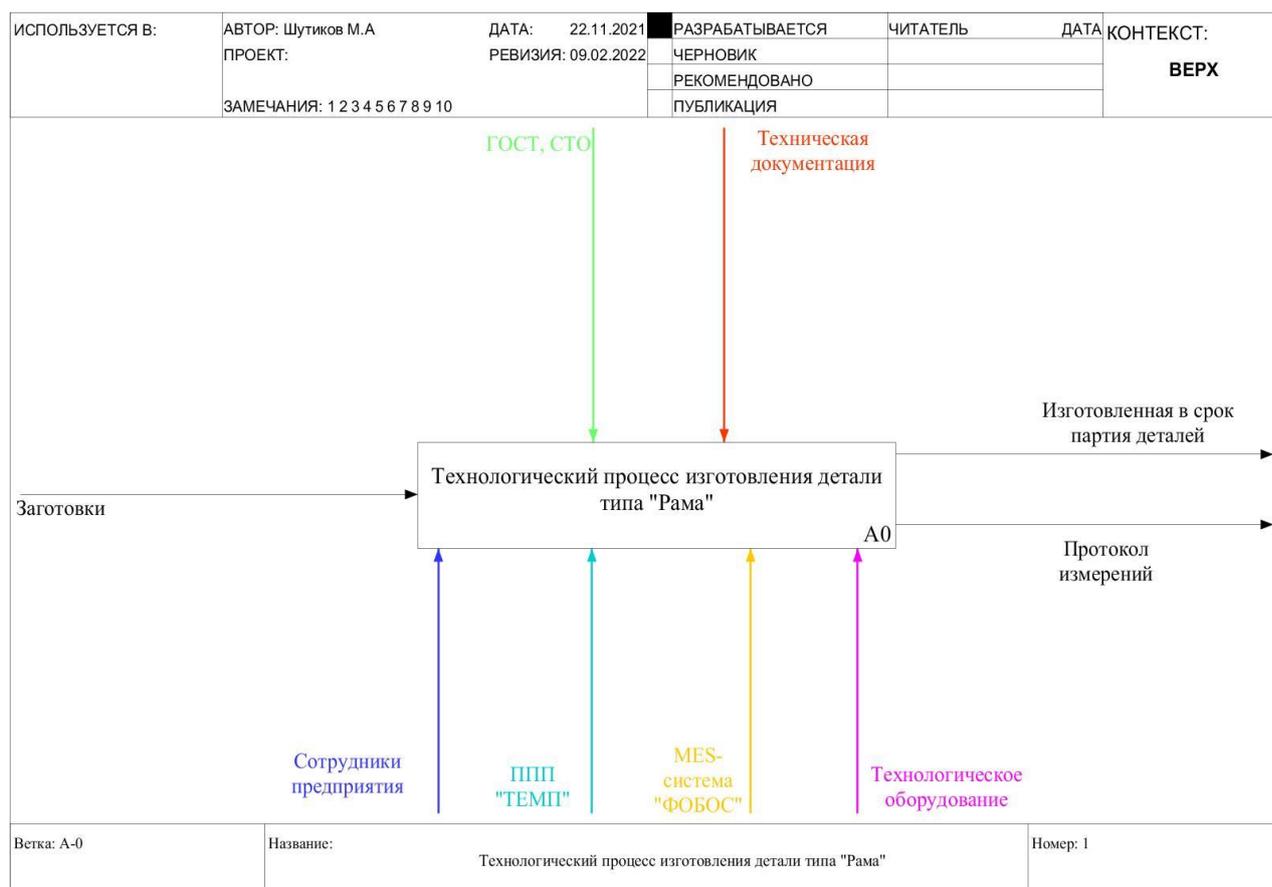


Рисунок 6 — Контекстная диаграмма функциональной модели IDEF0 рассматриваемого технологического процесса изготовления деталей в случае обнаружения дефектов

Входом для данной модели являются заготовки. В качестве ресурсов в данной модели используются технологическое оборудование, пакет прикладных программ, сотрудники предприятия, а также MES-система. К регламентирующим управляющим воздействиям можно отнести требования различного вида документов, таких как государственные нормативно-правовые документы (ГОСТы), требования стандартов предприятия, требования технической документации. Выходом для данной модели является изготовление партии деталей в срок, а также протокол измерений параметров детали.

Для визуализации последовательности действий в процессе обнаружения дефектных деталей производится декомпозиция контекстной диаграммы, представленная на Рисунке 7.

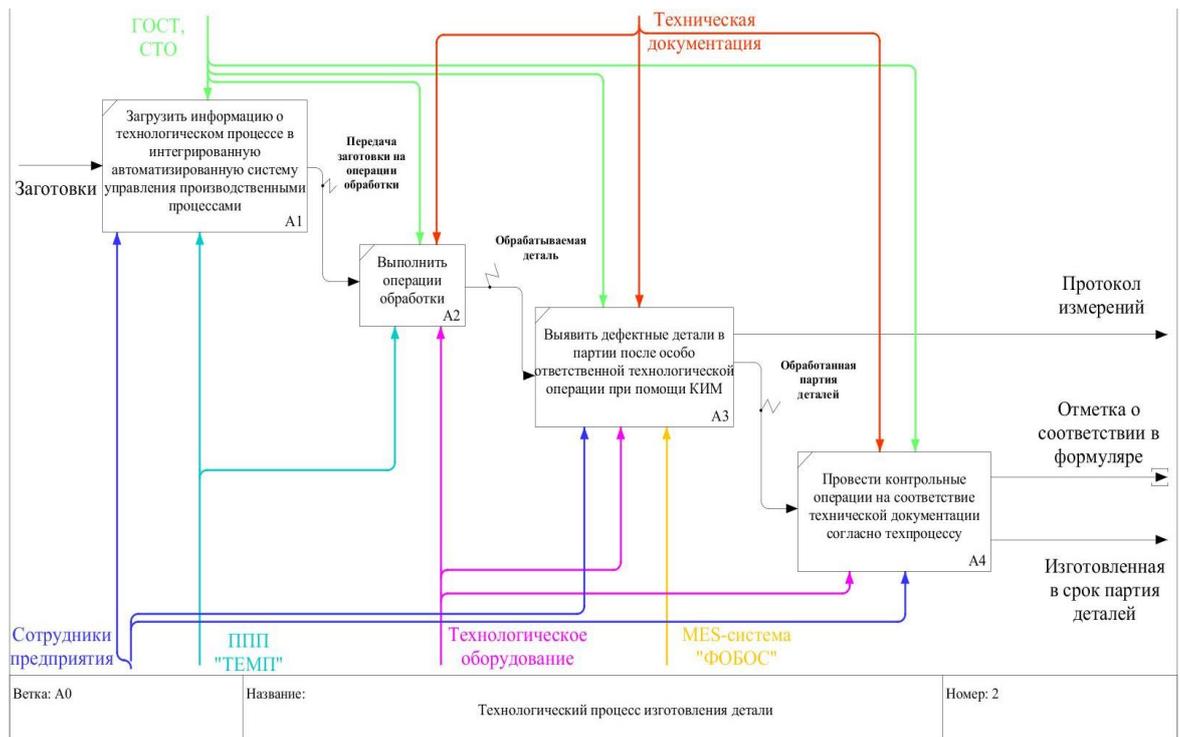


Рисунок 7 — Декомпозиция контекстной диаграммы IDEF0 модели технологического процесса изготовления деталей в случае обнаружения дефектных деталей

Входными данными модели являются заготовки. На первом этапе происходит загрузка технологического процесса в интегрированную автоматизированную систему управления производственными процессами.

Вторым этапом процесса являются операции непосредственной обработки заготовок. Затем следует контроль детали с помощью высокоточного измерительного оборудования (КИМ) для выявления соответствия или несоответствия деталей требованиям конструкторской документации. По результатам контроля формируется протокол на каждую из деталей, который является одним из выходов модели. Заключительным этапом декомпозиции является проведение контрольных операций на подтверждение соответствия деталей конструкторской документации. Выходом является изготовленная в срок партия изделий, а также отметка о соответствии требованиям технической документации в формуляре.

2.3. Анализ показателей эффективности производственной системы при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

В качестве одного из ключевых показателей эффективности производственных систем в промышленности широкое распространение получил инструмент оценки общей эффективности оборудования ОЕЕ [70]. Данный термин был предложен в конце шестидесятых годов прошлого века Сейичи Накадзимой, однако сам показатель стал активно использоваться только в восьмидесятых годах прошлого века [82]. Он позволяет измерить долю планируемого производственного времени [83]. Категории идеального производства, производящего только качественную продукцию без дефектов, перерывов и остановок соответствует значение ОЕЕ, равное 100%. Оптимальным достижимым значением показателя является 85%, а хорошим результатом считается значение 65—70%.

Если на операциях технологического процесса возникает дефект, то необходимо своевременно его выявить в целях дальнейшей коррекции производственного расписания [51]. Для повышения качества выпускаемой

продукции и минимизации дефицита годных деталей, необходимо проводить контроль параметров после особо ответственных технологических операций на стадии изготовления, то есть внедрить высокоточное измерительное оборудование, на основе информации, от которой MES-система производит коррекцию производственного расписания. В связи с вышеизложенным можно сделать вывод о том, что внедрение интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами положительно влияет на один из сомножителей показателя эффективности загрузки оборудования ОЕЕ, а именно на коэффициент качества (Рисунок 8).



Рисунок 8 — Схема расчета показателя ОЕЕ

Данный показатель состоит из трех сомножителей, согласно формуле [84]:

$$OEE = K_{вр} K_{пр} K_{кач} = \frac{\sum_j (\Phi_{вр_j} - П_{р_j})}{\sum_j \Phi_{вр_j}} \frac{\sum_i T_i \cdot Выр_i}{\sum_j (\Phi_{вр_j} - П_{р_j})} \frac{\sum_i T_i (\cdot Выр_i - Б_i)}{\sum_i T_i \cdot Выр_i}, \quad (6)$$

где $K_{вр}$ — коэффициент времени, характеризующий доступность, $K_{пр}$ — коэффициент производительности, характеризующий эффективность работы технологического оборудования, $K_{кач}$ — коэффициент качества, характеризующий уровень качества изготавливаемых деталей, j — количество единиц оборудования, $\Phi_{вр_j}$ — фонд времени работы j -ой единицы оборудования за одну

смену, Pr_j — простой j -ой единицы оборудования, в том числе и плановые, i — количество деталей, производимых на данной единице оборудования, T_i — время выпуска i -го продукта, $Выр_i$ — количество изготовленного i -го продукта в течение $\Phi_{вр}$, B_i — количество брака i -го продукта, изготовленного в течение $\Phi_{вр}$, $\sum_j (\Phi_{вр_j} - Pr_j)$ — количество времени, имеющегося для выпуска продукции на j -ой единице оборудования, $\sum_i T_i \cdot Выр_i$ — количество времени, потраченного на производство продукции, $\sum_i T_i (Выр_i - B_i)$ — количество времени, потраченного на производство годной продукции [71, 72].

В качестве еще одного показателя оценки эффективности производства можно отметить коэффициент МСЕ, формула расчета (7) которого представлена ниже, он характеризует скорость прохождения деталей через конкретные производственные участки [72]. Данный коэффициент рассчитывается как отношения трудоемкости технологических операций ко времени пребывания деталей в соответствующих цехах [24, 45].

$$МСЕ_{ik} = \frac{T_{ik} \cdot Выр_{ik}}{\sum_j \Phi_{вр_j}}, \quad (7)$$

где $Выр_{ik}$ — выработка k -ого производственного участка по деталям, входящим в i -й продукт; T_{ik} — такт выпуска i -ой продукции на участке k ; $\Phi_{вр_j}$ — фонд времени работы j -ой единицы оборудования (время рабочей смены).

Как правило, увеличение одного показателя негативно повлияет на другой показатель: если один показатель увеличивать, то значение другого будет уменьшаться. Наилучшим вариантом управления мелкосерийным типом производства является одновременное увеличение общей эффективности технологического оборудования ОЕЕ и показателя, характеризующего скорость прохождения деталей через конкретные производственные участки МСЕ, что приводит к заметному повышению эффективности работы предприятия. Данная задача является многокритериальной и не рассматривалась в данной работе, так

как рассматриваемое производство является мелкосерийным, в связи с чем решается задача увеличения только значения коэффициента качества показателя общей эффективности оборудования [32]. Для оценки увеличения данного коэффициента при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, необходимо смоделировать производственную ситуацию.

Наилучшим вариантом управления производством является одновременное увеличение общей эффективности технологического оборудования ОЕЕ и показателя МСЕ, что приводит к заметному повышению эффективности работы предприятия. Данная задача является многокритериальной и не рассматривалась в данной работе, так как производство является мелкосерийным, в связи с чем решается задача увеличения только значения коэффициента качества показателя общей эффективности оборудования, формула расчета которого представлена ниже [85]:

$$K_{\text{кач}} = \frac{\sum_i T_i (Выр_i - B_i)}{\sum_i T_i Выр_i}, \quad (8)$$

где $\sum_i T_i (Выр_i - B_i)$ — количество времени, потраченного на производство годной продукции; $\sum_i T_i Выр_i$ — общее количество времени, потраченного на производство продукции; B_i — количество брака i -го продукта изготовленного в течение $\Phi_{\text{вп}}$; T_i — такт выпуска i -го продукта.

Таким образом, разработанная модель интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами позволяет компенсировать дефицит годной продукции на выходе технологического процесса путем перерасчета производственного расписания и изготовления новых деталей взамен дефектных или их доработки. Это позволит перейти к созданию интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами.

2.4. Выводы по второй главе

1. Использованный системный подход позволил выявить взаимосвязи совокупностей представленных в модели элементов и описать связи со внешней средой, обратную связь, а также входы и выходы системы.

2. Структурная схема взаимосвязей управления и функционирования производственных процессов при изготовлении партии деталей на мелкосерийном производстве позволила визуализировать процессы управления и функционирования рассматриваемой интегрированной автоматизированной системы.

3. Выявлена связь между характеристиками контроля деталей после особо ответственной технологической операции и корректировкой производственного расписания и, на основе выявленной связи, установлена зависимость между своевременной компенсацией дефицита годной продукции и увеличением значения коэффициента качества.

4. Разработанная модель информационных потоков интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, применимая для мелкосерийного типа производства при последовательном способе организации движения деталей, позволяющая описать процесс изготовления партии деталей нацелена на обнаружение дефектных деталей в партии и своевременную компенсацию дефицита годных деталей.

5. Построенные модели процессов в нотациях IDEF0 и IDEF3 позволили выявить управляющие воздействия и механизмы реализации процесса корректировки производственного расписания в случае обнаружения дефектных деталей после особо ответственной технологической операции.

6. Увеличение значения коэффициента качества, входящего в состав показателя общей эффективности оборудования, позволит повысить конкурентоспособность производств мелкосерийного типа.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СФОРМИРОВАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

3.1. Алгоритм технологического процесса при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Отметим, что существует несколько способов организации движения деталей на производстве: последовательный, параллельный и последовательно-параллельный.

При мелкосерийном типе производства применяется последовательный способ организации движения деталей. Изделия обрабатываются партиями, каждая последующая операция начинается после окончания обработки всей партии деталей на предыдущей операции. При обнаружении после особо ответственной технологической операции дефектных деталей, информация об этих деталях передается в MES-систему, где в дальнейшем пересчитывается производственное расписание исходя из степени дефекта. При этом возможны два варианта: а) если срок сдачи партии позволяет и есть свободное технологическое оборудование, то дефект исправляется или изготавливается недостающее количество деталей; б) если обработка всей партии деталей не укладывается в срок, регламентированный в техническом задании, то необходимое количество деталей изымается из следующей партии.

Если особо ответственная технологическая операция определена так, что при обнаружении дефекта нет возможности произвести перерасчет производственного расписания, чтобы обеспечить изготовление всей партии деталей в срок, то наблюдается ситуация «точки невозврата». Она характеризуется тем, что нет возможности компенсировать дефицит деталей из

следующей партии, а также нет возможности изготовить новые детали взамен недостающих, так как в этом случае будет сорван срок сдачи продукции.

Параллельный и параллельно-последовательный способы применяются при крупносерийном и массовом типах производства, которые не рассматриваются в работе.

Для управления технологическим процессом необходимо сформировать информационную модель в виде алгоритма.

Схема алгоритма представляет собой взаимосвязанную упорядоченную совокупность графических символов, каждый из которых содержит информацию об определенном этапе какого-либо процесса, в том числе и технологического [40]. Графический символ служит для идентификации функции, которую он визуализирует, независимо от текста в этом символе. Символы связываются между собой линиями (стрелками), указывающими направление последовательности.

Схема алгоритма является графической визуализацией этапов рассматриваемого технологического процесса изготовления детали. Алгоритм предоставляет возможности исследования всего процесса за счет накопления подробных сведений о фактическом его протекании.

Схема алгоритма достаточно информативна и дает наглядное представление о взаимосвязи и соподчиненности действий рассматриваемого процесса или системы.

Для последующего внедрения технологического процесса в интегрированную автоматизированную систему управления производственными процессами необходимо построить информационную модель в виде алгоритма, который представлен на Рисунке 9. Данный алгоритм характеризует собой технологический процесс, в котором технологом была определена особо ответственная технологическая операция, после которой происходит контроль параметров изготавливаемых деталей.

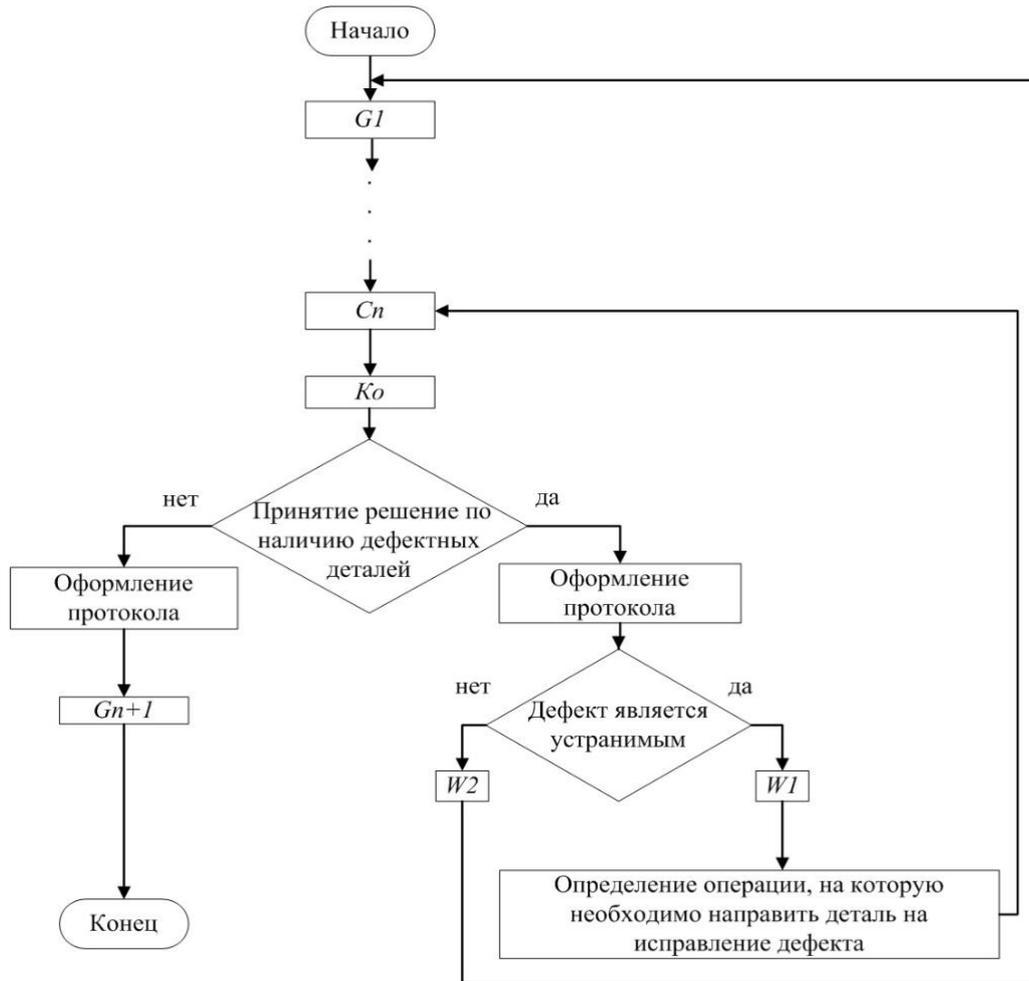


Рисунок 9 — Алгоритм управления производственным процессом в мелкосерийном производстве с учетом выявленных дефектных деталей при последовательном способе организации движения

В рассматриваемом алгоритме на Рисунке 9 G_1 — выполнение первой технологической операции, C_n — выполнение особо ответственной технологической операции, Ko — проведение контрольной операции, G_{n+1} — выполнение последующих операций после контрольной, W_1 — коррекция производственного расписания в случае если дефект устраним, W_2 — коррекция производственного расписания в случае если дефект неустраним.

После прохождения ряда технологических операций, выполняется особо ответственная технологическая операция, после которой следует выполнение контрольной операции. Далее по результатам контроля принимается решение по

наличию дефектных деталей. Если таких деталей не обнаружено, то оформляется протокол и происходит дальнейшее прохождение детали по технологическим операциям. Если же дефектные детали обнаружены, то после оформления протокола определяется возможность устранения дефекта. Если дефект невозможно исправить, то детали либо изготавливаются заново, либо, если это невозможно по ряду причин (отсутствие свободного технологического оборудования, сжатые сроки заказчика), недостающее количество берется из следующей партии аналогичных деталей. В том случае, если возможность устранить дефект существует, то деталь отправляется на особо ответственную операцию и происходит исправление дефекта.

Учитывая приведенную в алгоритме информацию, рассмотрим составляющие разрабатываемой интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами и их взаимодействие между собой.

На Рисунке 10 представлена схема визуализации взаимосвязей компонентов интегрированной автоматизированной системы перерасчета производственного расписания в случае обнаружения дефектной продукции после особо ответственной технологической операции.

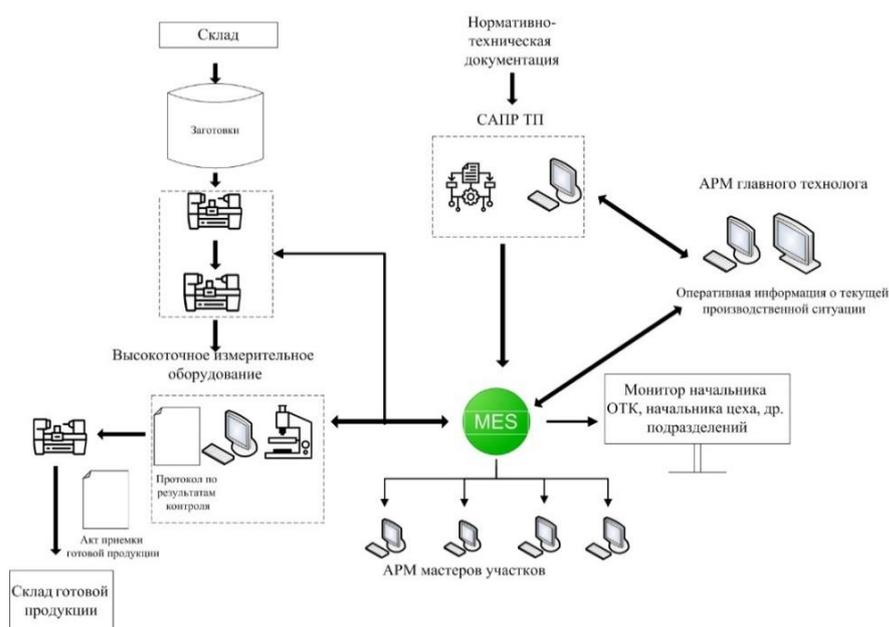


Рисунок 10 — Визуализация взаимосвязей компонентов интегрированной автоматизированной системы перерасчета производственного расписания

Взаимодействие САПР ТП и MES-системы на основе передачи данных о результатах контроля реализуется следующим образом: средствами САПР ТП было реализовано автоматизированное рабочее место (АРМ) технолога и АРМ мастеров участков [22]. Реализован выход на MES-систему, так как после выполнения каждой операции MES-системе необходима информация об итогах обработки: количество годных и забракованных деталей, как показано на Рисунке 11.



Рисунок 11 — Интерфейс внесения информации о количестве дефектных деталей

Такая информация поступает в MES-систему от высокоточного измерительного оборудования посредством передачи электронного протокола измерений партии деталей [47]. Высокоточное измерительное оборудование при помощи программного обеспечения формирует протокол, в котором указывается параметр, по которому обнаружено несоответствие и степень дефекта [31]. На основании информации из протокола контролер вносит в MES-систему информацию о дефектном параметре, обнаруженном после ответственной

технологической операции. Соответствующая коррекция вносится и в текущий оперативный план производства для компенсации возникшего дефицита, и формируется рабочий наряд [74]. Взаимосвязь работы САПР ТП и высокоточного измерительного оборудования состоит в том, что именно технолог определяет с помощью каких средств измерения проводить контроль и какие параметры контролировать.

Результаты контроля представляют интерес и для технолога - он может видеть результаты выполнения технологического процесса, спроектированного им [35]. Благодаря обеспечению обратной связи и от станков, и от высокоточного измерительного оборудования, начальник цеха получает оперативную информацию о текущей производственной ситуации от MES-системы.

Интегрированная автоматизированная система управления производственными процессами состоит из трех компонентов, два из которых являются автоматизированными системами. Рассмотрим более подробно каждую из данных систем.

3.2. Формирование технологического процесса изготовления детали типа «Рама» при помощи пакета прикладных программ «ТЕМП», являющимся одним из компонентов интегрированной автоматизированной системы

Одним из компонентов рассматриваемой интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами является пакет прикладных программ «ТЕМП». Эта система предназначена для быстрого и качественного формирования баз данных технологических процессов для систем управления организации. Она позволяет осуществлять проектирование технологических процессов от диалогового режима с наращиванием баз знаний до автоматического проектирования на основе типовых технологических процессов, параллельное с проектированием автоматизированное нормирование по шагам конкретной методики, включающей диалог с пользователем, нахождение в

автоматизированном режиме значений параметров в таблицах принятия решений, вычисление по формулам.

На Рисунке 12 представлен фрагмент технологического процесса. Данный технологический процесс составляется в системе автоматизированного проектирования технологического процесса «ТЕМП». Внешний вид интерфейса системы с загруженным технологическим процессом представлен на Рисунке 12. Рабочая область интерфейса условно разделена на две части. В левой части экрана операции технологического процесса расположены сверху вниз, кроме того, система предоставляет возможность автоматической нумерации операций. Для того чтобы не перегружать информационное поле неактуальной в данный момент информацией (наименованием станочного оборудования, названиями переходов), существует возможность «свернуть» такую информацию путем нажатия кнопки «минус». Также система в правой части экрана предоставляет сопутствующую информацию о каждой операции: подготовительное-заключительное время и штучное время на выполнение работы, фамилии разработчика, мастера цеха, руководителя, материал заготовки и др.

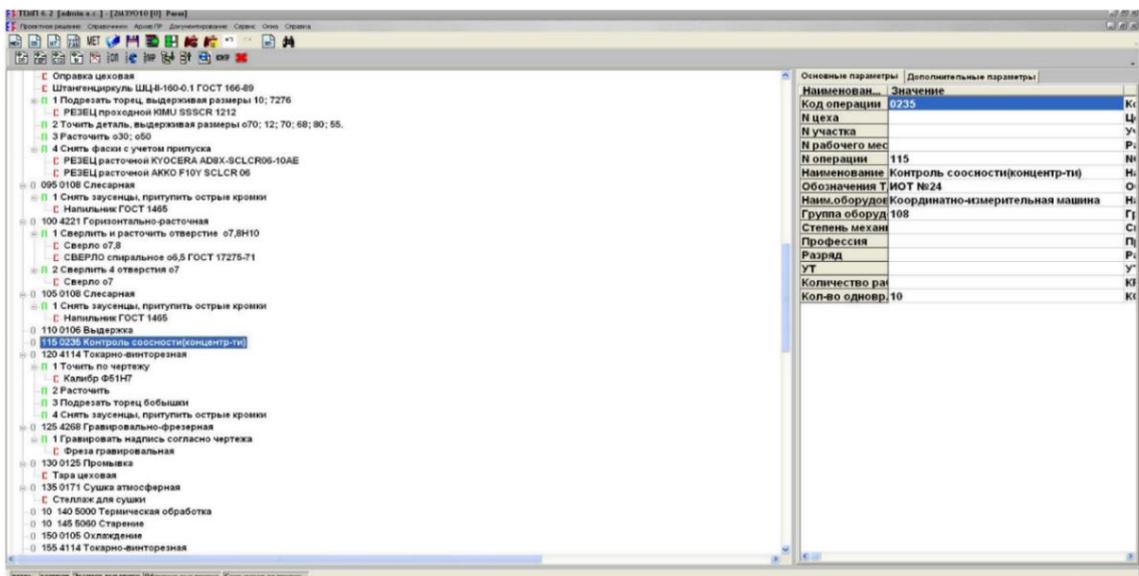


Рисунок 12 — Интерфейс пакета прикладных программ «ТЕМП» с загруженным технологическим процессом

На Рисунке 12 визуализирован технологический процесс после 21 операции, которая определена технологом как особо ответственная, была внедрена

координатно-измерительная машина, в целях контроля параметров детали типа «Рама».

Пакет прикладных программ «ТЕМП» позволяет сформировать комплект документации в автоматизированном режиме, и предоставить документацию в разных форматах, например: *.docx или *.xls. Фрагмент сформированной в формате *.docx технологической карты рассматриваемого процесса приведен на Рисунке 13.

ФОРМА 16 САПР																
Дубл.																
Взам.																
Подл.	Т															
										02100.00000	4					
										2МЗУ010						
А	Цех	Уч	ФМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа							
Б	Код, наименование оборудования				СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	К шт.	Тп.э.	Т шт.	
К/М	Наименование детали, сб. единицы или материала				Обозначение, код				ОП	ЕН	ЕН	КИ	Н расх			
Б 01	Верстак														2	15
А 02	090	4114	Токарно-винторезная		ИОТ N1											
Б 03	Токарно-винторезный станок 16К20														5	45
А 04	095	0108	Слесарная		ИОТ№5											
Б 05	Верстак слесарный														1	12
А 06	100	4221	Горизонтально-расточная		ИОТ №1											
Б 07	Горизонтально-расточной станок 06 В														3	30
А 08	105	0108	Слесарная		ИОТ№5											
Б 09	Верстак слесарный														1	9
А 10	110	0106	Выдержка													
Б 11	Остатка для измерения детали								10						3	90
А 12	115	0235	Контроль		ИОТ №24											
13	соосности(концентр-ти)															
Б 14	Координатно-измерительная машина								10						5	20
А 15	120	4114	Токарно-винторезная		ИОТ N1											
Б 16	Токарно-винторезный станок 16К20														5	45
А 17	125	4268	Гравировально-фрезерная		ИОТ №4											
МК																5

Рисунок 13 — Фрагмент технологической карты, сформированной в системе автоматизированного проектирования технологического процесса «ТЕМП»

Представленный фрагмент технологической карты показывает, что после 21 операции была применена координатно-измерительная машина, которая своевременно позволяет выявить деталь, не соответствующую технической документации. Одной из особенностей системы «ТЕМП» является то, что она может быть интегрирована с системой оперативно-календарного планирования «ФОБОС». ТЕМП интегрирован с системой оперативно-календарного планирования «ФОБОС», позволяющей формировать и корректировать оперативные производственные планы цеха.

3.3. Применение MES-системы «ФОБОС» как одного из компонентов интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Общее расписание технологических процессов изготовления деталей в MES-системе ФОБОС представлено на Рисунке 14. В приведенной таблице приведена информация о коде партии, обозначении типовых процессов, наименовании детали каждого техпроцесса, количество изготавливаемых по каждому процессу деталей, трудоемкости изготовления каждой партии, а также материал заготовки и ее размеры [43].

На Рисунке 14 приведен технологический процесс 2МЗУО10 изготовления детали типа «Рама», представленный в программной среде MES-системы ФОБОС.

Производственное расписание: 09.02.2021 30.04.2021						
Код партии	Обозначение	наименование	Кол-во	Запуск - выпуск	Трудоемк...	Заготовка, материал, размеры
10141.00000-001	1МЗУ0	Крышка	5	10.02.2021 - 04.03.2021	44,75	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00010-001	1МЗУ010	Крышка	3	10.02.2021 - 23.02.2021	32,88	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00002-001	1МЗУ02	Крышка	4	10.02.2021 - 03.03.2021	38,82	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00003-001	1МЗУ03	Крышка	3	10.02.2021 - 09.03.2021	32,88	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00004-001	1МЗУ04	Крышка	3	10.02.2021 - 05.03.2021	32,88	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00005-001	1МЗУ05	Крышка	3	10.02.2021 - 04.03.2021	32,88	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00006-001	1МЗУ06	Крышка	3	10.02.2021 - 03.03.2021	32,88	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00007-001	1МЗУ07	Крышка	4	10.02.2021 - 05.03.2021	38,82	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00008-001	1МЗУ08	Крышка	5	10.02.2021 - 09.03.2021	44,75	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10141.00009-001	1МЗУ09	Крышка	4	10.02.2021 - 08.03.2021	38,82	Пруток Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
10122.00000-001	2МЗУ0	Рама	9	10.02.2021 - 09.03.2021	133,42	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00010-001	2МЗУ010	Рама	12	09.02.2021 - 15.03.2021	162,82	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00002-001	2МЗУ02	Рама	8	09.02.2021 - 19.03.2021	123,62	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00003-001	2МЗУ03	Рама	9	09.02.2021 - 19.03.2021	133,42	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00004-001	2МЗУ04	Рама	5	09.02.2021 - 17.03.2021	94,22	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00005-001	2МЗУ05	Рама	6	09.02.2021 - 10.03.2021	104,02	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00006-001	2МЗУ06	Рама	7	09.02.2021 - 10.03.2021	113,82	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00007-001	2МЗУ07	Рама	6	09.02.2021 - 05.03.2021	104,02	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00008-001	2МЗУ08	Рама	5	09.02.2021 - 04.03.2021	94,22	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10122.00009-001	2МЗУ09	Рама	5	09.02.2021 - 12.03.2021	94,22	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97
10340.00001-001	3МЗУ0	Рама	8	09.02.2021 - 02.03.2021	116,30	Пруток АМг6 ГОСТ 4784-97
10340.00002-001	3МЗУ02	Рама	11	09.02.2021 - 09.03.2021	155,00	Пруток АМг6 ГОСТ 4784-97
10340.00004-001	3МЗУ04	Рама	8	09.02.2021 - 03.03.2021	116,30	Пруток АМг6 ГОСТ 4784-97
10340.00005-001	3МЗУ05	Рама	7	09.02.2021 - 26.02.2021	103,40	Пруток АМг6 ГОСТ 4784-97
10340.00007-001	3МЗУ07	Рама	5	09.02.2021 - 22.02.2021	77,60	Пруток АМг6 ГОСТ 4784-97

Рисунок 14 — Расписание технологических процессов изготовления деталей в MES-системе ФОБОС

Рассмотрим процесс корректировки производственного расписания в приведенной ситуации, когда 12 годных деталей 3 детали забракованы, отметим, что одну из деталей можно отнести к категории устранимого дефекта, а две другие — к неустраняемому дефекту.

Для этого смоделируем подобную ситуацию в MES-системе ФОБОС. В окне оперативного производственного плана выберем функцию графика обработки интересующей нас партии, согласно Рисунку 15.

Оперативный производственный план: 09.02.2021 - 30.04.2021

Код партии	Обозначение наименова...	Колво	Готовность	Запуск	выпуск	Трасеж...	Заготовка, материал, размеры
0141.00000-00	1МЗУ0	5	8,6 %	10.02.2021	23.02.2021	44,75	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00010-00	1МЗУ010	3	7,2 %	10.02.2021	23.02.2021	32,88	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00002-00	1МЗУ02	4	8,0 %	10.02.2021	26.02.2021	38,82	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00003-00	1МЗУ03	3	7,2 %	10.02.2021	08.03.2021	32,88	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00004-00	1МЗУ04	3	7,2 %	10.02.2021	05.03.2021	32,88	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00005-00	1МЗУ05	3	7,2 %	10.02.2021	08.03.2021	32,88	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00006-00	1МЗУ06	3	7,2 %	10.02.2021	09.03.2021	32,88	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00007-00	1МЗУ07	4	8,0 %	10.02.2021	23.02.2021	38,82	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00008-00	1МЗУ08	5	8,6 %	10.02.2021	23.02.2021	44,75	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0141.00009-00	1МЗУ09	4	8,0 %	10.02.2021	08.03.2021	38,82	Пртгок Д16 КД 300x75 ГОСТ 21488-97
0122.00000-00	2МЗУ0	9	12,3 %	10.02.2021	09.03.2021	133,42	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00010-00	2МЗУ010	12	17,5 %	09.02.2021	15.03.2021	162,82	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00002-00	2МЗУ02	9	19,7 %	09.02.2021	19.03.2021	123,62	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00003-00	2МЗУ03	9	15,7 %	09.02.2021	10.03.2021	133,42	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00004-00	2МЗУ04	5	25,0 %	09.02.2021	03.03.2021	94,22	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00005-00	2МЗУ05	6	21,3 %	09.02.2021	05.03.2021	104,02	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00006-00	2МЗУ06	7	20,1 %	09.02.2021	05.03.2021	113,82	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00007-00	2МЗУ07	6	21,2 %	09.02.2021	12.03.2021	104,02	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00008-00	2МЗУ08	5	22,3 %	09.02.2021	04.03.2021	94,22	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0122.00009-00	2МЗУ09	5	27,7 %	09.02.2021	03.03.2021	94,22	Пртгок Д16 Т КР 100 ГОСТ 21488-97
0340.00001-00	3МЗУ0	8	25,2 %	09.02.2021	02.03.2021	116,30	Пртгок АМг6 ГОСТ 4784-97
0340.00002-00	3МЗУ02	11	20,1 %	09.02.2021	10.03.2021	155,00	Пртгок АМг6 ГОСТ 4784-97
0340.00004-00	3МЗУ04	8	26,1 %	09.02.2021	08.03.2021	116,30	Пртгок АМг6 ГОСТ 4784-97
0340.00005-00	3МЗУ05	7	38,4 %	09.02.2021	01.03.2021	103,40	Пртгок АМг6 ГОСТ 4784-97
0340.00007-00	3МЗУ07	3	49,8 %	09.02.2021	25.02.2021	63,67	Пртгок АМг6 ГОСТ 4784-97
0340.00007-00	3МЗУ07	2	-	15.02.2021	25.02.2021	48,88	Пртгок АМг6 ГОСТ 4784-97

Партия / ДСЕ = 26 / 148. Операций = 622

Рисунок 15 — Интерфейс окна оперативного производственного плана

Откроется окно гистограммы загрузки оборудования при выполнении операций изготовления деталей типа «Рама», как показано на Рисунке 16.

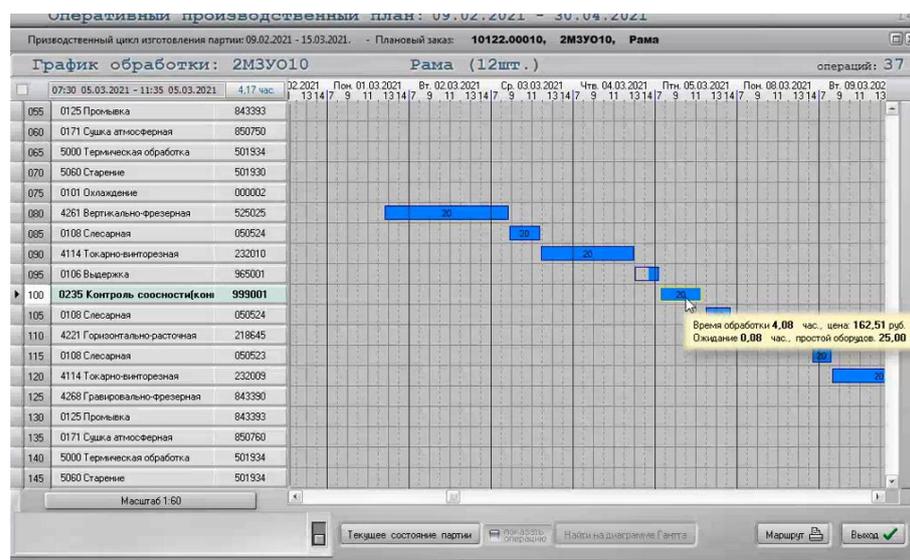


Рисунок 16 — Интерфейс окна гистограммы загрузки оборудования при выполнении операций изготовления деталей типа «Рама»

Для определения количества дефектных деталей выберем контрольную операцию, на которой выявляется дефект. Откроется соответствующее окно. Согласно Рисунку 17 операция контроля соосности проводится с 07 часов 30 минут по 11 часов 35 минут (то есть 4 часа 05 минут).

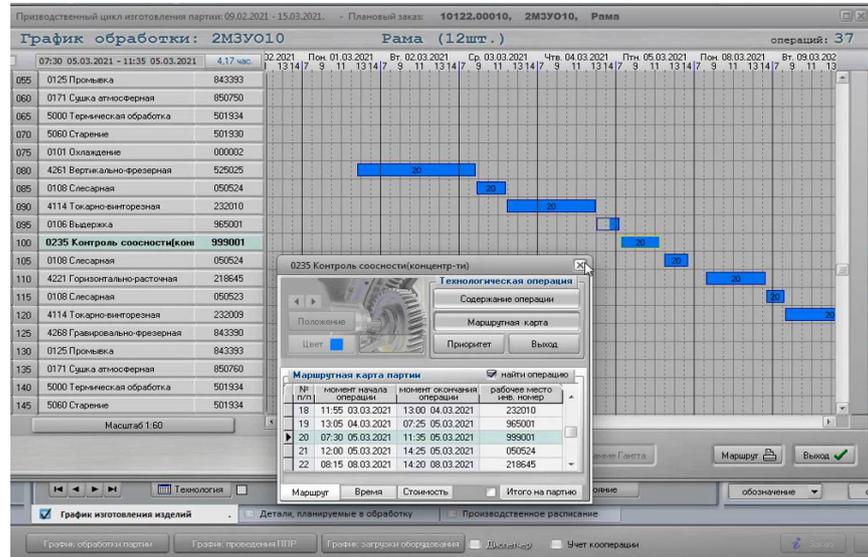


Рисунок 17 — Интерфейс окна операции контроля соосности

На Рисунке 18 представлен Интерфейс окна операционного плана с выбранным режимом «Диспетчер».

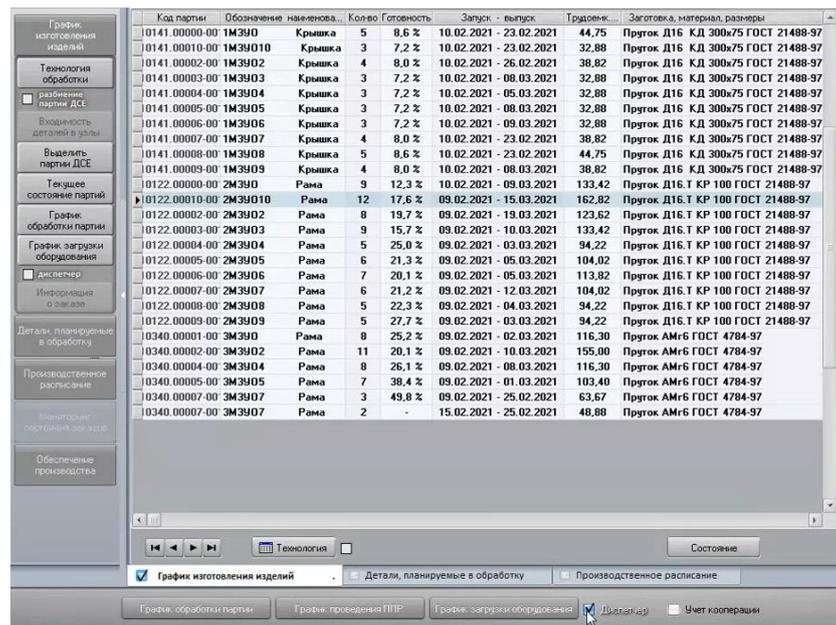


Рисунок 18 — Интерфейс окна операционного плана с выбранным режимом «Диспетчер»

После этого выбираем кнопку «График загрузки оборудования». В этот момент происходит построение диаграммы Ганта производственного расписания, то есть система формирует данные для визуализации графика загрузки технологического оборудования.

Чтобы рассмотреть цифровую модель для ситуации появления дефектных деталей, необходимо переместиться по диаграмме производственного расписания к моменту начала операции контроля параметров соосности. В тот момент, когда операция контроля завершается, необходимо оценить количество дефектных и годных деталей. Для того чтобы произвести моделирование такой ситуации, произведем контроль соосности не в автоматизированном режиме, а в ручном. Для этого выберем контроль параметров соосности оператором, как показано на Рисунке 19.

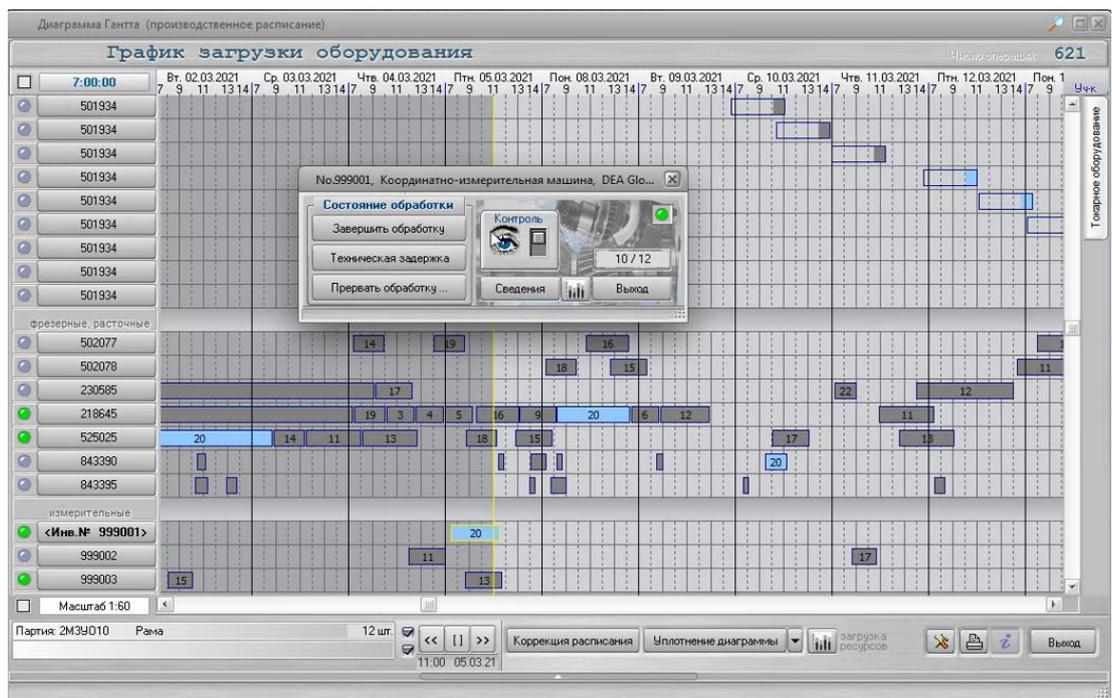


Рисунок 19 — Интерфейс окна операции контроля соосности в ручном режиме

В открывшемся окне программа предлагает выбрать количество проверенных и количество дефектных деталей, причем учитывается как исправимый, так и неисправимый дефект, что показано на Рисунке 20.

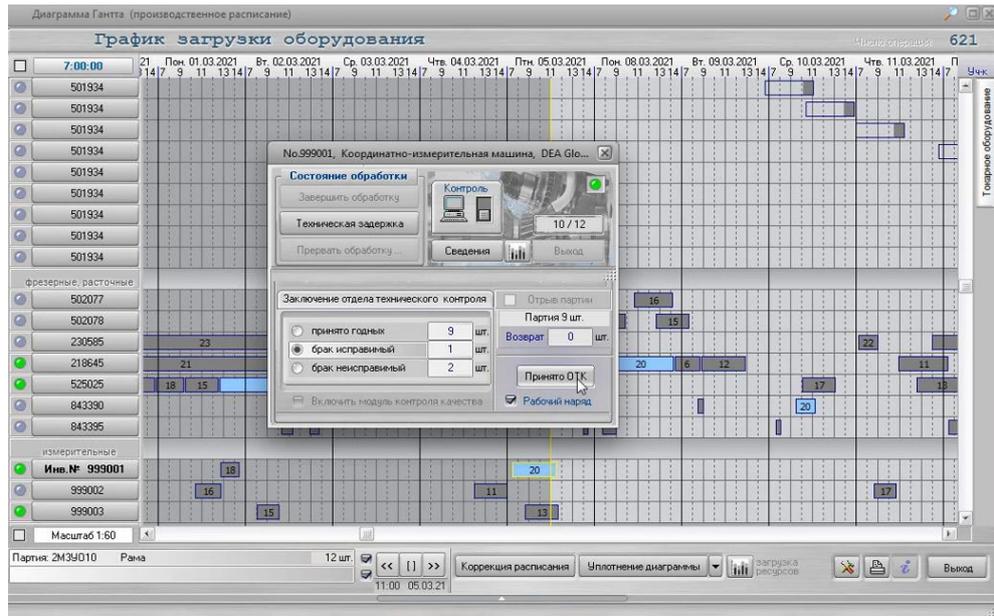


Рисунок 20 — Интерфейс окна выбора количества дефектных деталей

Для того чтобы смоделировать ситуацию выявления дефектных деталей, а также произвести корректировку производственного расписания, примем, что из 12 деталей в партии 2 являются неисправимым дефектом и 1 исправимым.

После этого система предлагает увеличить дефицит деталей чтобы учесть оба вида дефектов для формирования оптимального расписания загрузки оборудования, как показано на Рисунках 21 и 22.

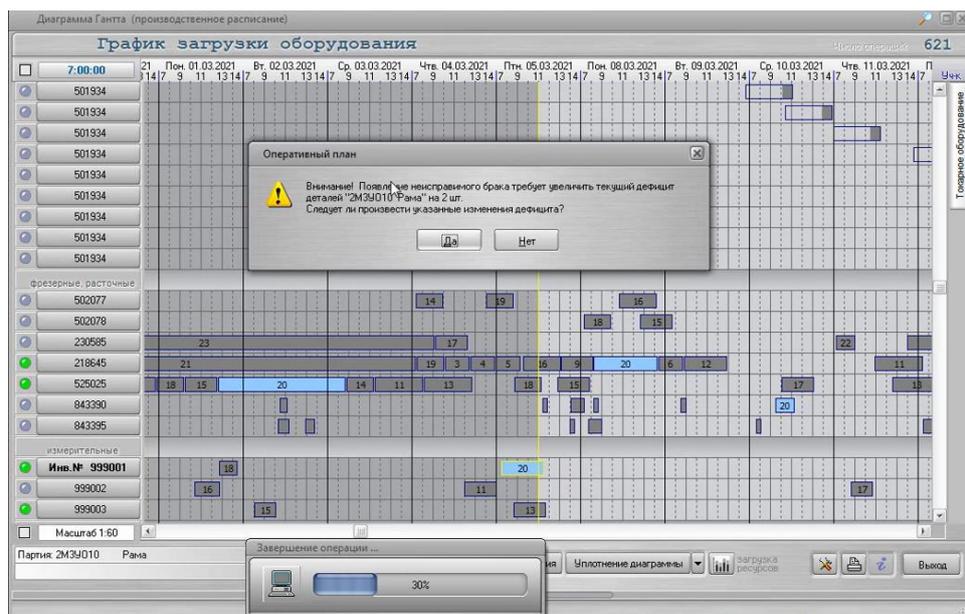


Рисунок 21 — Интерфейс процесса увеличения дефицита деталей в целях учета количества дефектных деталей

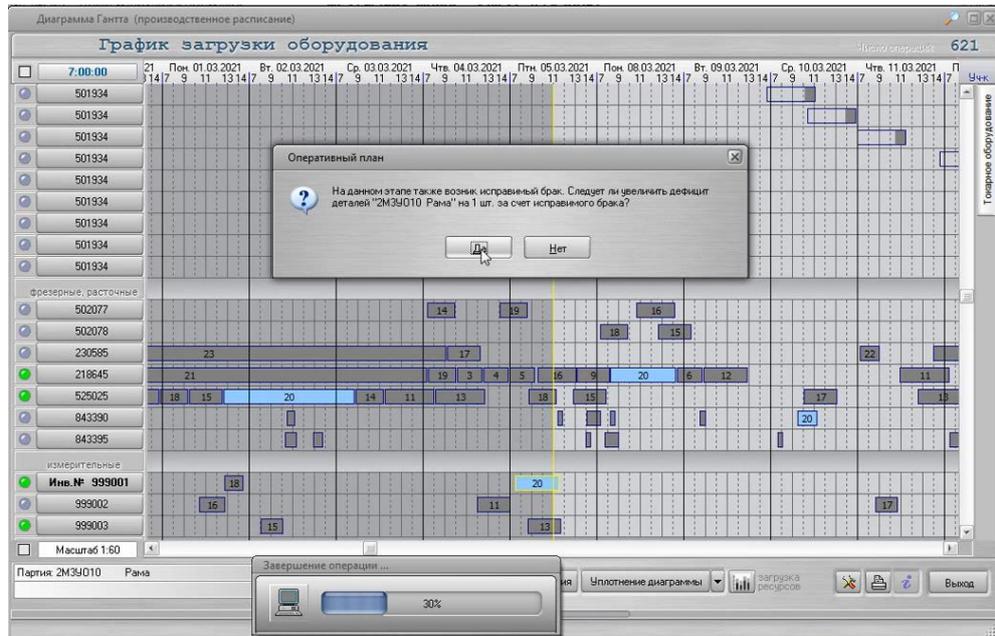


Рисунок 22 — Интерфейс процесса увеличения дефицита деталей в целях учета количества дефектных деталей

Система автоматически формирует рабочий наряд на выполнение операции контроля соосности (концентричности), как показано на Рисунке 23.

14.02.2021 21:02:09 ф. 05-515

Координатно-измерительная машина - DEA Global (инв.№ 999001)

Механическое производство, цех №1		Дата	Подразд. отдел	Сопроводительный документ	Номер бригад	Вид опл.	Ордер завказ	Задано (подано)				
РАБОЧИЙ НАРЯД		14.02.2021	0	10122.00010-001	0		10122.00010	12				
Фамилия												
Табельный №	ка-тег.	раз-ряд	ста-вка	Вид расхода	Время (н. час) факт. норм.	Сумма (руб.)	Кoeffи-циент	Доплата сумма	принято ОТК годовых	бракованных		
		0		056	4,08	162,51			9	2	1	30
Обозначение ДСЕ: 2МЗУ010 Рама									Норма на ВСЕ шт			
100 0235 Контроль соосности(концентр-ти)									рез-ряд	время (н. час)	расценка	
									Подготовит. заключит.			
									на вою партию деталей	время (н. час)	расценка	
 2МЗУ010 Рама;10122.00010-001; 12									Авансирование			
									Дата	% готовности	Сумма (руб)	
 Инв.№ 999001; (100); 4,08; 162,51; Таб.№												

М а с т е р

Рисунок 23 — Сформированный системой рабочий наряд на выполнение операции контроля соосности

В заказе указывается штрих-код операции, количество изделий в партии, а также количество забракованных изделий с подразделением на устранимый и неустранимый дефект [51].

Далее система запрашивает возможность поставки дополнительного количества заготовок для устранения выявленного дефицита годных деталей в партии. После соответствующего подтверждения происходит формирование дополнительной партии заготовок [56], как показано на Рисунке 24.

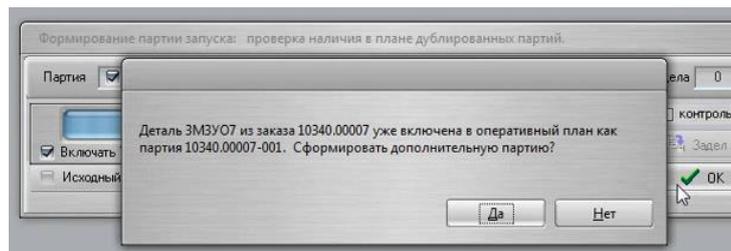


Рисунок 24 — Запрос системы на формирование дополнительной партии деталей

Дополнительная партия заготовок заносится в оперативный план для их последующего включения в текущее производственное расписание, как показано на Рисунке 25.

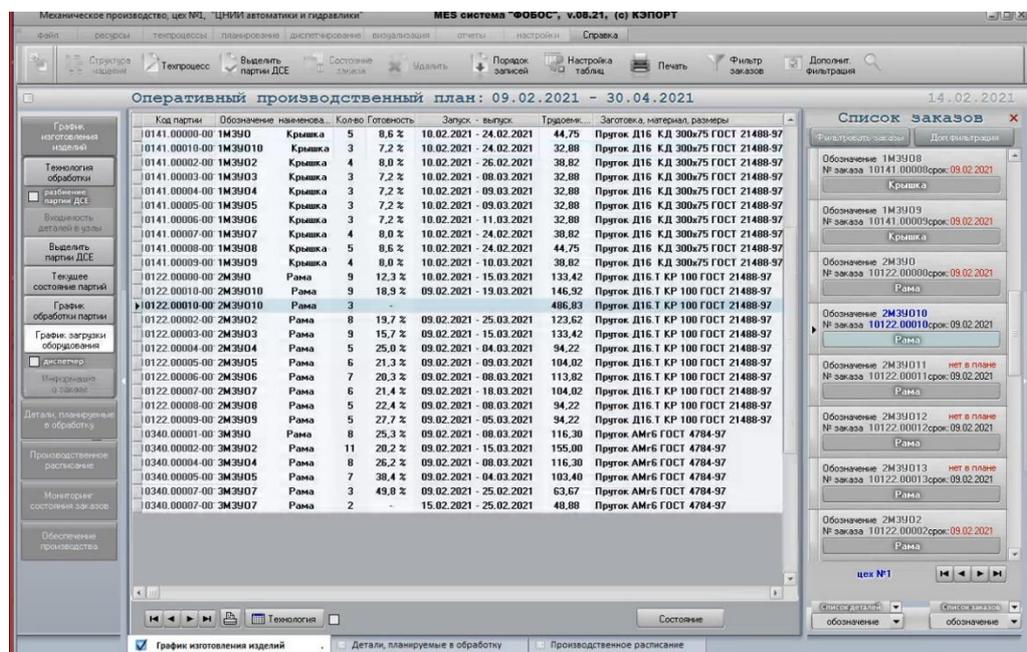


Рисунок 25 — Интерфейс окна операционного плана с включенной дополнительной партией заготовок

Выделенная на Рисунке 25 цветом строчка характеризует дополнительную партию деталей (с нулевым коэффициентом готовности). После этого становится возможным произвести корректировку производственного расписания начиная с того момента, когда был обнаружен брак [57]. Для этого установим текущий момент времени на конец контрольной операции, как показано на Рисунке 26. Система визуализирует момент начала коррекции производственного расписания.

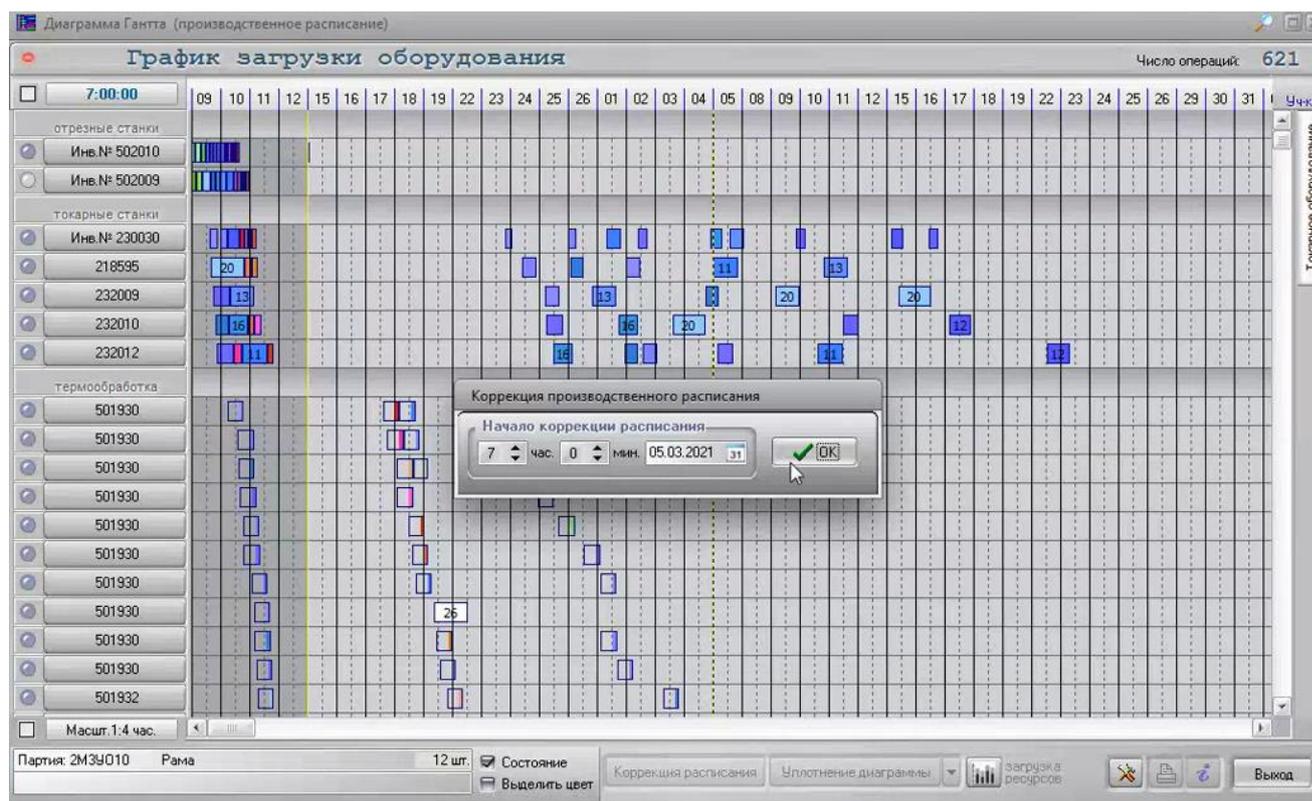


Рисунок 26 — Установка текущего момента времени на конец контрольной операции

Система предложит выбрать несколько вариантов корректировки производственного расписания с учетом различных критериев [46], как показано на Рисунке 27. К критериям можно отнести загрузку оборудования, (минимизацию загрузки оборудования или равномерную загрузку оборудования), приоритет партий запуска (директивный приоритет, ближайший срок готовности, минимальную или максимальную длительности обработки или комбинированный приоритет), правила выбора из очереди (обработка в порядке очереди, операции из конца очереди, максимальная и минимальная длительность операций) [55].

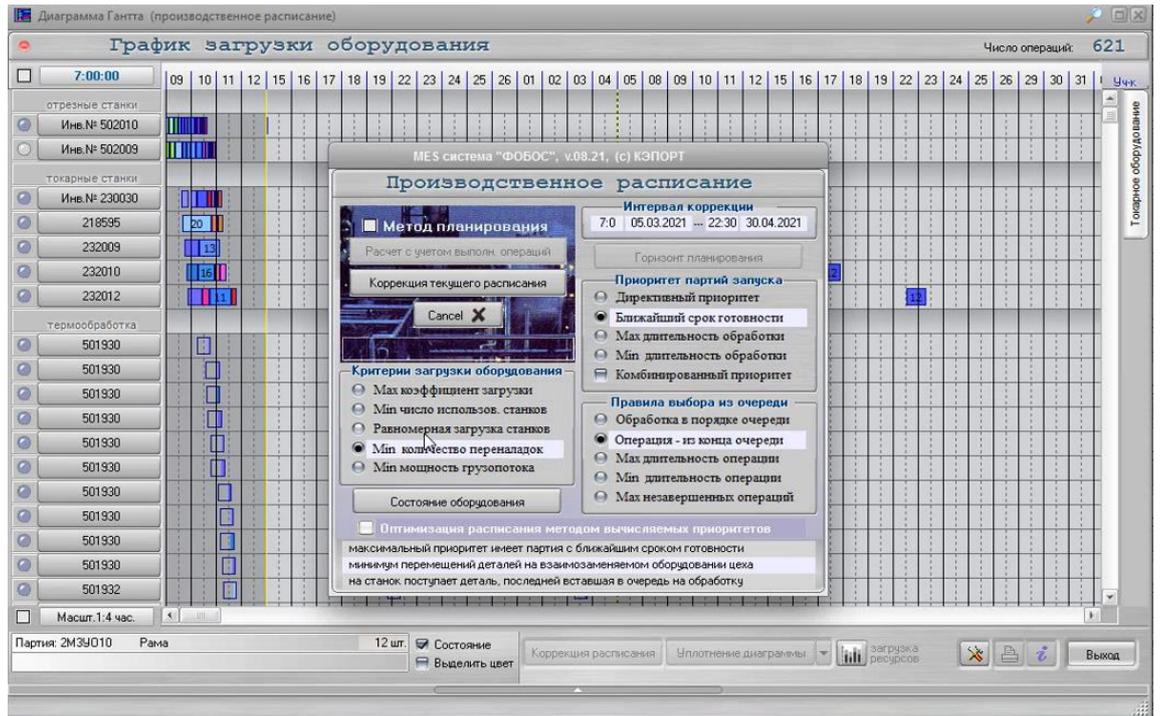


Рисунок 27 — Определение критериев корректировки производственного расписания

Далее система предлагает начать корректировку производственного расписания с учетом выбранных критериев (Рисунок 28).

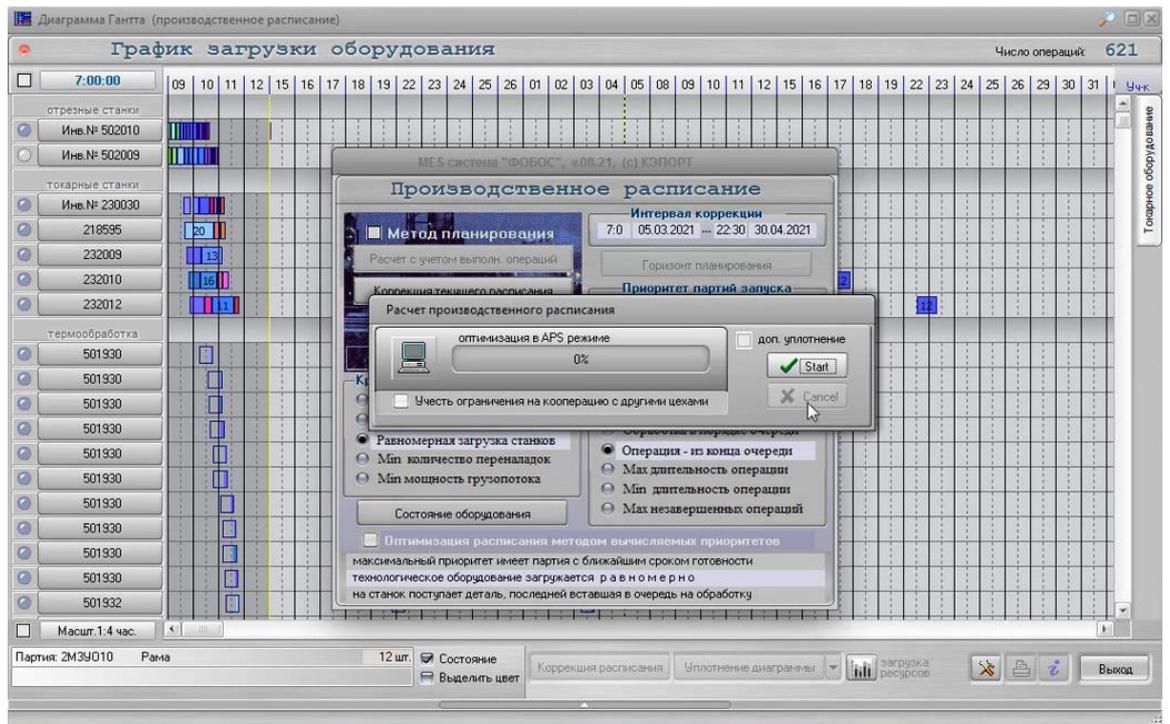


Рисунок 28 — Интерфейс окна процесса старта корректирования производственного расписания

В процессе корректировки производственного расписания система формирует сопроводительную документацию, график поставки оснастки и другую информацию [51]. Кроме того, система формирует данные для визуализации графика загрузки технологического оборудования, отражающего текущее состояние производственного расписания. После расчета формируется информация о новом оперативном плане и выводится на экран, как показано на Рисунке 29.

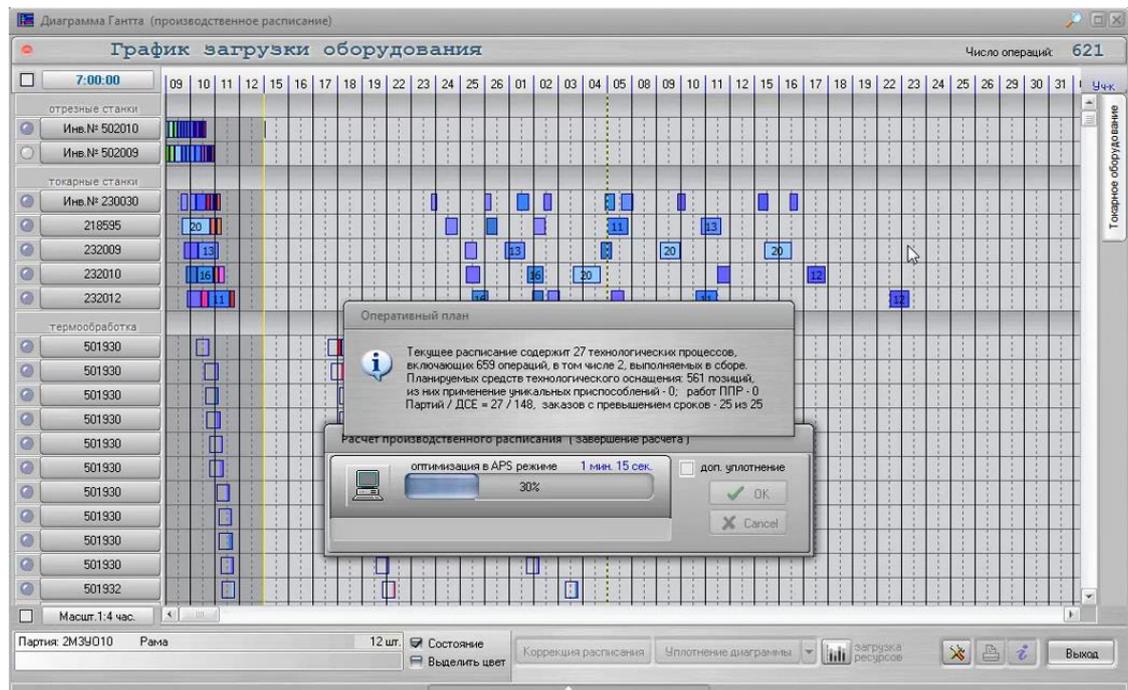


Рисунок 29 — Интерфейс окна процесса корректировки производственного расписания

Как следует из вышеизложенной последовательности действий, основной эффект заключается в том, что в нужных местах техпроцесса (после особо ответственных технологических операций) оперативно проводятся измерения параметров деталей. Если по результатам измерений выявлен дефект, получающийся дефицит годных деталей компенсируется благодаря корректировке производственного расписания при помощи MES-системы.

Таким образом, повышается уровень качества как технологического процесса изготовления деталей типа «Рама», так и качество изготовления самой детали данного типа [59]. Внедрение КИМ после ответственных операций

позволяет минимизировать процент дефектных деталей на выходе технологического процесса, следовательно, повышается коэффициент качества, который является одним из сомножителей показателя OEE [61]. Таким образом, итоговое значение данного показателя также увеличивается.

Чтобы рассматриваемая интегрированная автоматизированная система управления производственными процессами функционировала надлежащим образом, необходимо обеспечить ее, а также технологический процесс, определенными ресурсами [41].

3.4. Оценка ресурсов, необходимых для бесперебойного функционирования технологического процесса при изготовлении деталей

Для обеспечения бесперебойного функционирования технологического процесса изготовления любого изделия важным условием, помимо высокого уровня надежности и доступности оборудования, является оперативное обеспечение технологического процесса сырьем и станочным инструментом [62]. Если же существуют перебои с обеспечением технологического процесса этими компонентами, положительный эффект от внедрения автоматизации (в том числе и в случае применения MES-системы) реализуется не в полной мере.

Сырье должно поставляться оперативно и без задержек. В рамках стратегии JIT (Just in Time) необходимо обеспечить такое количество запасов сырья, чтобы не перегружать склад и поставлять сырье как раз к тому моменту, когда оно необходимо. Это позволит обеспечить бесперебойную работу производства и рационализацию поставок и хранения сырья, что положительно скажется на экономической составляющей производства. Однако обеспечить именно то количество сырья, которое необходимо на каждый конкретный момент времени без помощи автоматизированной системы достаточно тяжело. MES-система благодаря возможности прогнозирования позволяет оценить, какой материал в каком количестве понадобится для выполнения плана [63].

Обеспечение производства оснасткой существенно влияет на экономические показатели основного производства. Очень важно подготовить план оснастки под рабочие места. Для минимизации выпуска бракованных изделий и увеличения производительности труда, необходимо применять технологическую оснастку. Применение станочной оснастки позволяет повысить производительность и точность металлообработки. Количество технологической оснастки сильно увеличивается при освоении производства новых сложных изделий, новых технологических процессов, механизации и автоматизации производства. В этой связи является важным обеспечить бесперебойную поставку оснастки к оборудованию технологического процесса [37].

Одной из главных составляющих технологической системы является инструмент. На предприятиях машиностроительной и производственной сферы наличие инструмента является важнейшим компонентом технологического процесса, характеризующего уровень производства. Качество инструмента влияет на показатели производства и на конкурентоспособность изделий [57].

К составной части комплексной автоматизированной системы станков можно отнести режущий инструмент. Необходимо тщательно подходить к подготовке и выбору инструмента [23]. Такой подход обусловлен высокой стоимостью станков и потребностью достигать максимальной производительности и более высокой точности обработки [33].

Основное условие эффективной работы станков может быть обеспечено путем применения режущего инструмента, характеристики которого соответствуют современным требованиям [32]. Например, если инструмент быстро теряет свои эксплуатационные характеристики, то эффективность от автоматизации, которая связана как с применением программного управления, так и с внедрением системы автоматизированного расчета производственного расписания, значительно снизится [36].

Чтобы достичь наибольшей непрерывности работы режущего инструмента в условиях автоматизированного производства, необходимо нивелировать

различные временные потери, такие как: временные потери на установку, фиксацию и снятие инструмента на его настройку [33]. В том случае, если таких потерь не удастся избежать, они могут быть компенсированы путем корректировки производственного расписания в MES-системе [7].

После расчета производственного расписания MES-система формирует сведения об использовании оснастки, сырья и инструмента с информацией о времени их использования, станках, на которые они поступают. Кроме того, благодаря вытягивающему планированию, когда на основе производственного расписания для механообработки составляется расписание подачи средств технологического оснащения на рабочие места и появляется возможность определить какие именно инструменты, оснастка и материалы понадобятся для конкретной операции в конкретный момент времени. Таким образом, повышается оперативность поставки материалов и инструмента к технологическому оборудованию и возможности прогнозирования поставки. Появляется возможность предоставить инструментальной кладовой требования по тем инструментам и оснастке, которые понадобятся к определенной дате на конкретный станок. Это позволит сотрудникам инструментальной кладовой лучше понимать, какие именно инструменты нужно подготовить и оптимизировать свою рабочую деятельность [67]. График поставки материалов формируется исходя из рассчитанного производственного расписания для конкретного техпроцесса, как показано на Рисунке 30. График содержит информацию о времени подачи сырья для изготовления конкретной партии деталей, сведения о наименовании сырья и другой сопутствующей информацией [44].

Можно сделать вывод о том, что при использовании высокоточного оборудования (на примере координатно-измерительной машины) после ответственных операций при изготовлении изделия инструментальному цеху необходимо своевременно обеспечить оснастку для измерительных операций, а также отделу метрологии своевременно предоставить измерительные щупы, так

как они могут сломаться, погнуться, выйти из строя, что недопустимо при изготовлении, это повлечет временные потери [44].

ГРАФИК ПОСТАВКИ МАТЕРИАЛОВ

Время	Обозначение детали	Вид заготовки, стандарт, габариты	Кол-во
29 января 2021 * Расписание ежедневных поставок материалов: всего 14 позиций.			
07:00	3МЗУ05	-	7
08:00	3МЗУ02	-	11
08:25	3МЗУ04	-	8
09:50	3МЗУ0	-	8
10:05	2МЗУ010	-	12
11:10	2МЗУ09	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97	5
12:00	2МЗУ07	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97	6
12:30	2МЗУ08	-	5
13:00	2МЗУ05	-	6
13:30	2МЗУ06	-	7
14:00	2МЗУ04	Пруток Д16.Т КР 100 ГОСТ 21488-97	5
14:50	2МЗУ02	-	8
07:00	3МЗУ07	-	5
14:55	2МЗУ03	-	9
1 февраля 2021 * Расписание ежедневных поставок материалов: всего 11 позиций.			
08:10	1МЗУ010	-	3
08:45	2МЗУ0	-	9
08:50	1МЗУ08	-	5
09:55	1МЗУ06	-	3
10:35	1МЗУ09	-	4
10:35	1МЗУ04	-	3
11:15	1МЗУ0	-	5
11:35	1МЗУ07	-	4
12:35	1МЗУ05	-	3
13:20	1МЗУ03	-	3
14:05	1МЗУ02	-	4

Рисунок 30 — График поставки материалов, сформированный MES-системой «ФОБОС».

Система также формирует график поставки средств технологического оснащения, представленный на Рисунке 31. Любая задержка в поставке средств технологического оснащения приводит к неоправданному снижению производительности [10]. В графике представлена информация о том, в какое время какое именно средство технологического оснащения для какой группы оборудования применяется. Также там отображается инвентарный номер средств технологического оснащения, код партии, задание на день и другая информация.

ГРАФИК ПОСТАВКИ СТО на участок

Время	Илв.№	Код партии	Наименования средств технологического оснащения	Стандарт
29 января 2021		Задание на день: 35 позиций.		1.01 Токарное оборудование
12:30	218595	10122.00010-001	Напильник ГОСТ 1465-80	
12:30	218595	10122.00010-001	Резец проходной	
08:25	218645	10340.00005-001	Сверло центровочное Walter K1411M-1.5X5 L-120мм 60 HSS	
08:25	218645	10340.00005-001	Специальная фреза "ЦНИИАГ" ø15,15 L=150 Z3 KW10	
08:25	218645	10340.00005-001	Фреза специальная Gühring ø18 L180 Z4 VHM	
08:25	218645	10340.00005-001	Фреза Gühring ø20 L50 Z3 VHM 6702-20,0 WN R-RF	
08:25	218645	10340.00005-001	Тиски Gerardi Modular 1-5x300	
08:25	218645	10340.00005-001	Фреза торцевая MRT NEM11 - ø100-Z9-32 + BDGT11T304RA3	
12:00	230080	10122.00009-001	Напильник ГОСТ 1465-80	
12:00	230080	10122.00009-001	Резец расточной	
14:50	230080	10122.00004-001	Напильник ГОСТ 1465-80	
14:50	230080	10122.00004-001	Резец расточной	
08:00	230585	10340.00007-001	Сверло центровочное Walter K1411M-1.5X5 L-120мм 60 HSS	
08:00	230585	10340.00007-001	Специальная фреза "ЦНИИАГ" ø15,15 L=150 Z3 KW10	
08:00	230585	10340.00007-001	Фреза Gühring ø20 L50 Z3 VHM 6702-20,0 WN R-RF	
08:00	230585	10340.00007-001	Фреза специальная Gühring ø18 L180 Z4 VHM	
08:00	230585	10340.00007-001	Тиски Gerardi Modular 1-5x300	
08:00	230585	10340.00007-001	Фреза торцевая MRT NEM11 - ø100-Z9-32 + BDGT11T304RA3	
13:00	232009	10122.00007-001	Напильник ГОСТ 1465-80	
13:00	232009	10122.00007-001	Резец расточной	
13:30	232010	10122.00008-001	Напильник ГОСТ 1465-80	
13:30	232010	10122.00008-001	Резец расточной	
14:00	232012	10122.00005-001	Напильник ГОСТ 1465-80	
14:00	232012	10122.00005-001	Резец расточной	
07:00	502009	10340.00005-001	Линейка 500 ГОСТ 427-75	
08:25	502009	10340.00004-001	Линейка 500 ГОСТ 427-75	
08:00	502010	10340.00002-001	Линейка 500 ГОСТ 427-75	
09:50	502010	10340.00001-001	Линейка 500 ГОСТ 427-75	
07:00	502010	10340.00007-001	Линейка 500 ГОСТ 427-75	

Рисунок 31 — График поставки технологического оснащения

Система позволяет обеспечивать мониторинг обеспеченности производства материалами, средствами технологического оснащения (СТО), покупными ДСЕ, ДСЕ собственного изготовления, программами ЧПУ [56], как показано на Рисунке 32. Корректировка информации о комплектации в системе происходит по фактическому наличию и плановым датам доставки.

Следовательно, можно отметить, что MES-система, помимо непосредственной корректировки производственного расписания в качестве одного из компонентов интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, позволяет обеспечить формирование графика поставки средств технологического оснащения, инструмента, материалов и выступает как средство информационной поддержки технологического процесса. Кроме того, чтобы иметь возможность производить детали с

3.5. Выводы по третьей главе

1. Разработанный алгоритм управления производственным процессом при внедрении интегрированной автоматизированной системы позволил выявить взаимосвязи и последовательности операций рассматриваемого технологического процесса в мелкосерийном производстве с учетом выявленных дефектных деталей при последовательном способе организации движения.

2. Предложенная интегрированная автоматизированная система управления производственными процессами, используя информацию от высокоточного измерительного оборудования и данные о технологическом процессе, полученные от САПР ТП, позволила скорректировать производственное расписание, в условиях мелкосерийного производства с целью получения годной продукции согласно нормативно-технической документации.

3. В случае обнаружения дефектной детали по результатам контроля после особо ответственной технологической операции в MES-системе «ФОБОС» происходит перерасчет производственного расписания, а информация о технологическом процессе при внедрении интегрированной автоматизированной системы передается из пакета прикладных программ «ТЕМП», где формируется последовательность и продолжительность операций технологического процесса.

4. Для бесперебойного функционирования технологического процесса изготовления деталей необходимо обеспечивать такой процесс сырьем и инструментальной оснасткой.

ГЛАВА 4. АНАЛИЗ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СФОРМИРОВАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

4.1. Построение контрольной карты Шухарта

На изготовление любой продукции всегда оказывают влияние различные вариации. Причины возникновения таких вариации бывают случайные и определенные. Случайная причина неизменно присутствуют в любых процессах. Прикладывать усилия к устранению такой причины в настоящий момент является нерациональным. Определённые причины — это вариации, обусловленные определённой причиной [3]. Такие причины подлежат устранению и нужно прикладывать усилия для их нивелирования [20].

Контрольные карты предоставляют возможность оценить состояние производственного или иного процесса, определить находится ли он в стабильном управляемом состоянии [65].

Данный метод предоставляет возможность сравнения значений отдельных статистических данных графическим способом [69].

Контрольная карта состоит из центральной линии, двух контрольных пределов и значений показателя качества, которые служат для определения состояния процесса [88].

Если оценка процесса производится визуально путем определения тенденции, когда все значения находятся внутри контрольных пределов, то считается, что рассматриваемый процесс стабилен и является контролируемым. Как только они оказываются за контрольными пределами, такой процесс можно характеризовать как вышедший из-под контроля [1, 21].

При формировании контрольной карты анализируется вариация, которая характеризуется случайными причинами. В связи с этим данные необходимо разделить так, чтобы внутри них партии сырья остались неизменными.

Основным аспектом в управлении процессом является своевременное осуществление предупреждающих или корректирующих действий, на основе анализа тенденций, отраженных на контрольной карте [86].

В условиях стабильного процесса, без изменения его среднего и разброса, считается, что объект находится в стабильном и управляемом состоянии [4]. Для определения того, в каком состоянии находится процесс, необходимо провести анализ по следующим критериям:

1) выход за контрольные пределы (точки, которые лежат вне контрольных пределов);

2) серии (ситуация, при которой точки находятся на одной стороне по отношению к средней линии — количество этих точек называется длиной серии).

Считается, если больше шести точек находятся на одной стороне по отношению к средней линии, то такую ситуацию можно охарактеризовать как серию, например, если не менее десяти из одиннадцати точек оказываются по одну сторону от центральной линии или же шестнадцать из двадцати, то это является серией.

При непрерывно повышающейся или понижающейся кривой, состоящей из определенного количества точек, возникает ситуация, которая характеризуется как дрейф.

При концентрации точек около трех-сигмовых контрольных пределов, можно сказать, что процесс нестабилен также, как и при нахождении более одной точки за двумя-сигмовыми контрольными пределами.

Если большинство точек находятся между центральными полуторасигмовыми линиями, то можно считать, что разбиение на подгруппы было выполнено неверно [80].

Нахождение точек в непосредственной близости от центральной линии является фактором того, что в подгруппах находятся значения из различных распределений. Расстояние между контрольными пределами в таком случае получается большим. Для предупреждения такой ситуации необходимо использовать другой способ формирования подгрупп.

Явление периодичности характеризуется проявлением пилообразной формы кривой. Такая ситуация также характеризует нестабильность процесса [27].

Для рассматриваемого процесса измерения диаметров отверстий под подшипники детали типа «Рама» целесообразно использовать (\bar{x} -R) карту.

(\bar{x} -R) карта применяется для оценки процессов, показатели которых характеризуются непрерывными величинами — длина, вес, концентрация. Величина \bar{x} является средним значением для подгруппы, величина R- выборочный размах для той же подгруппы.

Как правило, дополнительно к \bar{x} - карте строят R карту в целях управления разбросами внутри подгрупп.

Далее рассмотрим основные этапы построения контрольной карты (обычно шесть этапов).

На первом этапе были собраны 150 результатов измерений и разделены на 25 подгрупп с объемом по 6 данных в каждой подгруппе.

На втором этапе производилось вычисление среднего значения для каждой подгруппы по формуле [89]:

$$\bar{Z} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}, \quad (9)$$

где \bar{Z} — вычисленное среднее значение по каждой подгруппе, n — число значений в подгруппе (в рассматриваемом случае оно равно 6), $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ — значения контролируемого параметра (диаметра контролируемого отверстия под подшипники). Вычисленное среднее значение \bar{Z} по каждой подгруппе было занесено в соответствующую ячейку таблицы 2, в которой также приведены

данные по результатам контроля диаметров отверстий под подшипники детали типа «Рама».

Таблица 2 — Результаты контроля диаметров отверстий под подшипники партии деталей типа «Рама»

№ подгруппы	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Σ Z	Z	R
1	7,872	7,79983	7,8013	7,833	7,806	7,8066	46,91873	7,819788	0,07217
2	7,839	7,848	7,854	7,8071	7,807	7,8089	46,964	7,827333	0,047
3	7,849	7,813	7,822	7,8032	7,836	7,852	46,9752	7,8292	0,0488
4	7,8109	7,819	7,822	7,8063	7,8058	7,799	46,863	7,8105	0,023
5	7,853	7,831	7,818	7,8064	7,8053	7,8091	46,9228	7,820467	0,0477
6	7,8064	7,812	7,843	7,807	7,8086	7,847	46,924	7,820667	0,0406
7	7,832	7,828	7,7999	7,8011	7,8098	7,837	46,9078	7,817967	0,0371
8	7,8075	7,841	7,80	7,801	7,8099	7,836	46,8954	7,8159	0,041
9	7,831	7,839	7,836	7,857	7,8076	7,809	46,9796	7,829933	0,0494
10	7,833	7,8088	7,836	7,809	7,8096	7,841	46,9374	7,8229	0,0322
11	7,828	7,8042	7,829	7,8072	7,856	7,81	46,9344	7,8224	0,0518
12	7,834	7,804	7,836	7,8074	7,843	7,8085	46,9329	7,82215	0,039
13	7,818	7,805	7,835	7,857	7,8076	7,8077	46,9303	7,821717	0,052
14	7,832	7,823	7,843	7,8067	7,803	7,8073	46,915	7,819167	0,04
15	7,84	7,821	7,802	7,8066	7,8036	7,8067	46,8799	7,813317	0,038
16	7,838	7,831	7,862	7,8095	7,8071	7,811	46,9586	7,826433	0,0549
17	7,863	7,846	7,841	7,8077	7,8052	7,8089	46,9718	7,828633	0,0578
18	7,855	7,837	7,839	7,852	7,8083	7,8083	46,9996	7,833267	0,0467
19	7,846	7,86	7,8061	7,8081	7,853	7,8092	46,9824	7,8304	0,0539
20	7,8084	7,853	7,852	7,8082	7,852	7,8089	46,9825	7,830417	0,0448
21	7,8042	7,846	7,853	7,8091	7,829	7,8062	46,9475	7,824583	0,0488
22	7,817	7,809	7,8088	7,84	7,8115	7,7069	46,7932	7,798867	0,1331
23	7,829	7,836	7,832	7,8069	7,8116	7,8073	46,9228	7,820467	0,0291
24	7,829	7,827	7,819	7,818	7,8136	7,7088	46,8154	7,802567	0,1202
25	7,809	7,837	7,806	7,819	7,815	7,8045	46,8905	7,815083	0,0325

После этого происходит вычисление R. Разность максимального и минимального значения в подгруппе называется размахом подгруппы и обозначается литерой R.

Далее происходит вычисление \bar{R} , по формуле [89]

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}, \quad (10)$$

где k — число подгрупп

Затем нужно вычислить каждую контрольную линию для \bar{x} – карты и для R – карты, согласно формулам [88]

\bar{x} – карта:	R – карта.
$UCL = \bar{x} + A_2 R$	$UCL = D_4 \bar{R}$
$CL = \bar{x}$	$CL = \bar{R}$, (11)
$LCL = \bar{x} - A_2 R$	$LCL = D_3 \bar{R}$

где CL — центральная линия, LCL — нижняя контрольная граница, UCL — верхняя контрольная граница.

Константы A_2, D_4 и D_3 — коэффициенты, определяемые объёмом подгрупп (n) [14]:

для $n = 6$:

$$A_2 = 0,483$$

D_3 не существует

$$D_4 = 2,004.$$

Далее, производим вычисление $\bar{\bar{Z}}$ средней границы \bar{x} – карты, для определения центральной линии CL , согласно формуле [88]:

$$\bar{\bar{Z}} = \frac{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 + \dots + \bar{Z}_k}{n}, \quad (12)$$

где n — число значений в подгруппе, $\bar{\bar{Z}}$ — среднее значение от среднего значения по каждой подгруппе.

По данным, представленным в таблице 2, была построена (\bar{x} - R)-карта (Рисунок 33).

Как следует из Рисунка 33, контрольная карта процесса измерения соосности отверстий детали типа «Рама» характеризуется следующими обнаруженными признаками: дрейфом 6 точек (непрерывно понижающаяся кривая), структурой «то подъём, то спад», а также наблюдается выход за верхнюю границу у R -карты. Благодаря данным признакам можно провести оценку стабильности процесса, а также охарактеризовать процесс с точки зрения

нахождения его в управляемом состоянии. Выявленные характеристики позволяют сделать вывод о недостаточно стабильном и управляемом процессе. Необходимо стремиться к повышению стабильности и управляемости рассматриваемого процесса путем проведения различных мероприятий.

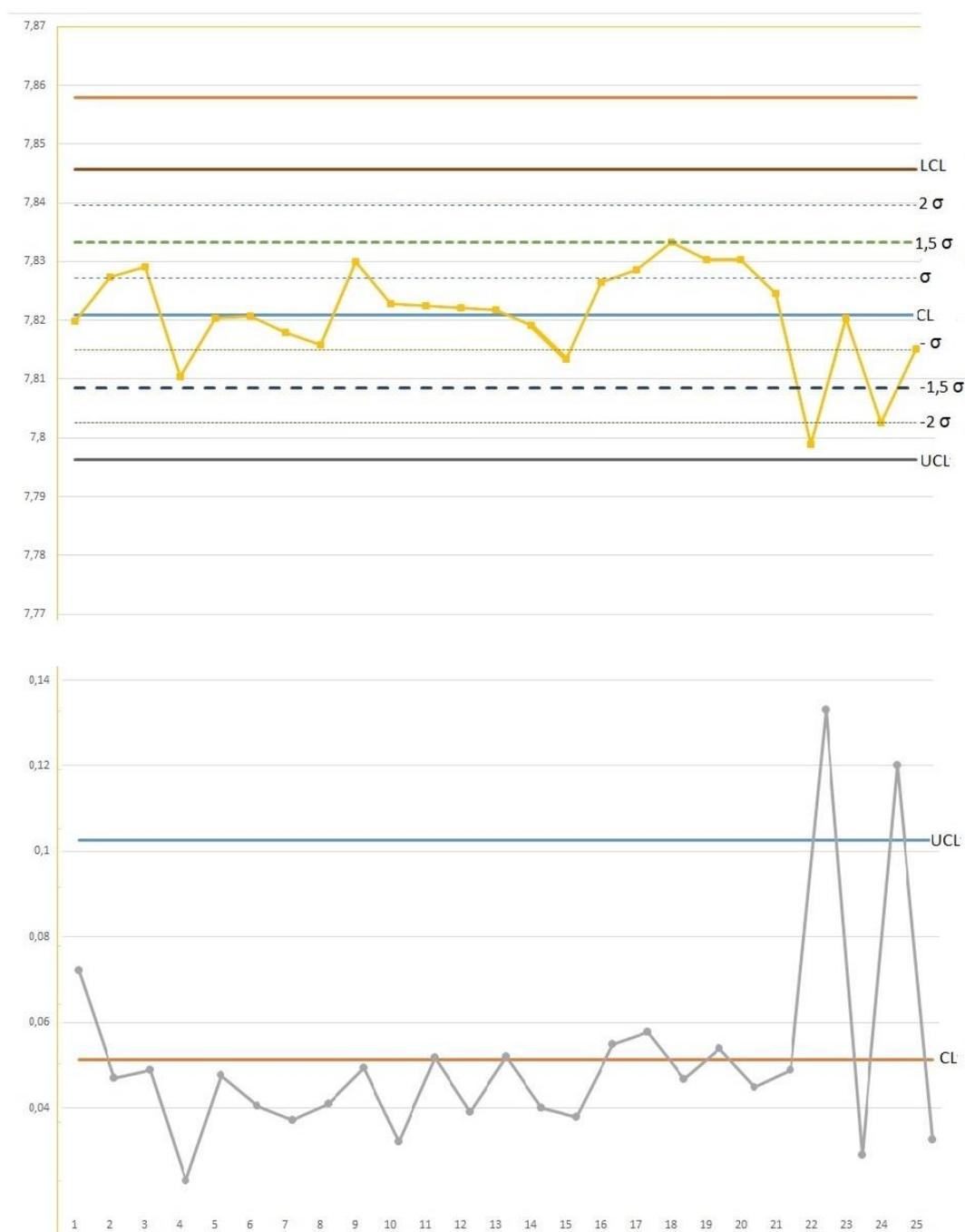


Рисунок 33 — Контрольная (\bar{x} - R)-карта процесса измерения параметров деталей после особо ответственной технологической операции без внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Для выявления тех операций, которые оказывают наиболее сильное влияние на качество рассмотренного процесса следует провести FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) анализ.

4.2. FMEA-анализ на примере процесса изготовления детали типа «Рама» без внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

С целью определения переходов повышенного риска на примере технологического процесса изготовления детали типа «Рама» без внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами целесообразно провести анализ возникновения потенциальных дефектов и их влияния на потребителя (FMEA-анализ характера и последствий отказов).

FMEA — Failure Mode and Effects Analysis — это метод увеличения показателей качества различных технических объектов, находящихся в разработке, цель применения которого заключается в предупреждении дефектов или понижении вредных воздействий от них.

FMEA — метод, позволяющий выявить операции, на которых существует наибольшая вероятность возникновения несоответствий. Этот метод применяется к различным видам систем (механических, электрических, гидравлических и т. д.) и их комбинациям для частей оборудования, системы или проекта в целом.

FMEA решает задачу анализа возможных ошибок рассматриваемой системы. FMEA позволяет определить эффект влияния ошибок на систему или процесс, а также позволяет произвести ранжирование всех ошибок относительно их критичности для процесса или системы.

При проведении FMEA анализа сначала происходит определение этапов процесса. Каждый этап может характеризоваться определёнными потенциальными несоответствиями, которые подразделяются на две категории:

при которых невозможно продолжить функционирование процесса и при которых процесс может продолжаться с некоторыми несоответствиями.

Для обнаруженных несоответствий выявляются причины, из-за которых они возникают.

Затем определяются потенциальные последствия для потребителей. Для удобства, определенные несоответствия и их причины сводятся в таблицу. При обнаружении какой-либо причины анализируется вероятность ее появления (А) и проводится анализ определенной операции, для оценки экспертным методом частоты причины данного дефекта. Балл возникновения ранжируется от 1 до 10. Чем ниже балл, тем меньше вероятность появления несоответствия. Затем, оценивается тяжесть последствия для потребителя (В). Правила проставления баллов такие же, как и для вероятности появления несоответствия. Далее, для данного дефекта и каждой отдельной причины определяют балл необнаружения Е. Балл, равный 10, характеризует дефект, который практически нельзя обнаружить, а 1 — дефект, обнаруживаемый почти в любом случае. При экспертной оценке критериев вероятности появления дефекта, тяжести последствия для потребителя и необнаружения дефекта существуют рекомендуемые шкалы баллов, представленные в ГОСТ Р 51814.2-2001.

После этого рассчитывается коэффициент риска для каждого элемента или операции по формуле $RPZ=ABE$. По результатам произведенных вычислений выявляются операции, для которых $RPZ>100$ (операции, связанные с повышенным риском), после чего для данных операций описываются корректирующие мероприятия.

Анализируя процессы, необходимо также определить все потенциальные ошибки, которые приводят к негативным последствиям и которые оказывают негативное влияние на проведение работ рассматриваемого процесса [82].

Подход, при котором все выявленные причины дефектов подвергаются анализу на возможность реализации действий по их устранению, является наиболее рациональным [83]. Одним из основных этапов является проведение целенаправленных мероприятий по предупреждению дефектов.

Рациональным является отдавать предпочтение мероприятиям, предупреждающим отказы, а не мероприятиям по их выявлению.

Ниже в таблице 3 приведен фрагмент FMEA анализа для рассматриваемого технологического процесса изготовления детали типа «Рама» без использования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами. Полностью таблица FMEA анализа представлена в Приложении А [13].

Таблица 3 — Фрагмент FMEA-анализа без применения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами (полная таблица приведена в Приложении А)

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
24	Фрезеровать деталь, выдерживая размеры 33; 62; 15 2 места; 40 2 места; 40,5 ± 0,05 4 места	Расфрезеровано недостаточное количество поверхностей	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	5	6	60
25	Фрезеровать лыску, выдерживая размеры 34±0,1; 4,4; 4 фаски 1,5 x 45 4 места	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	7	84
26	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
27	Подрезать торец, выдерживая размеры 10; 72	Размеры выдержаны не верно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	5	7	70
28	Точить деталь, выдерживая размеры Ø 70; 12; 70; 68; 60; 55	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
29	Расточить Ø 30; Ø 50	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	7	84
30	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
31	Выдержать деталь в нормальных условиях	Нормальные условия не установлены	Поломка климатического оборудования	Временные потери	2	2	5	20
32	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72

Продолжение таблицы 3

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
33	Сверлить и расточить о7,8Н10	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
34	Сверлить 4 отверстия о7	Расверлено 3 отверстия	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
35	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8

Согласно приведенному выше FMEA-анализу можно отметить, что к переходам повышенного риска (узким местам) относятся операции механической обработки детали. Эти операции оказывают критически важное влияние на достоверность полученных результатов. Учитывая это, необходимо сосредоточить основные усилия на понижении риска этих переходов.

У этих процессов причинами негативного влияния на процесс являются человеческий фактор (невнимательность, халатность контролера), а также методика, не отвечающая современным требованиям и возможностям средств измерения и контроля. По возможности необходимо понизить количество дефектных деталей на выходе путем внедрения после ответственных операций КИМ, с помощью которого должен происходить контроль геометрических параметров детали (соосности отверстий) [33]. Вследствие этого, видится целесообразным внедрение координатно-измерительной машины в разработанный при помощи пакета прикладных программ «ТЕМП» технологический процесс.

Необходимо иметь уверенность в том, что именно те этапы процесса, что были определены по результатам FMEA-анализа, являются наиболее критичными. В том случае, если они неправильно определены, это может привести к низкой эффективности проводимых корректирующих или предупреждающих мероприятий. Для минимизации такого вида риска, нужно

проверить правильность выбора наиболее критичных этапов процесса. Для этого проведем факторный анализ.

Факторный анализ проводится с целью подтверждения итоговых значений параметров А, В и Е, полученных методом экспертной оценки при проведении FMEA анализа технологического процесса изготовления детали типа «Рама» без внедрения высокоточного измерительного оборудования. Факторный анализ — это метод, позволяющий определить и оценить степень взаимного влияния переменных [13, 5].

Рассматриваемые факторы сравниваются между собой с целью определения весовых коэффициентов, которые характеризует значимость каждого фактора. Для удобства сопоставления параметров, строят таблицу $w \times w$, где w — число сравниваемых факторов.

В каждую ячейку таблицы ставят экспертную оценку, оценивающую отношение в рассматриваемой ситуации значимости параметра, находящегося в графе i (строки) к параметру, находящемуся в графе j (столбцы). Могут быть проставлены следующие оценки:

оценка 2 — если параметр, находящийся строке (i), более значим, чем параметр, находящийся в столбце (j);

оценка 1 — если параметры равнозначны;

оценка 0 — если параметр, находящийся строке (i), менее значим, чем параметр, находящийся в столбце (j).

После того, как те ячейки, в которых происходит сравнение, заполнены, нужно рассчитать сумму оценок для каждого параметра $\sum A_i$, $\sum B_i$, $\sum E_i$ по строке и сумму $\sum A_j$, $\sum B_j$, $\sum E_j$ по столбцу из таблицы соответственно. Вычисленная сумма записывается в соответствующую ячейку. После этого рассчитывают весовые

коэффициенты для каждого фактора по формуле: $a_i = \frac{\sum A_{ij}}{\sum A}$ $b_i = \frac{\sum B_{ij}}{\sum B}$ $e_i = \frac{\sum E_{ij}}{\sum E}$.

Если вычисления верны, то $\sum a_i = 1$, $\sum b_i = 1$, $\sum e_i = 1$

Для нахождения уточненных значений параметров А, В и Е используется формула (13):

$$\begin{aligned} A &= A_1a_1 + A_2a_2 + A_3a_3 + A_4a_4 + A_5a_5 + A_6a_6 \\ B &= B_1b_1 + B_2b_2 + B_3b_3 + B_4b_4 + B_5b_5 + B_6b_6 \\ E &= E_1e_1 + E_2e_2 + E_3e_3 + E_4e_4 + E_5e_5 + E_6e_6 \end{aligned} \quad (13)$$

Затем, пересчитываем RPZ с учётом измененных параметров А, В и Е путем перемножения соответствующих пересчитанных значений параметров.

В FMEA — были выявлены операции с наиболее высоким коэффициентом риска RPZ. С помощью факторного анализа необходимо экспертным путем провести оценку, насколько правильно был рассчитан параметр RPZ, для этого в отношении операции № 25 необходимо определить факторы заданных параметров групп и их значения по нижеприведенным пунктам [15].

Операция №25 «Фрезеровать лыску, выдерживая размеры $34 \pm 0,1$; 4,4; 4 фаски 1,5 x 45 4 места».

Исходные коэффициенты:

$$A = 2, B = 6, E = 7, RPZ = 84$$

Сначала рассмотрим факторный анализ коэффициента А.

п. 1. Фактор соответствует уровню квалификации персонала, при котором контролер обладает недостаточной компетенцией в данном процессе. Фактор характеризуется значением $A1=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A1=2$ [33].

п. 2. Фактор соответствует методике исполнения операции, в которой во избежание появления дефекта используются специальные инструкции. Фактор характеризуется значением $A2=4...6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A2=4$.

п. 3. Фактор соответствует управлению процессом. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без

привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $A3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A3=2$.

п. 4. Фактор соответствует уровню использования специальных технических средств. В ходе операции механической обработки используются технические средства, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к рассматриваемой операции. Фактор характеризуется значением $A4=4\dots6$. Экспертами выбрано, что значение $A4=4$.

п. 5. Фактор соответствует среде, в которой проводится испытание. Условия среды практически в полной мере удовлетворяют требованиям процесса. Фактор характеризуется значением $A5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A5=2$.

п. 6. Фактор соответствует применяемым технологическим средствам для проведения работ. Оборудование для проведения работ включает в свой состав специальное и универсальное, но имеет небольшие несоответствия требуемому уровню, которые практически не влияют на ход процесса. Фактор характеризуется значением $A6=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A6=3$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 4.

Таблица 4 — Попарное сравнение факторов

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ΣA_{ij}	a_i
A1	1	0	1	0	1	0	3	0,083
A2	2	1	2	1	2	2	10	0,277
A3	1	0	1	0	1	0	3	0,083
A4	2	1	2	1	2	2	10	0,277
A5	1	0	1	0	1	0	3	0,083
A6	2	0	2	0	2	1	7	0,194
ΣA	9	3	9	2	9	5	36	1

По формуле (14) вычисляем значение фактора A:

$$0,083 \times 2 + 0,277 \times 4 + 0,083 \times 2 + 0,277 \times 4 + 0,083 \times 2 + 0,194 \times 3 = 0,166 + 1,108 + 0,166 + 1,108 + 0,166 + 0,582 = 3,296 \quad (14)$$

Далее переходим к аналогичному рассмотрению коэффициента В:

п. 1. Фактор соответствует изменению основных функций средства исполнения процесса. Существует дефект средней тяжести, который не приводит к остановке процесса, но снижает качество его функционирования. Для нормального протекания процесса требуется обязательное устранение дефекта. Фактор характеризуется значением $V1=4...6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V1=6$.

п. 2. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Существуют функциональные отклонения средней тяжести, которые не приводят к остановке процесса, но снижают качество их функционирования. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение данных отклонений. Фактор характеризуется значением $V2=5...6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V2=6$.

п. 3. Фактор соответствует отклонению входного продукта средней тяжести, которое не приводит к остановке, но снижает качество протекания процесса. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение отклонения. Фактор характеризуется значением $V3=5...6$. Экспертами выбрано, что значение $V3=6$.

п. 4. Фактор соответствует уровню безопасности жизнедеятельности, при котором угроз безопасности жизнедеятельности нет. Фактор характеризуется значением $V4=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V4=1$.

п. 5. Фактор соответствует уровню экологической составляющей процесса, при котором угроз окружающей среде нет. Фактор характеризуется значением $V5=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V5=1$.

п. 6. Фактор соответствует уровню управления. Существуют заметные отклонения при внешних воздействиях, снижающие качество функционирования. Фактор характеризуется значением $V6=5...6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 5.

Таблица 5 — Попарное сравнение факторов

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	ΣB_{ij}	b_i
B1	1	1	1	2	2	1	8	0,222
B2	1	1	1	2	2	1	8	0,222
B3	1	1	1	2	2	1	8	0,222
B4	0	0	0	1	1	0	2	0,055
B5	0	0	0	1	1	0	2	0,055
B6	1	1	1	2	2	1	8	0,222
ΣB	4	4	4	10	10	4	36	1

По формуле (15) вычисляем значение фактора В:

$$0,222 \times 6 + 0,222 \times 6 + 0,222 \times 6 + 0,055 \times 1 + 0,055 \times 1 + 0,222 \times 6 = 1,332 + 1,332 + 1,332 + 0,055 + 0,055 + 1,332 = 5,438 \quad (15)$$

И в заключении проведем анализ коэффициента Е.

п. 1. Фактор соответствует использованию специальных технических средств контроля. В ходе операции обработки используются специальные средства. Фактор характеризуется значением $E1=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E1=3$.

п. 2. Фактор методов обнаружения дефекта соответствует использованию специальных методов обнаружения, которые мало адекватны существующим условиям. Вероятность необнаружения дефекта высокая. Фактор характеризуется значением $E2=7\dots8$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E2=7$.

п. 3. Фактор обучения персонала (оператора) соответствует уровню подготовки персонала. Персонал проходит обучение, однако оно недостаточно полно удовлетворяет требованиям существующей ситуации. Фактор характеризуется значением $E3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E3=2$.

п. 4. Фактор соответствует управлению процессом механической обработки. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $E4=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E4=3$.

п. 5. Фактор соответствует условиям среды. Условия среды подходят для проведения работ при соответствии требуемым нормам. Фактор характеризуется значением $E5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E5=2$.

п. 6. Фактор соответствует проведению надзора за выполнением процесса. Производится проверка, вероятность появления ошибок средняя. Фактор характеризуется значением $E6=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E6=4$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 6.

Таблица 6 — Попарное сравнение факторов

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E1	1	0	2	1	2	0	6	0,166
E2	2	1	2	2	2	2	11	0,305
E3	0	0	1	0	1	0	2	0,055
E4	1	0	2	1	2	0	6	0,166
E5	0	0	1	0	1	0	2	0,055
E6	2	0	2	2	2	1	9	0,25
ΣE	6	1	10	6	10	3	36	1

По формуле (16) рассчитываем коэффициент E:

$$0,166 \times 3 + 0,305 \times 7 + 0,055 \times 2 + 0,166 \times 3 + 0,055 \times 2 + 0,25 \times 4 = 0,498 + 2,135 + 0,11 + 0,498 + 0,11 + 1 = 4,351 \quad (16)$$

Следовательно, $RPZ_{\text{расчет}} = 3,296 \times 5,438 \times 4,351 = 78$

На основе выполненного факторного анализа, было установлено, что для операции №25 «Фрезеровать лыску, выдерживая размеры $34 \pm 0,1$; 4,4; 4 фаски 1,5 х 45 4 места» $RPZ_{\text{назначенное}}$ из FMEA-анализа сопоставимо с $RPZ_{\text{расчет}}$, следовательно, эта операция может привести к получению недостоверных результатов.

Операция №29 «расточить $\phi 30$, $\phi 50$ »

Исходные коэффициенты:

$$A=2, B=6, E=7, RPZ = 84$$

Сначала рассмотрим факторный анализ коэффициента А.

п. 1. Фактор, соответствует уровню квалификации персонала, при котором контролер обладает недостаточной компетенцией в данном процессе. Фактор характеризуется значением $A1=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A1=2$.

п. 2. Фактор, соответствует методике исполнения операции, в которой во избежание появления дефекта используются специальные инструкции. Фактор характеризуется значением $A2=4...6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A2=4$.

п. 3. Фактор соответствует управлению процессом. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто донастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $A3=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A3=3$.

п. 4. Фактор соответствует уровню использования специальных технических средств. Вероятность необнаружения дефекта мала. Для обнаружения дефекта используются специальные средства контроля. Фактор характеризуется значением $A4=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A4=3$.

п. 5. Фактор соответствует среде, в которой проводится испытание. Условия среды практически в полной мере удовлетворяет требованиям процесса. Фактор характеризуется значением $A5=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A5=2$.

п. 6. Фактор соответствует применяемым технологическим средствам для проведения работ. Оборудование для проведения работ включает в свой состав специальное и универсальное, но имеет небольшие несоответствия требуемому уровню, которые практически не влияют на ход процесса. Фактор характеризуется значением $A6=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A6=3$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 7.

Таблица 7 — Попарное сравнение факторов

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ΣA_{ij}	a_i
A1	1	0	0	0	1	0	2	0,055
A2	2	1	2	2	2	2	11	0,305
A3	2	0	1	1	2	1	7	0,194
A4	2	0	1	1	2	1	7	0,194
A5	1	0	0	0	1	0	2	0,055
A6	2	0	1	1	2	1	7	0,194
ΣA	10	1	5	5	10	5	36	1

По формуле (17) рассчитываем коэффициент А:

$$0,055 \times 2 + 0,305 \times 4 + 0,194 \times 3 + 0,194 \times 3 + 0,055 \times 2 + 0,194 \times 3 = 0,11 + 1,22 + 0,582 + 0,582 + 0,11 + 0,582 = 3,186 \quad (17)$$

Далее переходим к аналогичному рассмотрению коэффициента В.

п. 1. Фактор соответствует изменению основных функций средства исполнения процесса. Существует дефект средней тяжести, который не приводит к остановке процесса, но снижает качество его функционирования. Для нормального протекания процесса требуется обязательное устранение дефекта. Фактор характеризуется значением $B1=4\dots5$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B1=5$.

п. 2. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Существуют функциональные отклонения средней тяжести, которые не приводят к остановке процесса, но снижают качество их функционирования. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение данных отклонений. Фактор характеризуется значением $B2=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B2=6$.

п. 3. Фактор соответствует отклонению входного продукта средней тяжести, которое не приводит к остановке, но снижает качество протекания процесса. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение отклонения.

Фактор характеризуется значением $V3=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V3=6$.

п. 4. Фактор соответствует уровню безопасности жизнедеятельности, при котором угроз безопасности жизнедеятельности нет. Допустим, что экспертами выбрано значение $V4=1$.

п. 5. Фактор соответствует уровню экологической составляющей процесса, при котором угрозы окружающей среде нет. Фактор характеризуется значением $V5=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V5=1$.

п. 6. Фактор соответствует уровню управления. Присутствуют заметные отклонения при внешних воздействиях, снижающие качество функционирования. Фактор характеризуется значением $V6=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 8.

Таблица 8 — Парное сравнение факторов

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	ΣV_{ij}	b_i
V1	1	0	0	2	2	0	5	0,138
V2	2	1	1	2	2	1	9	0,25
V3	2	1	1	2	2	1	9	0,25
V4	0	0	0	1	1	0	2	0,055
V5	0	0	0	1	1	0	2	0,055
V6	2	1	1	2	2	1	9	0,25
ΣV	7	3	3	10	10	3	36	1

По формуле (18) рассчитываем коэффициент В:

$$0,138 \times 5 + 0,25 \times 6 + 0,25 \times 6 + 0,055 \times 2 + 0,055 \times 2 + 0,25 \times 6 = 0,69 + 1,5 + 1,5 + 0,11 + 0,11 + 1,5 = 5,41 \quad (18)$$

И в заключении проводим анализ коэффициента Е.

п. 1. Фактор соответствует использованию специальных технических средств контроля. Вероятность необнаружения дефекта средняя. Используются технические средства контроля, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к операции контроля и достоверность информации.

Фактор характеризуется значением $E1=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E1=5$.

п. 2. Фактор методов обнаружения дефекта соответствует использованию специальных методов обнаружения, используются специальные методы обнаружения, которые недостаточно адекватны ситуации, вероятность необнаружения дефекта средняя. Фактор характеризуется значением $E2=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E2=5$.

п. 3. Фактор обучения персонала (оператора) соответствует уровню подготовки персонала, при котором персонал проходит обучение, однако оно недостаточно полно удовлетворяет требованиям существующей ситуации. Фактор характеризуется значением $E3=2$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E3=2\dots3$.

п. 4. Фактор соответствует управлению процессом механической обработки. При воздействии на процесс его реакция часто неоднозначна; эти отклонения влияют на качество процесса. Подстроить процесс без привлечения специалистов возможно, но сложно. Фактор характеризуется значением $E4=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E4=6$.

п. 5. Фактор соответствует условиям среды. Условия среды подходят для проведения работ при соответствии требуемым нормам. Фактор характеризуется значением $E5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E5=2$.

п. 6. Фактор соответствует проведению надзора за выполнением процесса. Производится проверка, вероятность появления ошибок средняя. Фактор характеризуется значением $E6=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E6=4$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 9.

Таблица 9 — Попарное сравнение факторов

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E1	1	1	2	0	2	2	8	0,222
E2	1	1	2	0	2	2	8	0,222
E3	0	0	1	0	1	0	2	0,055

Продолжение таблицы 9

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E4	2	2	2	1	2	2	11	0,305
E5	0	0	1	0	1	0	2	0,055
E6	0	0	2	0	2	1	5	0,138
ΣE	4	4	10	1	10	7	36	1

По формуле (19) рассчитываем коэффициент E:

$$0,222 \times 5 + 0,222 \times 5 + 0,055 \times 2 + 0,305 \times 6 + 0,055 \times 2 + 0,138 \times 4 = 1,11 + 1,11 + 0,11 + 1,83 + 0,11 + 0,552 = 4,822 \quad (19)$$

Следовательно, $RPZ_{расчет} = 3,186 \times 5,41 \times 4,822 = 83$

На основе выполненного факторного анализа, было установлено, что для операции №18 «Контролировать размеры согласно чертежу» $RPZ_{назначенное}$ из FMEA-анализа сопоставимо с $RPZ_{расчет.}$, следовательно, эта операция может привести к получению недостоверных результатов.

Операция № 40 «Гравировать деталь согласно чертежу».

Исходные коэффициенты:

$$A=2, B=6, E=6, RPZ=72$$

Сначала рассмотрим факторный анализ коэффициента A.

п. 1. Фактор соответствует уровню квалификации персонала, при котором проводится специальное обучение, которое не дает некоторые специфические знания, однако персонал в подавляющем большинстве случаев успешно исполняет работу. Фактор характеризуется значением $A1=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A1=5$.

п. 2. Фактор соответствует методике исполнения операции, в которой имеются специальные нормативные документы, но недостаточно подробные. При достаточной квалификации исполнителей процесс в большинстве случаев протекает нормально. Фактор характеризуется значением $A2=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A2=3$.

п. 3. Фактор соответствует управлению процессом. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не

вливают на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $A3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A3=3$.

п. 4. Фактор соответствует уровню использования специальных технических средств. В ходе операции механической обработки используются стандартные технические средства. Фактор характеризуется значением $A4=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A4=4$.

п. 5. Фактор соответствует среде, в которой проводится испытание. Условия среды практически в полной мере удовлетворяет требованиям процесса. Фактор характеризуется значением $A5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A5=3$.

п. 6. Фактор соответствует применяемым технологическим средствам для проведения работ. Оборудование для проведения работ включает в свой состав специальное и универсальное, но имеет небольшие несоответствия требуемому уровню, которые практически не влияют на ход процесса. Фактор характеризуется значением $A6=2\dots3$. Экспертами выбрано, что значение $A6=3$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 10.

Таблица 10 — Попарное сравнение факторов

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ΣA_{ij}	a_i
A1	1	2	2	2	2	2	11	0,305
A2	0	1	1	0	1	1	4	0,111
A3	0	1	1	0	1	1	4	0,111
A4	0	2	2	1	2	2	9	0,25
A5	0	1	1	0	1	1	4	0,111
A6	0	1	1	0	1	1	4	0,111
ΣA	1	8	8	3	8	8	36	1

По формуле 20 рассчитываем коэффициент А:

$$0,305 \times 5 + 0,111 \times 3 + 0,111 \times 3 + 0,25 \times 4 + 0,111 \times 3 + 0,111 \times 3 = 1,525 + 0,333 + 0,333 + 1 + 0,333 + 0,333 = 3,857 \quad (20)$$

Далее переходим к аналогичному рассмотрению коэффициентов В.

п. 1. Фактор соответствует изменению основных функций средства исполнения процесса. Присутствует дефект средней тяжести, который не приводит к остановке процесса, но снижает качество его функционирования. Фактор характеризуется значением $V1=4...5$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V1=5$.

п. 2. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Наблюдается функциональное отклонение средней тяжести, которое не приводит к остановке процесса, но снижает качество функционирования. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Фактор характеризуется значением $V2=4...5$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V2=5$.

п. 3. Фактор соответствует отклонению входного продукта. Несущественные отклонения входного продукта, которые не приводят к изменению качества и вызывают незначительные затруднения потребителя. Фактор характеризуется значением $V3=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V3=3$.

п. 4. Фактор соответствует уровню безопасности жизнедеятельности, при котором угроз безопасности жизнедеятельности нет. Фактор характеризуется значением $V4=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V4=1$.

п. 5. Фактор соответствует уровню экологической составляющей процесса, при котором угрозы окружающей среде нет. Фактор характеризуется значением $V5=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V5=1$.

п. 6. Фактор соответствует уровню управления. Присутствуют несущественные отклонения процесса от внешних воздействий. Фактор характеризуется значением $V6=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано, что значение $V6=3$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 11.

Таблица 11 — Попарное сравнение факторов

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	ΣB_{ij}	b_i
B1	1	1	2	2	2	2	10	0,277
B2	1	1	2	2	2	2	10	0,277
B3	0	0	1	2	2	1	6	0,166
B4	0	0	0	1	1	0	2	0,055
B5	0	0	0	1	1	0	2	0,055
B6	0	0	1	2	2	1	6	0,166
ΣB	2	2	6	10	10	6	36	1

По формуле (21) рассчитываем коэффициент В:

$$0,277 \times 5 + 0,277 \times 5 + 0,166 \times 3 + 0,055 \times 1 + 0,055 \times 1 + 0,166 \times 3 = 1,385 + 1,385 + 0,498 + 0,055 + 0,055 + 0,498 = 3,876 \quad (21)$$

И в заключении проведем анализ коэффициента Е.

п. 1. Фактор соответствует использованию специальных технических средств контроля. Вероятность необнаружения дефекта средняя. В ходе операции механической обработки используются технические средства, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к рассматриваемой операции. Фактор характеризуется значением $E1=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E1=6$.

п. 2. Фактор методов обнаружения дефекта соответствует использованию специальных методов обнаружения, используются специальные методы обнаружения, которые недостаточно адекватны ситуации, вероятность необнаружения дефекта средняя. Фактор характеризуется значением $E2=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E2=6$.

п. 3. Фактор обучения персонала (оператора) соответствует уровню подготовки персонала. Персонал проходит обучение, однако оно недостаточно полно удовлетворяет требованиям существующей ситуации. Фактор характеризуется значением $E3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E3=2$.

п. 4. Фактор соответствует управлению процессом механической обработки. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения

практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $E4=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E4=3$.

п. 5. Фактор соответствует условиям среды. Условия среды подходят для проведения работ при соответствии требуемым нормам. Фактор характеризуется значением $E5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E5=2$.

п. 6. Фактор соответствует проведению надзора за выполнением процесса. Производится проверка, вероятность появления ошибок средняя. Фактор характеризуется значением $E6=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 12.

Таблица 12 — Попарное сравнение факторов

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E1	1	1	2	2	2	1	9	0,25
E2	1	1	2	2	2	1	9	0,25
E3	0	0	1	0	1	0	2	0,055
E4	0	0	2	1	2	0	5	0,138
E5	0	0	1	0	1	0	2	0,055
E6	1	1	2	2	2	1	9	0,25
ΣE	3	3	10	7	10	3	36	1

По формуле (22) рассчитываем коэффициент E:

$$0,25 \times 6 + 0,25 \times 6 + 0,055 \times 2 + 0,138 \times 3 + 0,055 \times 2 + 0,25 \times 6 = 1,5 + 1,5 + 0,11 + 0,414 + 0,11 + 1,5 = 5,134 \quad (22)$$

Следовательно, $RPZ_{расчет} = 3,857 \times 3,876 \times 5,134 = 75$

На основе выполненного факторного анализа, было установлено, что для операции №40 «Гравировать деталь согласно чертежу» $RPZ_{назначенное}$ из FMEA — анализа сопоставимо с $RPZ_{расчет.}$, следовательно, эта операция может привести к получению недостоверных результатов.

4.3. Оценка влияния использования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами на показатель общей эффективности оборудования

Как уже было отмечено, одной из особенностей мелкосерийного предприятия является последовательный тип производства, при котором отсутствуют заделы. Это ведет к необходимости уделять повышенное внимание планированию производства и на ранних этапах выявлять дефектные детали. Это позволяет осуществить предложенная в работе интегрированная автоматизированная система управления производственными процессами. В целях анализа возможности обеспечить выпуск партии деталей согласно установленным срокам, прописанных в нормативно-технической документации в целях обеспечения установленных заказчиком сроков, необходимо оценить, какое количество времени занимает изготовлении партии деталей с применением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами и без нее.

Для того чтобы оценить сокращение времени при использовании интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при последовательном типе производства, соберем статистические данные изготовления партии деталей. Для визуализации временных затрат на изготовление партии деталей, был построен график, визуализирующий различные ситуации технологического процесса изготовления деталей. Данные, на основе которых был построен график, представлены в таблицах 13 и 14.

Таблица 13 — Временные затраты технологического процесса в ситуации с применением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Технологический процесс	С применением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами без дефектных деталей		
	Тпз (часы)	Тшт (часы)	Тсум (часы)
№ технологического процесса			
1	0,03	0,2	0,23
2	8,33	2,9	11,23

Продолжение таблицы 13

Технологический процесс	С применением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами без дефектных деталей		
	№ технологического процесса	Тпз (часы)	Тшт (часы)
3	8,33	2,9	11,23
4	0,08	0,75	0,83
5	0,02	0,15	0,17
6	0,03	0,25	0,28
7	0,25	2,5	2,75
8	0,25	2,5	2,75
9	0,8	8	8,80
10	0,05	0,5	0,55
11	0,05	0,5	0,55
12	0,03	0,25	0,28
13	0,02	0,15	0,17
14	0,03	0,25	0,28
15	0,5	5	5,50
16	0,6	6	6,60
17	0,25	2,5	2,75
18	0,1	1	1,10
19	0,03	0,25	0,28
20	0,08	0,75	0,83
21	0,02	0,2	0,22
22	0,05	0,5	0,55
23	0,02	0,15	0,17
24	0,05	1,5	1,55
25	0,08	0,33	0,41
26	0,08	0,75	0,83
27	0,02	0,15	0,17
28	0,08	0,75	0,83
29	0,03	0,25	0,28
30	0,5	5	5,50
31	0,6	6	6,60
32	0,25	2,5	2,75
33	0,08	0,75	0,83
34	0,05	0,5	0,55
35	0,02	0,15	0,17
36	0,02	0,15	0,17
37	0,02	0,17	0,19
38	0,03	0,25	0,28
39	0,05	0,5	0,55
		Часы	79,760000

Таблица 14 — Временные затраты технологического процесса в ситуации без применения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Технологический процесс	Обнаружение брака		Повторный процесс		Без применения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при обнаружении дефектных деталей
	Тпз	Тшт	Тпз	Тшт	
1	0,03	0,20	0,03	0,20	0,47
2	8,33	2,90	8,33	2,90	22,47
3	8,33	2,90	8,33	2,90	22,47
4	0,08	0,75	0,08	0,75	1,67
5	0,02	0,15	0,02	0,15	0,33
6	0,03	0,25	0,03	0,25	0,57
7	0,25	2,50	0,25	2,50	5,50
8	0,25	2,50	0,25	2,50	5,50
9	0,80	8,00	0,80	8,00	17,60
10	0,05	0,50	0,05	0,50	1,10
11	0,05	0,50	0,05	0,50	1,10
12	0,03	0,25	0,03	0,25	0,57
13	0,02	0,15	0,02	0,15	0,33
14	0,03	0,25	0,03	0,25	0,57
15	0,50	5,00	0,50	5,00	11,00
16	0,60	6,00	0,60	6,00	13,20
17	0,25	2,50	0,25	2,50	5,50
18	0,10	1,00	0,10	1,00	2,20
19	0,03	0,25	0,03	0,25	0,57
20	0,08	0,75	0,08	0,75	1,67
21	0,02	0,20	0,02	0,20	0,43

Продолжение таблицы 14

Технологический процесс	Обнаружение брака		Повторный процесс		Без применения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при обнаружении дефектных деталей
	Тпз	Тшт	Тпз	Тшт	
22	0,05	0,50	0,05	0,50	1,10
23	0,02	0,15	0,02	0,15	0,33
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,08	0,75	0,08	0,75	1,67
27	0,02	0,15	0,02	0,15	0,33
28	0,08	0,75	0,08	0,75	1,67
29	0,03	0,25	0,03	0,25	0,57
30	0,50	5,00	0,50	5,00	11,00
31	0,60	6,00	0,60	6,00	13,20
32	0,25	2,50	0,25	2,50	5,50
33	0,08	0,75	0,08	0,75	1,67
34	0,05	0,50	0,05	0,50	1,10
35	0,02	0,15	0,02	0,15	0,33
36	0,02	0,15	0,02	0,15	0,33
37	0,02	0,17	0,02	0,17	0,37
38	0,03	0,25	0,03	0,25	0,57
39	0,05	0,50	0,05	0,50	1,10
				Часы	155,6333333

График, визуализирующий временные затраты по каждому из вариантов технологического процесса, представлен на Рисунке 34. По оси абсцисс представлены операции технологического процесса, по оси ординат — время в часах.

На графике представлены две различные ситуации технологического процесса изготовления деталей. Для более наглядной визуализации временных затрат каждого из вариантов технологического процесса, проведена линейная аппроксимация, которая характеризуется двумя пунктирными линиями тренда.

Первая линия визуализирует ситуацию при внедрении данной системы в случае обнаружения дефектных деталей после особо ответственной технологической операции. Вторая линия характеризует ситуацию технологического процесса с обнаружением дефектных деталей на последней технологической операции без применения интегрированной автоматизированной системы.

Как видно из графика, внедрение интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами позволяет в случае обнаружения дефектных деталей обеспечить изготовление всей партии деталей в срок согласно технической документации, прописанной в заявке заказчика.

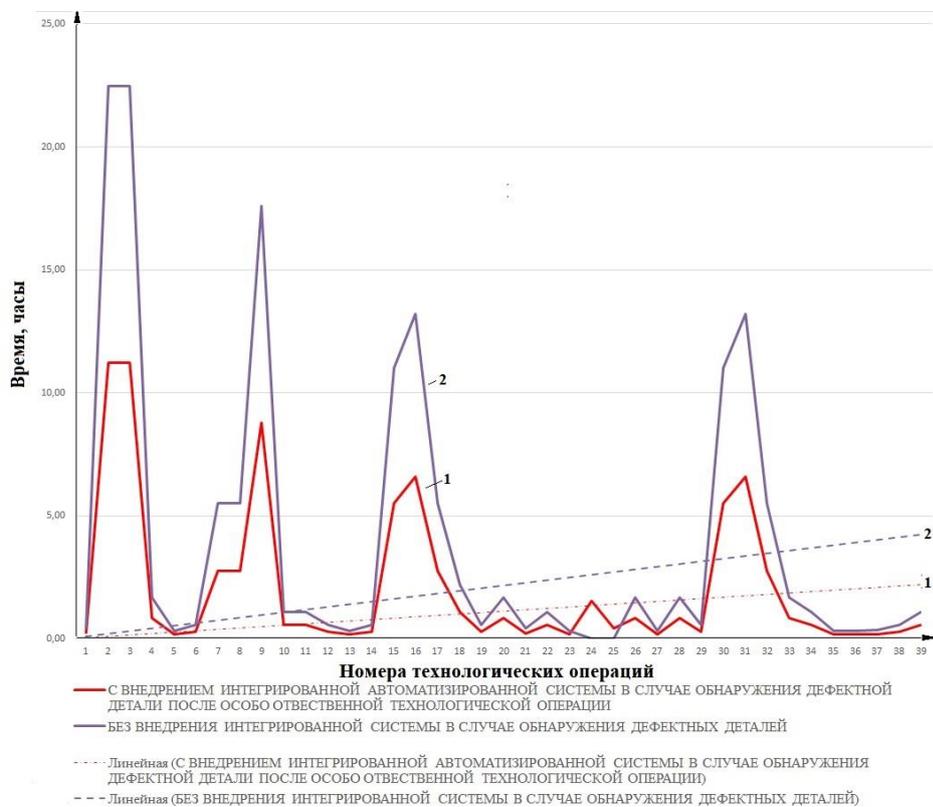


Рисунок 34 — График визуализации временных затрат технологического процесса при внедрении и без внедрения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Без применения данной системы в случае обнаружения дефектных деталей время изготовления значительно увеличивается, что может привести к срыву установленных сроков [15].

Смоделируем ситуацию обнаружения дефектных деталей в технологическом процессе после особо ответственной технологической операции. Измерения параметров детали проводятся при помощи высокоточного измерительного оборудования, в рассматриваемой ситуации этим оборудованием является координатно-измерительная машина. Как уже было отмечено, особо ответственную технологическую операцию определяет технолог. По результатам контроля параметров деталей было обнаружено 3 дефектных детали в партии из 12 штук. Установлено, что общее время изготовления всей партии составляет 864 минуты. Как уже было отмечено, коэффициент качества входит в показатель общей эффективности оборудования, и рассчитывается по формуле [85]:

$$K_{\text{кач}} = \frac{\sum_i T_i (B_{\text{выр}_i} - B_i)}{\sum_i T_i B_{\text{выр}_i}} \quad (23)$$

Тогда, коэффициент качества для моделируемой ситуации рассчитывается следующим образом:

$$T_i = \frac{864}{12} = 72 \text{ мин}$$

$$\sum_i T_i (B_{\text{выр}_i} - B_i) = 648 \text{ мин}$$

$$\sum_i T_i B_{\text{выр}_i} = 864 \text{ мин}$$

$$K_{\text{кач}1} \approx 0,75$$

$$K_{\text{кач}2} \approx 1,$$

$K_{\text{кач}1}$ (коэффициент качества 1) характеризует ситуацию изготовления партии деталей без применения интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами в случае обнаружения дефектных деталей, его значение равно 0,75. $K_{\text{кач}2}$ (коэффициент качества 2), значение которого стремится к 1, характеризует применение интегрированной

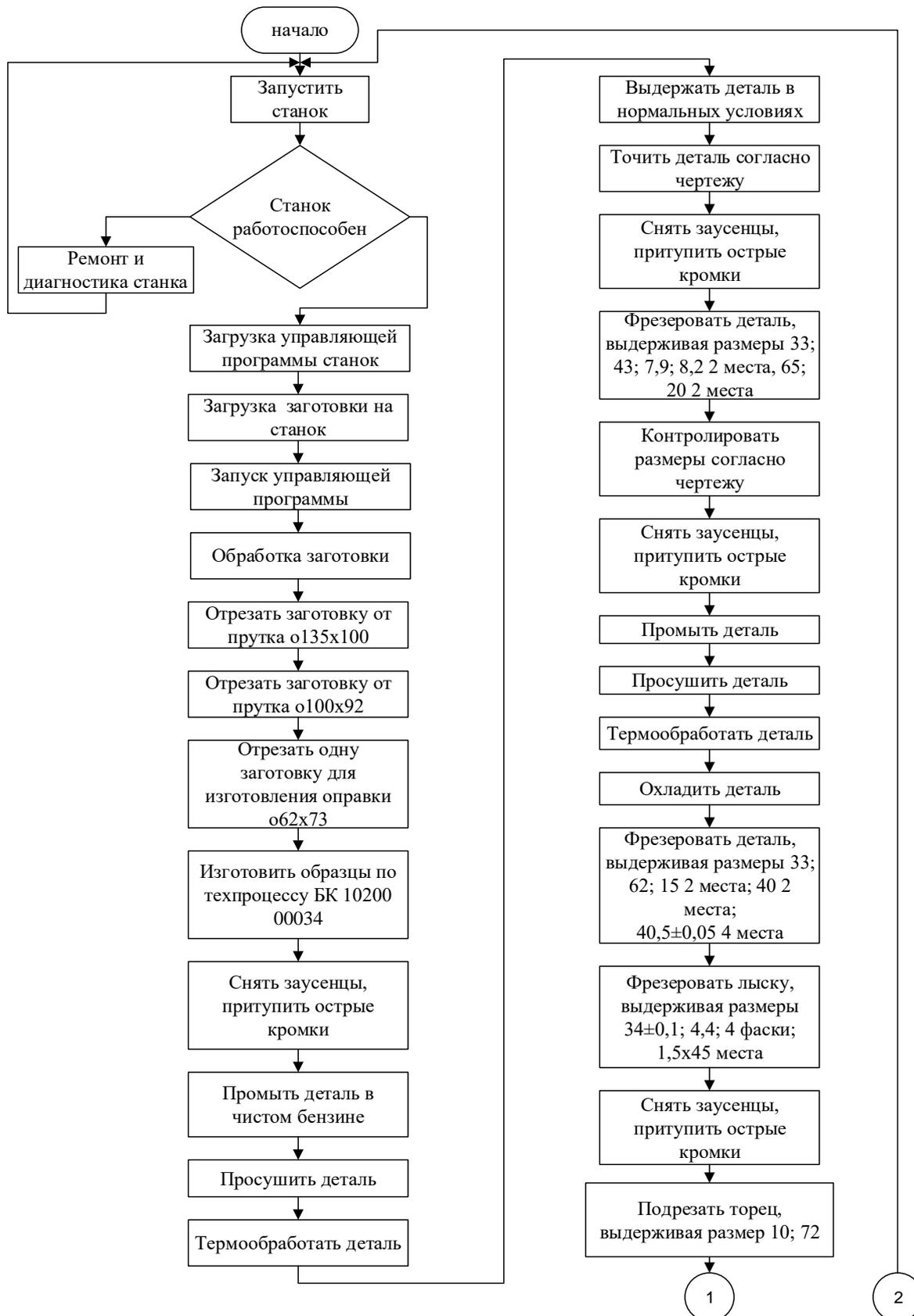
автоматизированной системы также в случае обнаружения дефектных деталей в партии. Как видно из полученного значения, для формулы $K_{кач1}$ оставшиеся значения 0,25 представляет собой дефектную продукцию, которая подлежит исправлению. Таким образом, при внедрении КИМ после особо ответственной технологической операции, коэффициент качества оставшейся партии деталей стремится к 1. Для того чтобы коэффициент качества всей партии на интервале планирования также стремился к 1, необходимо путем устранения дефектных деталей своевременно компенсировать дефицит годной продукции с помощью корректировки производственного расписания. В таком случае, количество дефектных деталей на интервале планирования стремится к нулю, следовательно, повышается качество выпускаемых деталей, согласно формуле $K_{кач2}$.

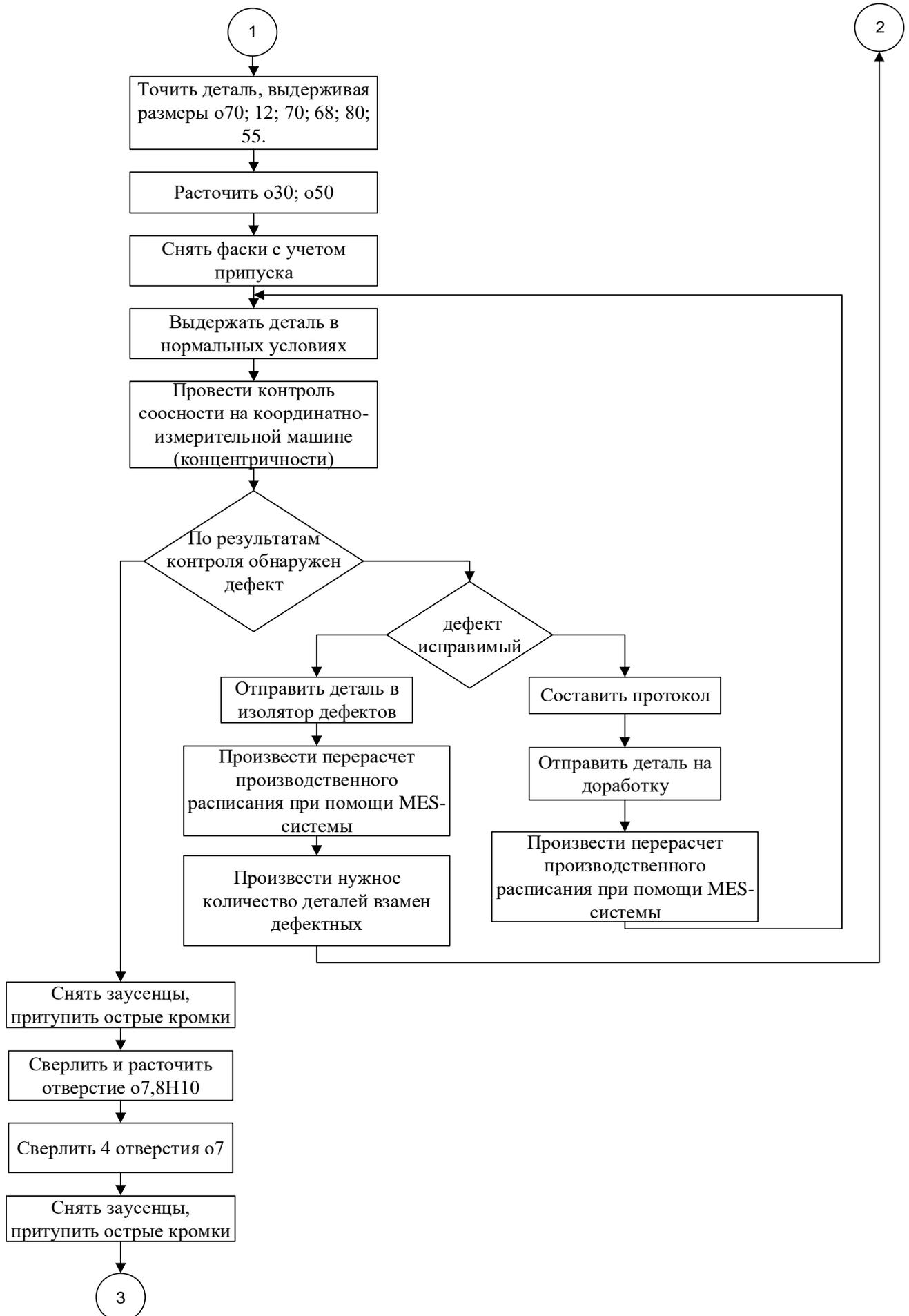
Таким образом, за счет своевременной компенсации дефектных деталей, при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами предоставляется возможность повысить значение множителя коэффициента качества, входящего в состав показателя общей эффективности оборудования ОЕЕ [87]. В среднем достигается увеличение показателя ОЕЕ на 15—20%, что создает предпосылки для повышения конкурентоспособности предприятия.

4.4. FMEA-анализ на примере процесса изготовления детали типа «Рама» с внедрением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

Алгоритм технологического процесса изготовления детали типа «Рама» при внедрении КИМ после ответственной операции служит целям представления последовательности операций при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами. Кроме

того, на основании данного алгоритма появляется возможность построить FMEA-анализ соответствующего процесса. Данный алгоритм представлен на Рисунке 35.





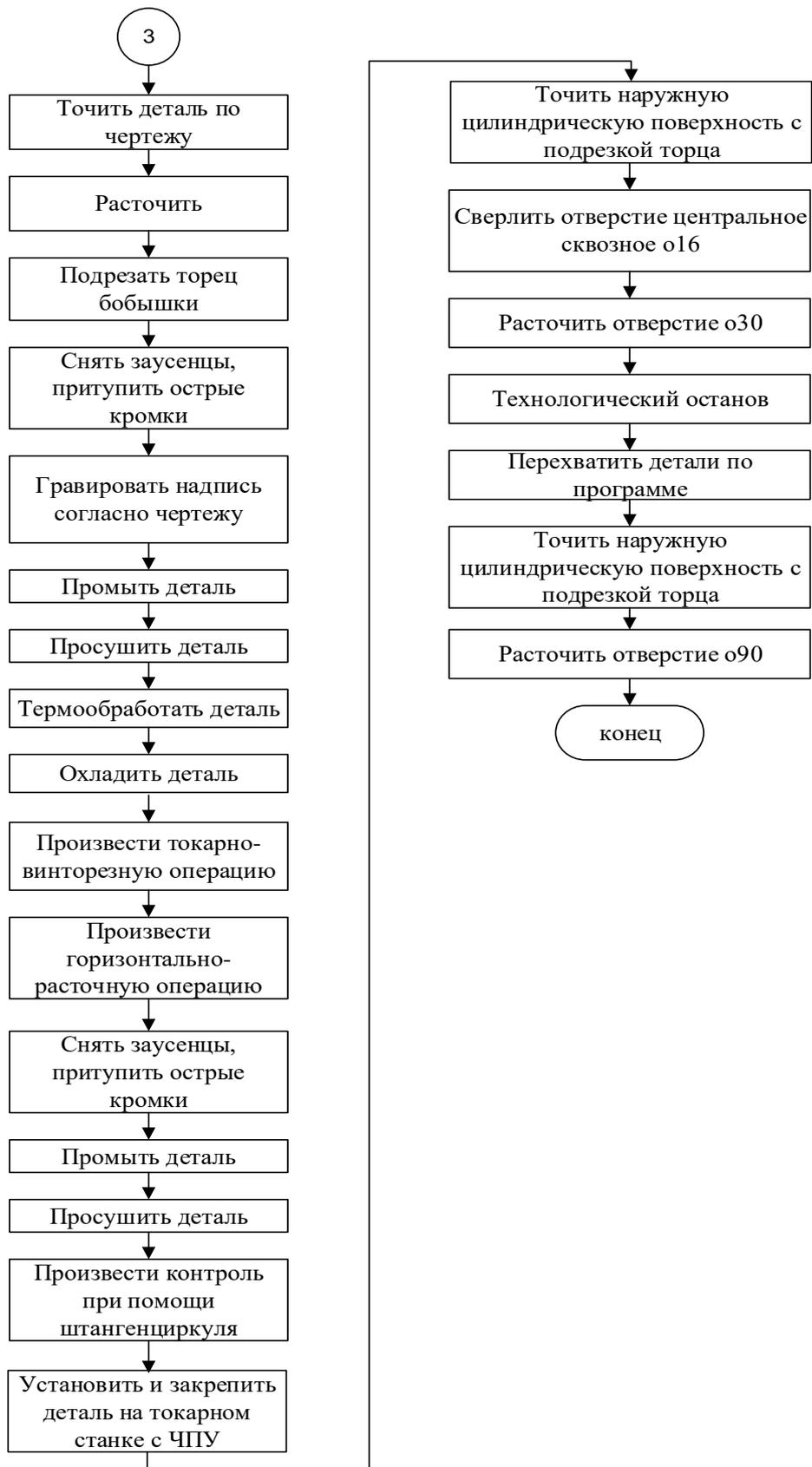


Рисунок 35 — Фрагмент алгоритма технологического процесса изготовления детали типа «Рама»

С целью определения переходов повышенного риска на примере технологического процесса изготовления детали типа «Рама» с применением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, проводится анализ возникновения потенциальных дефектов и их влияния на потребителя (FMEA-анализ характера и последствий отказов), фрагмент которой представлен в таблице 15.

Таблица 15 — Фрагмент FMEA-анализа технологического процесса изготовления детали типа «Рама» с применением интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
22	Термообработать деталь	Деталь обработана недостаточное количество времени	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	5	80
23	Охладить деталь	Деталь не охлаждена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	5	60
24	Фрезеровать деталь, выдерживая размеры 33; 62; 15 2 места; 40 2 места; 40,5 ± 0,05 4 места	Расфрезеровано недостаточное количество поверхностей	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	5	5	50
25	Фрезеровать лыску, выдерживая размеры 34±0,1; 4,4; 4 фаски 1,5 x 45 4 места	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	5	5	50
26	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
27	Подрезать торец, выдерживая размеры 10; 72	Размеры выдержаны неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	5	6	60
28	Точить деталь, выдерживая размеры о70; 12; 70; 68; 60; 55	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
29	Расточить о30; о50	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	4	48
30	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72

Продолжение таблицы 15

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
31	Выдержать деталь в нормальных условиях	Нормальные условия не установлены	Поломка климатического оборудования	Временные потери	2	2	5	20
32	Провести контроль соосности на координатно-измерительной машине (концентричности)	Координатно-измерительная машина не запускается	Поломка координатно-измерительной машины	Временные потери	2	5	2	20
33	Отправить деталь в изолятор дефектов	Отправлена не та деталь	Невнимательность оператора	Финансовые потери	2	9	5	90
34	Произвести перерасчет производственного расписания при помощи MES-системы	Система не запустилась	Ошибка программного обеспечения	Финансовые потери и временные потери	1	9	2	18
35	Произвести нужное количество деталей взамен дефектных	Произведено неверное количество деталей	Ошибка программного обеспечения	Финансовые потери и временные потери	1	9	8	72
36	Составить протокол	В протоколе ошибка	Невнимательность оператора	Финансовые потери	2	5	6	60
37	Отправить деталь на доработку	Отправлена не та деталь	Невнимательность оператора	Финансовые потери и временные потери	1	8	8	64
38	Произвести перерасчет производственного расписания при помощи MES-системы	Система не запустилась	Ошибка программного обеспечения	Финансовые потери и временные потери	1	9	2	18
39	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
40	Сверлить и расточить о7,8Н10	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72

Согласно приведенному выше FMEA-анализу, можно отметить, что коэффициент риска RPZ для операций механической обработки значительно снизился. Таким образом, оправдано внедрение КИМ после особо ответственной технологической операции, как одного из элементов интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами.

Необходимо иметь уверенность в том, что именно те этапы процесса, что были определены по результатам FMEA—анализа, являются наиболее критичными. Неверное, их определение может привести к неправильным выводам по результатам проведенного исследования. Для минимизации такого вида риска, нужно проверить правильность выбора наиболее критичных этапов процесса [24]. Для этого проведем факторный анализ.

В FMEA — были выявлены операции с наиболее высоким коэффициентом риска RPZ, в частности операция № 33 «Отправить деталь в изолятор брака». С помощью факторного анализа оценим, насколько правильно были рассчитаны параметры RPZ.

Операция № 33 «Отправить деталь в изолятор дефектов».

Исходные коэффициенты:

$$A=2, B=9, E=5, RPZ=90$$

Сначала рассмотрим факторный анализ коэффициента A.

п. 1. Фактор соответствует уровню квалификации персонала, при котором контролер обладает недостаточной компетенцией в данном процессе. Фактор характеризуется значением $A1=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A1=2$.

п. 2. Фактор соответствует методике исполнения операции, в которой во избежание появления дефекта прописаны специальные инструкции. Фактор характеризуется значением $A2=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A2=2$.

п. 3. Фактор соответствует управлению процессом. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $A3=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A3=3$.

п. 4. Фактор соответствует уровню использования специальных технических средств, то есть вероятность необнаружения дефекта мала. Для обнаружения дефекта используются специальные средства контроля. Фактор

характеризуется значением $A4=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A4=3$.

п. 5. Фактор соответствует среде, в которой проводится испытание. Условия среды практически в полной мере удовлетворяет требованиям процесса. Фактор характеризуется значением $A5=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A5=2$.

п. 6. Фактор соответствует применяемым технологическим средствам для проведения работ. Всё оборудование для проведения работ специально разработано для данного случая и полностью соответствует требуемому уровню. Фактор характеризуется значением $A6=2...3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A6=2$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 16.

Таблица 16 — Попарное сравнение факторов

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ΣA_{ij}	a_i
A1	1	1	0	0	1	1	4	0,111
A2	1	1	0	0	1	1	4	0,111
A3	2	2	1	1	2	2	10	0,277
A4	2	2	1	1	2	2	10	0,277
A5	1	1	0	0	1	1	4	0,111
A6	1	1	0	0	1	1	4	0,111
ΣA	9	3	1	5	9	9	36	1

По формуле (24) вычисляем значение фактора А.

$$0,111 \times 2 + 0,111 \times 2 + 0,277 \times 3 + 0,277 \times 3 + 0,111 \times 2 + 0,111 \times 2 = 0,222 + 0,222 + 0,83 + 0,83 + 0,222 + 0,222 = 2,5 \quad (24)$$

Далее переходим к аналогичному рассмотрению коэффициента В.

п. 1. Фактор соответствует изменению основных функций средства исполнения процесса. Присутствует дефект средней тяжести, который не приводит к остановке процесса, но снижает качество его функционирования.

Фактор характеризуется значением $V1=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V1=6$.

п. 2. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Присутствуют функциональные отклонения средней тяжести, которые не приводят к остановке процесса, но снижают качество их функционирования. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение данных отклонений. Фактор характеризуется значением $V2=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V2=6$.

п. 3. Фактор соответствует отклонению входного продукта средней тяжести, которое не приводит к остановке, но снижает качество протекания процесса. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение отклонения. Фактор характеризуется значением $V3=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V3=6$.

п. 4. Фактор соответствует уровню безопасности жизнедеятельности, при котором угроз безопасности жизнедеятельности нет. Фактор характеризуется значением $V4=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V4=1$.

п. 5. Фактор соответствует уровню экологической составляющей процесса, при котором угрозы окружающей среде нет. Фактор характеризуется значением $V5=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V5=1$.

п. 6. Фактор соответствует уровню управления. Присутствуют заметные отклонения процесса при внешних воздействиях, снижающие качество функционирования. Фактор характеризуется значением $V6=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 17.

Таблица 17 — Попарное сравнение факторов

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	ΣV_{ij}	b_i
V1	1	1	1	2	2	1	8	0,222
V2	1	1	1	2	2	1	8	0,222
V3	1	1	1	2	2	1	8	0,222

Продолжение таблицы 17

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	ΣB_{ij}	b_i
B4	0	0	0	1	1	0	2	0,055
B5	0	0	0	1	1	0	2	0,055
B6	1	1	1	2	2	1	8	0,222
ΣB	4	4	4	10	10	4	36	1

По формуле (25) вычисляем значение фактора В:

$$0,222 \times 6 + 0,222 \times 6 + 0,222 \times 6 + 0,055 \times 1 + 0,055 \times 1 + 0,222 \times 6 = 1,332 + 1,332 + 1,332 + 0,055 + 0,055 + 1,332 = 5,438 \quad (25)$$

И в заключении проведем анализ коэффициента Е.

п. 1. Фактор соответствует использованию специальных технических средств контроля. Вероятность необнаружения дефекта средняя. Используются технические средства контроля, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к операции контроля и достоверность информации. Фактор характеризуется значением $E1=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E1=6$.

п. 2. Фактор методов обнаружения дефекта соответствует использованию специальных методов обнаружения, которые мало адекватны существующим условиям. Вероятность необнаружения дефекта высокая. Фактор характеризуется значением $E2=7\dots8$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E2=7$.

п. 3. Фактор обучения персонала (оператора) соответствует уровню подготовки персонала. Персонал проходит обучение, однако оно недостаточно полно удовлетворяет требованиям существующей ситуации. Фактор характеризуется значением $E3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E3=2$.

п. 4. Фактор соответствует управлению операцией при воздействии на процесс его реакция часто неоднозначна; эти отклонения влияют на качество процесса. Поднастроить процесс без привлечения специалистов возможно, но сложно. Фактор характеризуется значением $E4=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано, что значение $E4=4$.

п. 5. Фактор соответствует условиям среды. Условия среды подходят для проведения работ при соответствии требуемым нормам. Фактор характеризуется значением $E5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E5=2$.

п. 6. Фактор соответствует проведению надзора за выполнением процесса. Производится проверка, вероятность появления ошибок средняя. Фактор характеризуется значением $E6=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E6=4$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 18.

Таблица 18 — Попарное сравнение факторов

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E1	1	0	2	2	2	2	9	0,25
E2	2	1	2	2	2	2	11	0,305
E3	0	0	1	0	1	0	2	0,05
E4	0	0	2	1	2	1	6	0,166
E5	0	0	1	0	1	0	2	0,05
E6	0	0	2	1	2	1	6	0,166
ΣE	2	1	10	6	10	6	36	1

По формуле (26) вычисляем значение фактора E:

$$0,25 \times 6 + 0,305 \times 7 + 0,05 \times 2 + 0,166 \times 4 + 0,05 \times 2 + 0,166 \times 4 = 1,5 + 2,135 + 1 + 0,664 + 1 + 0,664 = 6,963 \quad (26)$$

$$\text{Следовательно, } RPZ_{\text{расчет}} = 2,5 \times 5,438 \times 6,963 = 97$$

На основе выполненного полного факторного анализа, было установлено, что для операции №33 «Отправить деталь в изолятор брака» $RPZ_{\text{назначенное}}$ из FMEA-анализа сопоставимо с $RPZ_{\text{расчет}}$, следовательно, эта операция может привести к получению недостоверных результатов.

Операция № 22 «Термообработка детали».

Исходные коэффициенты:

$$A=2, B=8, E=5, RPZ=80$$

Сначала рассмотрим факторный анализ коэффициента А.

п. 1. Фактор соответствует уровню квалификации персонала, при котором контролер обладает недостаточной компетенцией в данном процессе. Фактор характеризуется значением $A1=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A1=2$.

п. 2. Фактор соответствует методике исполнения операции, в которой во избежание появления дефекта имеются специальные нормативные документы, однако они недостаточно подробные. При достаточной квалификации исполнителей процесс в большинстве случаев протекает нормально. Фактор характеризуется значением $A2=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A2=6$.

п. 3. Фактор соответствует управлению процессом термической обработки. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $A3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A3=3$.

п. 4. Фактор соответствует использованию специальных технических средств термической обработки. В ходе операции термической обработки используются технические средства, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к рассматриваемой операции. Фактор характеризуется значением $A4=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A4=6$.

п. 5. Фактор соответствует среде, в которой проводится испытание. Условия среды практически в полной мере удовлетворяет требованиям процесса. Фактор характеризуется значением $A5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A5=2$.

п. 6. Фактор соответствует применяемым технологическим средствам для проведения работ. Оборудование для проведения работ включает в свой состав специальное и универсальное, но имеет небольшие несоответствия требуемому уровню, которые практически не влияют на ход процесса. Фактор характеризуется значением $A6=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A6=3$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 19.

Таблица 19 – Попарное сравнение факторов

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ΣA_{ij}	a_i
A1	1	0	1	0	1	1	4	0,111
A2	2	1	2	1	2	2	10	0,277
A3	1	0	1	0	1	1	4	0,111
A4	2	1	2	1	2	2	10	0,277
A5	1	0	1	0	1	1	4	0,111
A6	1	0	1	0	1	1	4	0,111
ΣA	8	2	8	2	8	8	36	1

По формуле (27) вычисляем значение фактора А:

$$0,111 \times 3 + 0,277 \times 6 + 0,111 \times 3 + 0,277 \times 6 + 0,111 \times 3 + 0,111 \times 3 = 0,333 + 1,662 + 0,333 + 1,662 + 0,333 + 0,333 = 4,656 \quad (27)$$

Далее переходим к аналогичному рассмотрению коэффициента В.

п. 1. Фактор соответствует изменению основных функций средства исполнения процесса. Присутствует дефект средней тяжести, который не приводит к остановке процесса, но снижает качество его функционирования. Фактор характеризуется значением $B1=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B1=6$.

п. 2. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Присутствуют функциональные отклонения средней тяжести, которые не приводят к остановке процесса, но снижают качество их функционирования. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение данных отклонений. Фактор характеризуется значением $B2=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B2=6$.

п. 3. Фактор соответствует отклонению входного продукта. Входной продукт не изменился. Фактор характеризуется значением $B3=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B3=1$.

п. 4. Фактор соответствует уровню безопасности жизнедеятельности, при котором угроза безопасности жизнедеятельности средняя, требуется изменение факторов, воздействующих на процесс. Фактор характеризуется значением $B4=4\dots5$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B4=4$.

п. 5. Фактор соответствует уровню экологической составляющей процесса, при котором угрозы окружающей среде нет. Фактор характеризуется значением $B5=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B5=1$.

п. 6. Фактор соответствует уровню управления. Присутствуют заметные отклонения процесса при внешних воздействиях, снижающие качество функционирования. Фактор характеризуется значением $B6=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 20.

Таблица 20 — Парное сравнение факторов

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	ΣB_{ij}	b_i
B1	1	1	2	2	2	1	9	0,25
B2	1	1	2	2	2	1	9	0,25
B3	0	0	1	0	1	0	2	0,05
B4	0	0	2	1	2	0	5	0,138
B5	0	0	1	0	1	0	2	0,05
B6	1	1	2	2	2	1	9	0,25
ΣB	3	3	10	7	10	3	36	1

По формуле (28) вычисляем значение фактора В:

$$0,25 \times 6 + 0,25 \times 6 + 0,05 \times 1 + 0,138 \times 4 + 0,05 \times 1 + 0,25 \times 6 = 1,5 + 1,5 + 0,05 + 0,552 + 0,05 + 1,5 = 5,152 \quad (28)$$

И в заключении проведем анализ коэффициента Е.

п. 1. Фактор соответствует использованию специальных технических средств контроля. В ходе операции механической обработки используются технические средства, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к рассматриваемой операции. Фактор характеризуется значением $E1=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E1=4$.

п. 2. Фактор методов обнаружения дефекта соответствует использованию специальных методов обнаружения, вероятность необнаружения дефекта мала. Фактор характеризуется значением $E2=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E2=3$.

п. 3. Фактор обучения персонала (оператора) соответствует уровню подготовки персонала. Персонал проходит обучение, однако оно недостаточно полно удовлетворяет требованиям существующей ситуации. Фактор характеризуется значением $E3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E3=2$.

п. 4. Фактор соответствует уровню управления процессом механической обработки. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $E4=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E4=3$.

п. 5. Фактор соответствует условиям среды. Условия среды подходят для проведения работ, при соответствии требуемым нормам. Фактор характеризуется значением $E5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E5=2$.

п. 6. Фактор соответствует проведению надзора за выполнением процесса. Производится проверка, вероятность появления ошибок средняя. Фактор характеризуется значением $E6=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E6=4$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 21.

Таблица 21 — Попарное сравнение факторов

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E1	1	2	2	2	2	1	10	0,277
E2	0	1	1	1	2	0	5	0,138
E3	0	1	1	1	2	0	5	0,138
E4	0	1	1	1	2	0	5	0,138
E5	0	0	0	0	1	0	1	0,027
E6	1	2	2	2	2	1	9	0,25
ΣE	2	8	8	7	11	2	36	1

По формуле (29) вычисляем значение фактора E:

$$0,277 \times 4 + 0,138 \times 3 + 0,138 \times 3 + 0,138 \times 3 + 0,027 \times 2 + 0,25 \times 4 = 1,108 + 0,414 + 0,414 + 0,414 + 0,054 + 1 = 3,404 \quad (29)$$

$$\text{Следовательно, } RPZ_{\text{расчет}} = 4,656 \times 5,152 \times 3,404 = 81$$

На основе выполненного полного факторного анализа, было установлено, что для операции №22 «Термообработка детали» $RPZ_{\text{назначенное}}$ из FMEA — анализа сопоставимо с $RPZ_{\text{расчет.}}$, следовательно, эта операция может привести к получению недостоверных результатов функционирования процесса.

Операция № 40 «Сверлить и расточить о7,8Н10».

Исходные коэффициенты:

$$A=2, B=6, E=6, RPZ=72$$

Сначала рассмотрим факторный анализ коэффициента А.

п. 1. Фактор соответствует уровню квалификации персонала, при котором контролер обладает недостаточной компетенцией в данном процессе. Фактор характеризуется значением $A1=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A1=2$.

п. 2. Фактор соответствует методике исполнения операции, в которой во избежание появления дефекта используются специальные инструкции. Фактор характеризуется значением $A2=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A2=2$.

п. 3. Фактор соответствует управлению процессом термической обработки. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $A3=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A3=3$.

п. 4. Фактор соответствует использованию специальных технических средств. В ходе операции обработки используются специальные средства. Фактор характеризуется значением $A4=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A4=3$.

п. 5. Фактор соответствует среде, в которой проводится испытание. Условия среды практически в полной мере удовлетворяет требованиям процесса. Фактор

характеризуется значением $A5=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A5=2$.

п. 6. Фактор соответствует применяемым технологическим средствам для проведения работ. Оборудование для проведения работ включает в свой состав специальное и универсальное, но имеет небольшие несоответствия требуемому уровню, которые практически не влияют на ход процесса. Фактор характеризуется значением $A6=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $A6=3$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 22.

Таблица 22 — Попарное сравнение факторов.

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	ΣA_{ij}	a_i
A1	1	1	0	0	1	0	3	0,083
A2	1	1	0	0	1	0	3	0,083
A3	2	2	1	1	2	1	9	0,25
A4	2	2	1	1	2	1	9	0,25
A5	1	1	0	0	1	0	3	0,083
A6	2	2	1	1	2	1	9	0,25
ΣA	9	9	3	3	9	3	36	1

По формуле (30) вычисляем значение коэффициента А:

$$0,083 \times 2 + 0,083 \times 2 + 0,25 \times 3 + 0,25 \times 3 + 0,083 \times 2 + 0,25 \times 3 = 0,166 + 0,166 + 0,75 + 0,75 + 0,166 + 0,75 = 2,748 \quad (30)$$

Далее переходим к аналогичному рассмотрению коэффициента В.

п. 1. Фактор соответствует изменению основных функций средства исполнения процесса. Присутствует дефект средней тяжести, который не приводит к остановке процесса, но снижает качество его функционирования. Фактор характеризуется значением $B1=5\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $B1=6$.

п. 2. Фактор соответствует тяжести функционального отказа процесса. Присутствуют функциональные отклонения средней тяжести, которые не приводят к остановке процесса, но снижают качество их функционирования. Для нормальной работы процесса требуется обязательное устранение данных

отклонений. Фактор характеризуется значением $V_2=5\dots 6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V_2=6$.

п. 3. Фактор соответствует отклонению входного продукта. Входной продукт не изменился. Фактор характеризуется значением $V_3=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V_3=1$.

п. 4. Фактор соответствует уровню безопасности жизнедеятельности, при котором угроз безопасности жизнедеятельности нет. Фактор характеризуется значением $V_4=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V_4=1$.

п. 5. Фактор соответствует уровню экологической составляющей процесса, при котором угрозы окружающей среде нет. Фактор характеризуется значением $V_5=1$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V_5=1$.

п. 6. Фактор соответствует уровню управления. Присутствуют заметные отклонения процесса при внешних воздействиях, снижающие качество функционирования. Фактор характеризуется значением $V_6=5\dots 6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $V_6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 23.

Таблица 23 — Парное сравнение факторов

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	ΣV_{ij}	b_i
V1	1	1	2	2	2	1	9	0,25
V2	1	1	2	2	2	1	9	0,25
V3	0	0	1	1	1	0	3	0,083
V4	0	0	1	1	1	0	3	0,083
V5	0	0	1	1	1	0	3	0,083
V6	1	1	2	2	2	1	9	0,25
ΣV	3	3	9	9	9	3	36	1

По формуле (31) вычисляем значение коэффициента В:

$$0,25 \times 6 + 0,25 \times 6 + 0,083 \times 1 + 0,083 \times 1 + 0,083 \times 1 + 0,25 \times 6 = 1,5 + 1,5 + 0,083 + 0,083 + 0,083 + 1,5 = 4,74 \quad (31)$$

И в заключении проведем анализ коэффициента Е.

п. 1. Фактор соответствует использованию специальных технических средств контроля. В ходе операции механической обработки используются технические средства, параметры которых недостаточно хорошо обеспечивают требования к рассматриваемой операции. Фактор характеризуется значением $E1=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E1=6$.

п. 2. Фактор методов обнаружения дефекта соответствует использованию специальных методов обнаружения, которые недостаточно адекватны ситуации; вероятность необнаружения дефекта средняя. Фактор характеризуется значением $E2=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E2=5$.

п. 3. Фактор обучения персонала (оператора) соответствует уровню подготовки персонала, которое дает только базовые знания. Фактор характеризуется значением $E3=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E3=4$.

п. 4. Фактор соответствует уровню управления процессом механической обработки. При воздействии на процесс его реакция не всегда однозначна, но эти отклонения практически не влияют на качество процесса. Достаточно просто поднастроить процесс без привлечения специалистов. Фактор характеризуется значением $E4=2\dots3$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E4=3$.

п. 5. Фактор соответствует условиям среды. Созданы условия, соответствующие требуемым нормам. Фактор характеризуется значением $E5=2\dots3$. Экспертами выбрано, что значение $E5=3$.

п. 6. Фактор соответствует проведению надзора за выполнением процесса. Производится проверка, вероятность появления ошибок средняя. Фактор характеризуется значением $E6=4\dots6$. Допустим, что экспертами выбрано значение $E6=6$.

Заносим получившиеся значения в таблицу 24.

Таблица 24 — Попарное сравнение факторов

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E1	1	2	2	2	2	1	10	0,277
E2	0	1	2	2	2	0	7	0,194

Продолжение таблицы 24

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	ΣE_{ij}	e_i
E3	0	0	1	2	2	0	5	0,138
E4	0	0	0	1	1	0	2	0,055
E5	0	0	0	1	1	0	2	0,055
E6	1	2	2	2	2	1	10	0,277
ΣE	2	5	7	10	10	2	36	1

По формуле (32) вычисляем значение коэффициента E:

$$0,277 \times 6 + 0,194 \times 5 + 0,138 \times 4 + 0,055 \times 3 + 0,055 \times 3 + 0,277 \times 6 = 1,662 + 0,97 + 0,552 + 0,165 + 0,165 + 1,662 = 5,176 \quad (32)$$

Следовательно, $RPZ_{расчет} = 2,748 \times 4,74 \times 5,176 = 67$

Выявлено, что коэффициенты RPZ рассчитаны верно.

Таким образом, обосновано, что при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, коэффициент риска RPZ для операций механообработки значительно снижается, что приводит к уменьшению влияния человеческого фактора на технологический процесс и, тем самым, приводит к увеличению качества всего технологического процесса.

4.5. Выводы по четвертой главе

1. На основе собранной статистики было выявлено, что рассматриваемый технологический процесс является недостаточно стабильным и управляемым, что визуализирует построенная контрольная (\bar{x} -R) карта.

2. Без внедрения рассматриваемой в работе интегрированной автоматизированной системы, в технологическом процессе изготовления партии деталей существуют операции, характеризующиеся повышенным риском, которые были выявлены при помощи FMEA-анализа. Факторный анализ подтвердил правильность оценок экспертов, полученных по результатам FMEA-анализа.

3. Применение интегрированной автоматизированной системе управления производственными процессами на предприятиях с последовательным типом производства, оказывает положительное влияние на общий показатель эффективности оборудования, что можно оценить на основе смоделированной ситуации обнаружения дефектных деталей в технологическом процессе после особо ответственной технологической операции исходя из увеличения коэффициента качества, входящего в его состав. Исходя из построенного графика, при внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами в случае обнаружения дефектных деталей и без нее, выявлено сокращение временных ресурсов, затрачиваемых на изготовление партии деталей при использовании рассматриваемой системы.

4. При внедрении интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами коэффициент риска, рассчитанный при помощи FMEA-анализа для операций технологического процесса изготовления детали типа «Рама» значительно снижается, что приводит к уменьшению влияния человеческого фактора на технологический процесс и, тем самым, приводит к увеличению качества всего технологического процесса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования и практическая работа позволили получить следующие выводы и результаты:

1. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, позволяющие повысить эффективность управления технологического процесса изготовления годной продукции мелкосерийного производства путем использования интегрированной автоматизированной системы, позволяющей обнаружить дефектные детали после особо ответственной технологической операции и произвести коррекцию производственного расписания.

2. Выявлена связь между характеристиками контроля деталей после особо ответственной технологической операции и корректировкой производственного расписания.

3. На основе выявленной связи, установлена зависимость между своевременной компенсацией дефицита годной продукции и увеличением значения коэффициента качества.

4. На основании выявленной зависимости между своевременной компенсацией дефицита продукции и коррекцией текущего производственного расписания разработана модель информационных потоков интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами, применимая для мелкосерийного типа производства при последовательном способе организации движения деталей, позволяющая описать процесс изготовления партии деталей. Данная модель позволяет представить процесс изготовления деталей с использованием системы автоматизированного проектирования технологических процессов, системы управления производственными заказами и высокоточного измерительного оборудования, которая своевременно позволяет выявить дефектные детали после особо ответственной технологической операции и, тем самым, изготовить их

необходимое количество согласно требованиям, установленным в нормативно-технической документации (заявки заказчика).

5. На основе разработанной модели построен алгоритм управления производственным процессом при выявлении дефектных деталей в мелкосерийном производстве при последовательном способе организации движения деталей, позволяющий выявить взаимосвязи и последовательности операций рассматриваемого процесса.

6. Предложена интегрированная автоматизированная система управления производственными процессами, позволяющая корректировать производственное расписание в условиях мелкосерийного производства с целью получения годной продукции согласно нормативно-технической документации на основе перерасчета производственного расписания при помощи автоматизированной системы. Данная система использует информацию от высокоточного измерительного оборудования и на основе данных о технологическом процессе, полученных от САПР ТП, составляет производственное расписание так, чтобы позволить выполнить производственный заказ в установленный срок.

7. Решения, предложенные в интегрированной автоматизированной системе управления производственными процессами, позволяющие корректировать производственное расписание в условиях мелкосерийного производства с целью получения годной продукции согласно нормативно-технической документации на основе перерасчета производственного расписания позволило оценить эффективность ее внедрения с помощью раскрытия коэффициента качества, входящего в состав показателя общей эффективности оборудования (его увеличение в среднем составляет 15—20%), что подтверждается справкой об использовании результатов диссертационного исследования в АО «ЦНИИАГ».

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Деталь — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, согласно ГОСТ 2.101-2016.

Дефект — каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям, согласно ГОСТ 15467-79.

Устранимый дефект — дефект, устранение которого технически возможно и экономически целесообразно, согласно ГОСТ 15467-79.

Неустранимый дефект — дефект, устранение которого технически невозможно или экономически нецелесообразно, согласно ГОСТ 15467-79.

Контроль детали — совокупность операций по проверке соответствия фактических характеристик детали заданным конструкторским требованиям (соответствие геометрических размеров и относительного положения конструктивных элементов заданным допускам, соответствие макро- и микрогеометрии поверхностей предписанным требованиям и т. д.) согласно Р 50.1.031-2001.

Особо ответственная технологическая операция — операция изготовления, сборки, монтажа, регулировки, настройки, испытаний и контроля, в наибольшей степени влияющая на качество конечной продукции, нарушения в которой могут привести к выходу из строя или к изменению (потере) ее функциональных свойств, согласно ГОСТ Р 55753-2013.

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) — метод анализа видов и последствий отказов).

MCE (Manufacturing Cycle Effectiveness) — показатель эффективности производственного или операционного цикла.

OEE (Overall Equipment Effectiveness) — общая эффективность оборудования.

MES (Manufacturing Execution System) — автоматизированная система управления производственными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Интерпретация контрольных карт Шухарта/ Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Методы менеджмента качества. — 2003. - №11.
2. Адлер, Ю. П. Контрольные карты Шухарта в России и за рубежом: краткий обзор современного состояния (статистические аспекты) / Ю. П. Адлер, О. В. Максимова, В. Л. Шпер // Стандарты и качество. - 2011. - №7. - с. 82 — 87.
3. Адлер, Ю. П. Контрольные карты Шухарта / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Методы менеджмента качества. — 2003. - №№5, 7.
4. Адлер, Ю. П. Работа с контрольными картами Шухарта / Ю. П. Адлер, В. Л. Шпер // Методы менеджмента качества. — 2004. - №3.
5. Ачеркан, Н. С. Статистические методы контроля промышленной продукции. Основы теории и практики применения в зарубежной промышленности / Наум Самойлович Ачеркан. — М.: Машгиз, 1946. — 138 с.
6. Будник, Р. А. MES-системы: задачи и решения [Текст] / Р. А. Будник. // Мир компьютерной автоматизации: журнал, 2003. — №4 — С. 74-78.
7. Веретельников А. К. Режущий инструмент и инструментальное обеспечение в автоматизированном производстве: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / А. К. Веретельников; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Азовский технологический ин-т (фил.) ДГТУ. — Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2009 (Ростов н/Д : Издат. центр ДГТУ). — 340 с.: ил.; 21 см.; ISBN 978-5-7890-0498-2
8. Винарская, Г. А. Многоуровневое моделирование энергетических систем / Г. А. Винарская, Г. Д. Волкова // Информационные технологии в проектировании и производстве. — 2020. — № 2(178). — С. 12-15. — EDN DΥRΠΠ.

9. Волкова, Г. Д. Проблематика нормативного обеспечения процессов создания и развития прикладных автоматизированных систем / Г. Д. Волкова, О. Г. Григорьев, О. В. Новоселова, Л. В. Григорьева, Т. Б. Тюрбеева // Praha: Materialy IX mezinarodni vědecko — prakticka conference «Věda a vznik — 2012/2013». Moderni informační technologie, 2012. С. 12 — 16.
10. Викулова, М. В. Методики ресурсосбережения в процессе оперативно-производственного планирования / М. В. Викулова // Проблемы экономики. — 2011. — № 2. — С. 7-14. — EDN NTFQWJ.
11. ГОСТ Р 50779.42—99 Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. — М.; ИПК Издательство стандартов, 1999. — 36 с.
12. ГОСТ Р 51814.2-2001. Система качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов
13. ГОСТ Р 51901.12 - 2007 (МЭК 60812:2006.) Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов
14. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015 Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта
15. Гришина, Т. Г. Анализ факторов, влияющих на качество технологического процесса / Т. Г. Гришина, А. Н. Феофанов, М. В. Турапин // Технология машиностроения. — 2019. — № 7. — С. 59-69. — EDN TJKTQZ.
16. Джуран, Дж. У истоков статистического контроля качества / Дж. Джуран // Надежность и контроль качества. — 1998. — №7. — С. 50-54; №8. — С. 13-21
17. Загидуллин, Р. Р. Оперативно-календарное планирование в гибких производственных системах [Текст] / Р. Р. Загидуллин, под. ред. В. Ц. Зориктуева. — М.: Изд-во МАИ, 2004. — 208 с.
18. Загидуллин, Р. Р. Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP [Текст] / Р. Р. Загидуллин: монография — Старый Оскол: ТНТ, 2011. — 372 с.

19. Загородников С. В. Оперативно-производственное планирование: учеб. пособие / С. В. Загородников, Т. Ю. Сивчикова, Н. С. Носова. М.: Изд-во Дашков и К°, 2008 287 с.
20. Илларионов, О. И. Проектирование контрольных карт на основе критерия полной вероятности брака / О. И. Илларионов. // Методы Менеджмента Качества. — 2003. - №6. - С. 32-36.
21. Илларионов, О. И. Расчет характеристик контрольных \bar{x} -карт при неточной наладке технологического процесса/ О. И. Илларионов. // Методы Менеджмента Качества. — 2000. - №11. - С. 16-20.
22. Интеграция САПР ТП и MES на основе сквозного конструкторско-технологического проектирования / Е. Б. Фролов, В. В. Крюков, И. И. Нечаева, А. В. Волгапкин // Научные технологии в машиностроении. — 2019. — № 1(91). — С. 25-32. — EDN YUKIRN.
23. Использование фрезерного станка с ЧПУ в качестве измерительного оборудования для выполнения межоперационного контроля геометрической точности деталей / Р. В. Гопаненко, А. А. Гопаненко, Я. Ю. Пикалов, А. В. Редькина // Технология машиностроения. — 2017. — № 5. — С. 44-49. — EDN ZBLSHR.
24. Кане, М. М. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: Учебное пособие / М. М. Кане, Б. В. Иванов, В. Н. Корешков, А. Г. Схиртладзе. — СПб.: Питер, 2008. — 580 с.
25. Капитанов, А. В. Автоматизированные машиностроительные производства: Учебник / А. В. Капитанов, А. П. Попов, А. Г. Схиртладзе. — Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2021. — 288 с. — ISBN 978-5-94178-720-3. — EDN JEJTUN.
26. Крюков, В. В. Автоматизированное проектирование технологических процессов в среде программно-методического комплекса "ТЕМП" / В. В. Крюков, О. Ф. Лукьянец, Ю. А. Островский. — Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2015. — 64 с. — ISBN 9785703841877.

27. Лапидус, В. А. Система статистического управления процессами. Система Шухарта / В. А. Лапидус // Надежность и контроль качества. — 1999. - №5. - С. 11-19; №6. - С. 3-13; №7. - С. 13-21.

28. Локтев, Д. А. Статистическое управление производственными процессами - ключ к успеху современного промышленного предприятия / Д. А. Локтев // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. - 2014. - Т. 2. № 1 (19). - С. 128-136.

29. Лупанов, С. Ю. Основные функции и преимущества Российской MES - системы "Фобос" / С. Ю. Лупанов, В. И. Негребецкая // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научно-практической конференции. В 3-х томах, Курск, 15 ноября 2017 года / Ответственный редактор Е. В. Павлов. — Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2017. — С. 37-40.

30. Лустгартен, Ю. Л. Постановка задачи оперативного планирования единичного производства / Ю. Л. Лустгартен // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. — 2005. — Т. 11. — № 9. — С. 13-16. — EDN RUOKUX.

31. Макино Т. Контроль качества с помощью персональных компьютеров. — Пер. с японск. А. Б. Орфенова; под ред. Ю. П. Адлера. / Т. Макино, М. Охаси, Х Докэ, К Макино. — М.: Машиностроение, 1991. — 224 с.; С.166-174

32. Немировский, Александр Маркович. Механические и электромеханические модели сетевых графиков [Текст] / А. М. Немировский. - Москва: Энергия, 1977. - 112 с.

33. Общая эффективность оборудования / Пер. с англ. / М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2002. 174 с.

34. Обеспечение качества процессов на этапе технологической подготовки производства: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.07 / Гришиной Татьяны Геннадьевны; [Место защиты: Моск. гос. технол. ун-т "Станкин"]. - Москва, 1999. - 177 с.

35. Пономарев, К. С. Цифровой двойник как инструмент цифровой трансформации предприятия / К. С. Пономарев, М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов // Вестник МГТУ "Станкин". – 2019. – № 4(51). – С. 19-23. – EDN ВМУРОQ.
36. Проников А. С. Надежность машин М.: "Машиностроение", 1978 год, 592 с
37. Разработка метода вычисляемых приоритетов для повышения управляемости и скорости исполнения производственных заказов: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.01 / Радченко Юлия Анатольевна; [Место защиты: Моск. гос. технол. ун-т "Станкин"]. - Москва, 2018. - 146 с.
38. РД IDEF 0 — 2000. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ. Издание официальное. — Введ. 2000 г. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2000 — 62 с.
39. Решетников И. С., Козлецов А. П., Медведева Г. М. MES — теория и практика. М.: НГСС, 2011. Вып. 3. 98 с.
40. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616009 Российская Федерация. Модуль интеграции динамической составляющей концептуальной модели: № 2021615079: заявл. 09.04.2021: опубл. 15.04.2021 / А. С. Сидоров, А. Г. Гаврилов, О. В. Новоселова, Г. Д. Волкова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». — EDN SDQQNN.
41. Соломенцев Ю. М., Фролов Е. Б., Феофанов А. Н. Эффективное управление производством-основа потенциала технологической системы //Вестник машиностроения. — 2017. — №. 5. — С. 84-86.
42. Схиртладзе, А. Г. Надежность и диагностика технологических систем: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Металлообрабатывающие станки и комплексы" направления подготовки дипломированных специалистов "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / А. Г. Схиртладзе; А. Г. Схиртладзе, М. С. Уколов, А. В. Скворцов; под ред. А. Г. Схиртладзе. — Москва:

Новое знание, 2008. — 517 с. — (Техническое образование). — ISBN 978-5-94735-139-2.

43. Схиртладзе А. Г. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 1: учебник для среднего профессионального образования / А. Г. Схиртладзе [и др.]; под общей редакцией Н. А. Чемборисова. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 263 с. — ISBN 978-5-534-02278-0.

44. Тихонова, Ю. А. Повышение эффективности мелкосерийного и единичного производства за счёт использования метода вычисляемых приоритетов [Текст] / Ю. А. Тихонова // Социально-экономические и психологические проблемы управления: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. — Москва, МГППУ, факультет Государственного и муниципального управления, 2011. — С. 475-479.

45. Тихонова, Ю. А. Применение планово-предупредительных ремонтов при помощи метода вычисляемых приоритетов. [Текст] / Ю. А. Тихонова // Автоматизация и управление технологическими и производственными процессами: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Уфа: УГАТУ, 2013. — С. 261-265.

46. Тихонова, Ю. А. Управление производством: как не снизить эффективность станочной системы при проведении ППР (ч.2) [Текст] / Ю. А. Тихонова, А. В. Крюков, Г. М. Медведева, А. Б. Мусеридзе, А. И. Зайдуллин, М. Н. Солодовников // Главный механик: журнал - М.: Изд-во ООО "ИД "Панорама", 2012. — №12. — С. 48—52.

47. Толкачев, Н. С. Совершенствования оперативно-календарного планирования, как способ внедрения прогрессивных форм и методов организации производства / Н. С. Толкачев // Символ науки: международный научный журнал. — 2020. — № 12-1. — С. 78-81. — EDN EZWXOH.

48. Тюрбеева, Т. Б. Анализ и моделирование процесса создания прикладных автоматизированных систем на основе применяемых решений / Т. Б. Тюрбеева, Г. Д. Волкова, О. Г. Григорьев // Вестник МГТУ «Станкин», 2013. - №2. - С. 91 - 95.

49. Тюрбеева, Т. Б. Разработка метода моделирования процессов жизненного цикла прикладных автоматизированных систем, обеспечивающего формирование нормативно-методической среды их поддержки: диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.01 / Тюрбеева Татьяна Борисовна; [Место защиты: Моск. гос. технол. ун-т "Станкин"]. - Москва, 2015. - 230 с.

50. Тюрбеева, Т.Б. Моделирование процессов создания, функционирования и развития прикладных автоматизированных систем на базе методологии автоматизации интеллектуального труда / Т. Б. Тюрбеева, Г. Д. Волкова, О. Г. Григорьев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2013. — № 4. - С. 189 - 198.

51. Файнгольд, М. Л. Проблемы совершенствования оперативно-календарного планирования на машиностроительном предприятии / М. Л. Файнгольд, Д. В. Кузнецов // М-во образования Рос. Федерации. Владимир. гос. пед. ин-т. — Владимир, 2003. — 33 с. — EDN QQBQVJ.

52. Феофанов, А. Н. Планирование загрузки измерительного оборудования совместно со станочным парком при помощи MES-системы / А. Н. Феофанов, М. А. Шутиков // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. — 2019. — № 2(4). — С. 43-48. — DOI 10.30987/article_5cf2d32c0f5a12.75882726.

53. Феофанов, А. Н. Применение MES-систем для контроля геометрических параметров подшипников / А. Н. Феофанов, М. А. Шутиков, К. С. Пономарев // Вестник МГТУ "Станкин". – 2018. – № 4(47). – С. 119-121. – EDN YUMZVJ.

54. Феофанов, А. Н. Разработка производственных исполнительных систем в условиях цифрового производства / А. Н. Феофанов, М. А. Шутиков, К. С. Пономарев // Вестник машиностроения. – 2018. – № 9. – С. 25-29. – EDN YLJBLF.

55. Феофанов, А. Н. Составление производственного расписания в системе MES в программной среде «ФОБОС»: учеб. пособие – М.: ФГБОУ ВО

МГТУ «СТАНКИН» / А. Н. Феофанов, Е. Б. Фролов, М. А. Шутиков - М: ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», 2018. - 79 с.: ил

56. Фролов, Е. Б. MES-системы: вид сверху, взгляд изнутри. Критерии, которые мы выбираем [Текст] / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // Генеральный директор: журнал, 2008. — №5. — С. 88-91.

57. Фролов, Е. Б. MES-системы. Критерии, которые мы выбираем. / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // публикация на интернет-сайте MES «ФОБОС» — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/mes-sistemyi.-kriterii-kotoryie-myi-vyibiraem.html>, свободный.

58. Фролов, Е. Б. FOBOS — интегрированная система технологической подготовки, оперативного планирования и управления производством [Текст] / Е. Б. Фролов // Руководство пользователя. — 300 с.

59. Фролов, Е. Б. Производственные исполнительные системы MES: реальная эффективность [Текст] / Е. Б. Фролов. // Вестник компьютерных и информационных технологий: журнал, 2005. — №5. — С. 48-50.

60. Фролов, Е. Б. Производственная логистика, или что такое «вытягивающее» планирование? [Текст] / Е. Б. Фролов // Логистика и управление цепями поставок: журнал, 2010. — № 1 (36). — С. 69—85

61. Фролов, Е. Б. «Прозрачность производства»: зачем она нужна, и как ее обеспечить средствами ERP и MES систем? [Текст] / Е.Б. Фролов, В. В. Крюков, Д. В. Тимофеев // Главный механик: журнал, 2010. — №8;9. — С. 18-26.

62. Фролов, Е. Б. Управление машиностроительным производством с помощью MES-систем. / Е.Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // публикация на интернет-сайте MES «ФОБОС» — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/stati/upravlenie-mashinostroitelnyim-proizvodstvom-s-promoschyu-mes-sistem.html>, свободный.

63. Фролов, Е. Б. Характеристика и функции MES-системы ФОБОС. / Е.Б. Фролов Е. Б // публикация на интернет-сайте MES «ФОБОС» —

[Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fobos-mes.ru/fobos-system/MES-system-characteristic-and-functions.html>, свободный.

64. Фролов, Е. Б. MES-системы, как они есть, или эволюция систем планирования производства / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // Станочный парк. — 2008. — № 10(55). — С. 31-37.

65. Хисамутдинов Р. М. Методология и формализованные методы построения автоматизированной системы создания инструмента для повышения эффективности технической подготовки производства: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: специальность 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в машиностроении). Хисамутдинов Р. М. (Равиль Миргалимович). Дата публикации: 2017

66. Чаруйская, М. А. Выбор методов управления производственными запасами / М. А. Чаруйская // Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2017. - с. 57-59.

67. Чаруйская, М. А. Эффективные методы управления производством /М. А. Чаруйская //Вестник Международного института менеджмента ЛИНК. 2016. - № 14 (43). - с. 88-94.

68. Шаумян Г. А. Комплексная автоматизация производственных процессов / М.: Машиностроение, 1973. 640 с.

69. Штоль, А. А., Епихин А. М. Повышение эффективности современных промышленных предприятий на основе информационных систем оперативного управления производством (MES) [Электронный ресурс] / А. А. Штоль, А. М. Епихин // Бизнес сайт: интернет-портал, 2010 — Режим доступа: <http://www.sitebs.ru/blogs/734.html>, свободный.

70. Шутиков, М. А. Влияние показателя общей эффективности оборудования на контроль деталей после особо ответственной технологической операции с дальнейшим планированием производственного расписания на предприятиях мелкосерийного типа производства / М. А. Шутиков, А. Н.

Феофанов // Вестник МГТУ "Станкин". – 2023. – № 1(64). – С. 22-25. – DOI 10.47617/2072-3172_2023_1_22. – EDN UNNEBS.

71. Шутиков, М. А. Внедрение координатно-измерительной машины после ответственной операции с использованием MES-системы как способ минимизации количества дефектных деталей при изготовлении изделий / М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина // Международный научно-исследовательский журнал. — 2021. — № 9-1(111). — С. 79-84. — DOI 10.23670/IRJ.2021.9.111.012.

72. Шутиков, М. А. Внедрение системы автоматизированного расчета производственного расписания измерительного оборудования совместно со станочным парком / М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов // Вестник современных технологий. — 2019. — № 3(15). — С. 36-40.

73. Шутиков М. А. Использование измерительного оборудования в комплексе с MES-системой при контроле параметров изделия / Шутиков М. А. Феофанов А. Н. / Наука сегодня: опыт, традиции, инновации: материалы международной научно-практической конференции, г. Вологда, 29 июля 2020 г. — Вологда: ООО «Маркер», 2020. С. 21 — 23.

74. Шутиков, М. А. Повышение эффективности выпуска годной продукции путем внедрения в технологический процесс координатно-измерительной машины после ответственной операции с дальнейшей загрузкой в MES-систему / М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов, Е. Б. Фролов // Вестник МГТУ "Станкин". – 2021. – № 4(59). – С. 41-43. – EDN UDLIОН.

75. Шутиков М. А. Повышение эффективности работы ОТК на основе интеграции базы данных результатов контроля с системами оперативного планирования категории MES / А. Н. Феофанов, Е. Б. Фролов, В. В. Крюков, М. А. Шутиков // Технология машиностроения. — 2020. — № 12. — С. 61-64.

76. Шутиков М. А., Феофанов А. Н. Применение MES-систем в контексте обмена информацией между производственными участками и отделами контроля продукции на предприятии / В сборнике: Пром-Инжиниринг. труды V Всероссийской научно-технической конференции. 2019. С. 314-318.

77. Шутиков, М. А. Применение MES-системы на этапах жизненного цикла изделия при изготовлении и контроле на предприятии / М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина // Цифровая экономика: оборудование, управление, человеческий капитал: Материалы II всероссийской научно-практической конференции, Вологда, 20 декабря 2019 года. — Вологда: Общество с ограниченной ответственностью "Маркер", 2019. — С. 82-83.

78. Шутиков М. А. MES-система как инструмент автоматизированного планирования производственного расписания при изготовлении и контроле продукции в современных условиях Индустрии 4.0 / М. А. Шутиков, Феофанов А.Н. // Актуальные тренды и перспективы развития науки, техники, технологий: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 2019. С. 175-179.

79. Шутиков М. А. MES — системы как инструмент оптимизации загрузки контрольно-измерительного оборудования предприятия / М. А. Шутиков, А. Н. Феофанов. // Новые подходы и технологии проектирования, производства, испытаний и промышленного дизайна изделий ракетно-космической техники: сборник трудов II международной молодёжной конференции. - 2018. С. 315-318

80. Davis, R. B. Performance of the Control Chart Trend Rule Under Linear Shift / R.B. Davis, W.H. Woodall // Journal of Quality Technology. — 1988. - vol.20, No.4 (Oct.). - pp.260-262.

81. Shutikov, Michail & Ponomarev, Kirill & Feofanov, Alexander & Grishina, Tat'jana. (2018). Digital technologies in questions of automated manufacturing management systems. MATEC Web of Conferences. 224. 02104. 10.1051/matecconf/201822402104.

82. Kaplan, Robert S. and Norton, David P (1992), "The Balanced Scorecard: Measures That Drive Performance", Harvard Business Review, Jan/Feb 1992. Pp

83. Martinova, L. I. Автоматизация межоперационного контроля точности обработки заготовок в автоматизированных производствах / L. I. Martinova, A. V.

Stas' // Automation and control in machine building. — 2016. — No 2(24). — P. 41-44. — EDN ZAGJJZ.

84. Nakajima S. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. Cambridge, MA: Productivity, 1988.

85. Nakajima, S. Tpm Development Program: Implementing Total Productive Maintenance (English and Japanese Edition), 1989, Productivity Pr (October 1, 1989), 427 p.

86. Saniga, E. M. Economic Statistical Control Chart Design with an Application to x and R Charts /E.M. Saniga. — Technometrics, 1989, v.31(3), pp.313-320.

87. Shutikov, M. A. Introducing a quality factor into the MES system when calculating machinery production schedule together with measuring equipment / M. A. Shutikov, A. N. Feofanov, K. S. Ponomarev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : Сер. 4 2020 International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020, Sevastopol, 07—11 сентября 2020 года. — BRISTOL, ENGLAND, 2020. — P. 042079. — DOI 10.1088/1757-899X/971/4/042079.

88. Sullivan, J. H. A Control Chart for Preliminary Analysis of Individual Observations / J.H. Sullivan, W.H. Woodall // Journal of Quality Technology. — 1996. - vol.28, No.3 (July). - pp.265-278.

89. "1С:MES Оперативное управление производством". [Электронный ресурс], — Режим доступа: <https://solutions.1c.ru/catalog/mes>, СВОБОДНЫЙ.

90. Volkova, G. D. Cognitive technologies for the creation of autoniated systems / G. D. Volkova, Yu. M. Solomentsev // Nonlinearity. — New York : Nova Science Publishers, Inc. (USA), 2017. — P. 299-314. — EDN YGEZMI.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица FMEA-анализа для технологического процесса изготовления детали типа «Рама» при внедрении КИМ после ответственной операции

Таблица А.1 - FMEA-анализ с применением КИМ после ответственной операции

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
1	Запустить станок	Станок не запустился	Перебой с электропитанием	Временные потери	2	2	2	8
1.1	Ремонт и диагностика станка	Невысокое качество запасных частей	Неверный выбор поставщика	Временные и финансовые потери	2	6	5	60
2	Загрузка управляющей программы на станок	Загружена неверная программа	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	5	6	60
3	Загрузка заготовки на станок	Взята не та заготовка	Не верная маркировка заготовки	Временные потери	2	2	2	8
4	Запуск управляющей программы	Запущена не верная программа	Ошибка оператора	Временные и финансовые потери	3	6	2	36
5	Обработка заготовки	Заготовка не обработана	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
6	Отрезать заготовку от прутка $\phi 135 \times 100$	Заготовка отрезана на неверный размер	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
7	Отрезать заготовку от прутка $\phi 100 \times 92$	Заготовка отрезана на неверный размер	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
8	Отрезать одну заготовку для изготовления оправки $\phi 62 \times 73$	Заготовка отрезана на неверный размер	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
9	Изготовить образцы по техпроцессу БК 10200 00034	Образцы изготовлены по неверному техпроцессу	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	3	5	30
10	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
11	Промыть детали в чистом бензине	Детали не отмыты	Халатность оператора	Временные потери	2	2	8	32
12	Просушить деталь	Деталь не была просушена	Халатность оператора	Временные потери	2	4	5	40
13	Термообработать деталь	Деталь обработана при неверной температуре	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	5	80
14	Выдержать деталь в нормальных условиях	Деталь не выдержана необходимое количество времени	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	4	8	64

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
15	Точить деталь согласно чертежу	Использован неверный чертеж	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	2	32
16	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
17	Фрезеровать деталь, выдерживания размеры 33; 43; 7,9; 8,2 2 места 65; 20 2 места	Размеры выдержаны неверно	Неверно выбрана фреза неверного диаметра	Временные и финансовые потери	2	7	6	84
18	Контролировать размеры согласно чертежу	Размеры проконтролированы неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	4	4	3	48
19	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
20	Промыть деталь	Детали не промыты	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	6	24
21	Просушить деталь	Деталь не была просушена	Халатность оператора	Временные потери	2	4	5	40
22	Термообработать деталь	Деталь обработана недостаточное количество времени	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	5	80
23	Охладить деталь	Деталь не охлаждена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	5	60
24	Фрезеровать деталь, выдерживая размеры 33; 62; 15 2 места; 40 2 места; 40,5 ± 0,05 4 места	Расфрезеровано недостаточное количество поверхностей	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	5	5	50
25	Фрезеровать лыску, выдерживая размеры 34±0,1; 4,4; 4 фаски 1,5 x 45 4 места	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	5	5	50
26	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
27	Подрезать торец, выдерживая размеры 10; 72	Размеры выдержаны неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	5	6	60
28	Точить деталь, выдерживая размеры о70; 12; 70; 68; 60; 55	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
29	Расточить о30; о50	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	4	48
30	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
31	Выдержать деталь в нормальных условиях	Нормальные условия не установлены	Поломка климатического оборудования	Временные потери	2	2	5	20

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
32	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
33	Сверлить и расточить о7,8Н10	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
34	Сверлить 4 отверстия о7	Рассверлено 3 отверстия	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
35	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
36	Выдержать деталь в нормальных условиях	Нормальные условия не установлены	Поломка климатического оборудования	Временные потери	2	2	5	20
37	Провести контроль соосности на координатно-измерительной машине (концентричности)	Координатно-измерительная машина не запускается	Поломка координатно-измерительной машины	Временные потери	2	5	2	20
38	Отправить деталь в изолятор брака	Отправлена не та деталь	Невнимательность оператора	Финансовые потери	2	9	5	90
39	Произвести корректировку производственного расписания при помощи MES-системы	Система не запустилась	Ошибка программного обеспечения	Финансовые потери и временные потери	1	9	2	18
40	Произвести нужное количество деталей взамен забракованных	Произведено неверное количество деталей	Ошибка программного обеспечения	Финансовые потери и временные потери	1	9	8	72
41	Составить протокол	В протоколе ошибка	Невнимательность оператора	Финансовые потери	2	5	6	60
42	Отправить деталь на доработку	Отправлена не та деталь	Невнимательность оператора	Финансовые потери и временные потери	1	8	8	64
43	Произвести перерасчет производственного расписания при помощи MES-системы	Система не запустилась	Ошибка программного обеспечения	Финансовые потери и временные потери	1	9	2	18
44	Точить деталь	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
45	Расточить	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
46	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
47	Гравировать деталь согласно чертежу	Деталь гравирована на неверном месте	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
48	Промыть деталь	На детали обнаружены загрязнения	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
49	Просушить деталь	Деталь не просушена	невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
50	Термообработать деталь	Деталь обработана при неверной температуре	Невнимательность оператора	Временные потери	2	8	5	80
51	Охладить деталь	Деталь охлаждена не до конца	Невнимательность оператора	Временные потери	2	4	5	40
52	Произвести токарно-винторезную операцию	Токарно-винторезная операция не произведена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	9	2	36
53	Произвести горизонтально-расточную операцию	Повреждение инструмента	Износ инструмента, неудовлетворительное обслуживание станка, невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	4	2	16
54	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Кромки не притуплены	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
55	Промыть деталь	Деталь промыта керосином, неподходящим по условиям техпроцесса	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	8	32
56	Просушить деталь	Деталь не просушена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
57	Произвести контроль при помощи штангенциркуля	Штангенциркуль не поверен	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	3	3	18
58	Установить и закрепить деталь на токарном станке с ЧПУ	Деталь упала со станка	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
59	Точить наружную цилиндрическую поверхность с подрезкой торца	Деталь расточена по неправильным параметрам	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	8	7	56
60	Сверлить отверстие центральное сквозное d16	Отверстие не проточено до конца	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	8	3	24
61	Расточить отверстие d30	Отверстие не проточено до конца	Режущий инструмент вышел из строя	Временные и финансовые потери	1	4	1	4
62	Технологический останов	Технологический останов длится больше положенного	Ошибка в управляющей программе	Временные потери	1	2	6	12
63	Перехват детали по программе	Деталь перехвачена не верно	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	5	9	45

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
64	Точить наружную цилиндрическую поверхность с подрезкой торца	Торец подрезан не по указанному диаметру	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	7	5	35
65	Расточить отверстие d90	Отверстие расточено по неверному диаметру	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	7	5	35
70	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Кромки не притуплены	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
71	Произвести приемочный контроль детали	Не поверенные средства измерения	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	3	3	18

Приложение Б

Таблица FMEA-анализа для технологического процесса изготовления детали типа «Рама» без внедрения КИМ после ответственной операции

Таблица Б.1 — FMEA-анализ без применения КИМ после ответственной операции

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
1	Запустить станок	Станок не запустился	Перебои с электропитанием	Временные потери	2	2	2	8
1.1	Ремонт и диагностика станка	Невысокое качество запасных частей	Неверный выбор поставщика	Временные и финансовые потери	2	6	5	60
2	Загрузка управляющей программы на станок	Загружена неверная программа	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	5	6	60
3	Загрузка заготовки на станок	Взята не та заготовка	Не верная маркировка заготовки	Временные потери	2	2	2	8
4	Запуск управляющей программы	Запущена не верная программа	Ошибка оператора	Временные и финансовые потери	3	6	2	36
5	Обработка заготовки	Заготовка не обработана	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
6	Отрезать заготовку от прутка $\phi 135 \times 100$	Заготовка отрезана на неверный размер	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
7	Отрезать заготовку от прутка $\phi 100 \times 92$	Заготовка отрезана на неверный размер	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
8	Отрезать одну заготовку для изготовления оправки $\phi 2 \times 73$	Заготовка отрезана на неверный размер	Сбой программы	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
9	Изготовить образцы по техпроцессу БК 10200 00034	Образцы изготовлены по неверному техпроцессу	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	3	5	30
10	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
11	Промыть детали в чистом бензине	Детали не отмыты	Халатность оператора	Временные потери	2	2	8	32
12	Просушить деталь	Деталь не была просушена	Халатность оператора	Временные потери	2	4	5	40
13	Термообработать деталь	Деталь обработана при неверной температуре	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	5	80
14	Выдержать деталь в нормальных условиях	Деталь не выдержана	Невнимательность оператора	Временные и финансовые	2	4	8	64

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
		необходимое количество времени		потери				
15	Точить деталь согласно чертежу	Использован неверный чертеж	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	2	32
16	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
17	Фрезеровать деталь, выдерживая размеры 33; 43; 7,9; 8,2 2 места 65; 20 2 места	Размеры выдержаны неверно	Неверно выбрана фреза неверного диаметра	Временные и финансовые потери	2	7	6	84
18	Контролировать размеры согласно чертежу	Размеры проконтролированы неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	4	4	5	80
19	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
20	Промыть деталь	Детали не промыты	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	6	24
21	Просушить деталь	Деталь не была просушена	Халатность оператора	Временные потери	2	4	5	40
22	Термообработать деталь	Деталь обработана недостаточное количество времени	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	8	5	80
23	Охладить деталь	Деталь не охлаждена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	5	60
24	Фрезеровать деталь, выдерживая размеры 33; 62; 15 2 места; 40 2 места; 40,5 ± 0,05 4 места	Расфрезеровано недостаточное количество поверхностей	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	5	6	60
25	Фрезеровать лыску, выдерживая размеры 34±0,1; 4,4; 4 фаски 1,5 x 45 4 места	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	7	84
26	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
27	Подрезать торец, выдерживая размеры 10; 72	Размеры выдержаны неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	5	7	70
28	Точить деталь, выдерживая размеры о70; 12; 70; 68; 60; 55	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
29	Расточить о30; о50	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	7	84

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
30	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
31	Выдержать деталь в нормальных условиях	Нормальные условия не установлены	Поломка климатического оборудования	Временные потери	2	2	5	20
32	Снять фаски с учетом припуска	Припуск рассчитан неверно	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
33	Сверлить и расточить о7,8Н10	Выбрана неверная фреза	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
34	Сверлить 4 отверстия о7	Рассверлено 3 отверстия	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
35	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
36	Точить деталь	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
37	Расточить	Деталь не расточена	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	2	2	8
38	Подрезать торец бобышки	Торец подрезан неверно	Ошибка станка	Временные и финансовые потери	2	8	3	48
39	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Сняты не все заусенцы	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
40	Гравировать деталь согласно чертежу	Деталь програвирована на неверном месте	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	6	6	72
41	Промыть деталь	На детали обнаружены загрязнения	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
42	Просушить деталь	Деталь не просушена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
43	Термообработать деталь	Деталь обработана при неверной температуре	Невнимательность оператора	Временные потери	2	8	5	80
44	Охладить деталь	Деталь охлаждена не до конца	Невнимательность оператора	Временные потери	2	4	5	40
45	Произвести токарно-винторезную операцию	Токарно-винторезная операция не произведена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	9	2	36
46	Произвести горизонтально-расточную операцию	Повреждение инструмента	Износ инструмента, неудовлетворительное обслуживание станка,	Временные и финансовые потери	2	4	2	16

№	Операция	Потенциальный дефект	Потенциальная причина	Потенциальные последствия	A	B	E	RPZ
			невнимательность оператора					
47	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Кромки не притуплены	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
48	Промыть деталь	Деталь промыта керосином, неподходящим по условиям техпроцесса	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	8	32
49	Просушить деталь	Деталь не просушена	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
50	Произвести контроль при помощи штангенциркуля	Штангенциркуль не поверен	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	3	3	18
51	Установить и закрепить деталь на токарном станке с ЧПУ	Деталь упала со станка	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
52	Точить наружную цилиндрическую поверхность с подрезкой торца	Деталь расточена по неправильным параметрам	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	8	7	56
53	Сверлить отверстие центральное сквозное d16	Отверстие не проточено до конца	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	8	3	24
54	Расточить отверстие d30	Отверстие не проточено до конца	Режущий инструмент вышел из строя	Временные и финансовые потери	1	4	1	4
55	Технологический останов	Технологический останов длится больше положенного	Ошибка в управляющей программе	Временные потери	1	2	6	12
56	Перехват детали по программе	Деталь перехвачена не верно	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	5	9	45
57	Точить наружную цилиндрическую поверхность с подрезкой торца	Торец подрезан не по указанному диаметру	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	7	5	35
58	Расточить отверстие d90	Отверстие расточено по неверному диаметру	Ошибка в управляющей программе	Временные и финансовые потери	1	7	5	35
59	Снять заусенцы, притупить острые кромки	Кромки не притуплены	Невнимательность оператора	Временные потери	2	2	2	8
60	Произвести приемочный контроль детали	Неповеренные средства измерения	Невнимательность оператора	Временные и финансовые потери	2	3	3	18

**Приложение Г Справка о внедрении результатов исследования, полученных
в диссертации**



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВТОМАТИКИ И ГИДРАВЛИКИ»
(АО «ЦНИИАГ»)**

Советской Армии ул., д.5, Москва, 127018
Телефон: 8 (495) 631-71-91, факс: 8 (495) 681-95-34
E-mail: cniia@cniia.ru
ОКПО 07523540, ОГРН 1127746028410
ИНН/КПП 7715900066/774550001

СПРАВКА

об использовании результатов исследования, полученных в диссертации Шутикова М.А.

«Разработка интегрированной автоматизированной системы управления
производственными процессами при контроле деталей после особо ответственной
технологической операции»

Результаты диссертационного исследования, полученные Шутиковым Михаилом Александровичем, представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, приняты к использованию в АО «ЦНИИАГ».

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт автоматики и гидравлики» (АО «ЦНИИАГ») входит в состав холдинга АО «Научно-производственное объединение «Высокоточные комплексы» (АО «НПО «Высокоточные комплексы»); последний входит в состав Государственной корпорации «Ростех». АО «ЦНИИАГ» является одним из ведущих предприятий оборонно-промышленного комплекса (далее ОПК), которое занимается разработками (НИОКР) и мелкосерийным производством компонентов электрических, электрогидравлических рулевых и следящих приводов различной мощности, оптико-электронных систем, систем телеуправления, вычислительных систем и их программного обеспечения, к изготовлению которых предъявляются высокие требования. Особенности деятельности организации подразумевает автоматизацию производственных процессов, в том числе и контрольных операций. Представленные результаты в виде практического использования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами при контроле деталей после особо ответственной технологической операции признаны полезными и планируются к использованию в целях развития производственных систем в организации.

Актуальность решаемой задачи заключается в обеспечении выполнения государственного оборонного заказа согласно установленным требованиям технической документации, что является приоритетным для организаций, входящих в ОПК.

Использование результатов диссертационной работы Шутикова М.А. позволит организации повысить эффективность процессов производства и контроля изделий путем использования интегрированной автоматизированной системы управления производственными процессами.

Заместитель генерального
Директора по качеству



С.В. Савченко