

На правах рукописи



Дубровин Антон Викторович

МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Специальность 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель: Денискин Юрий Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры №903 «Перспективные материалы и технологии аэрокосмического назначения» Московского авиационного института (национального исследовательского университета)

Официальные оппоненты: Мартынов Виталий Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической информатики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Новиков Валерий Александрович – кандидат технических наук, доцент, проректор по учебно-методической работе Федерального государственного автономного учреждения дополнительного профессионального образования «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-западный государственный университет».

Защита состоится 27 июня 2019 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д212.125.10 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по адресу: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, главный административный корпус, зал заседаний ученого совета.

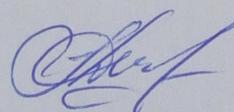
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) и на сайте <http://mai.ru/events/defence>.

Отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, отправлять по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4, Ученый совет МАИ.

Автореферат разослан

« ___ » _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.125.10,
кандидат технических наук, доцент



Денискина А.Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

Потребность в обеспечении импортозамещения на отечественном рынке, создание Таможенного союза и Евразийского экономического сообщества обуславливают необходимость разработки новых подходов в области обеспечения качества и конкурентоспособности отечественных машиностроительных предприятий и качества выпускаемой ими продукции.

От качества процессов жизненного цикла зависит качество выпускаемой продукции. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, внедрение на предприятиях традиционных систем менеджмента качества без средств информационной поддержки не обеспечивает качественную реализацию процессного подхода, ориентированного на системное управление взаимосвязанными процессами и ресурсами. Широкое внедрение различных средств автоматизации класса CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/ERP/PLM и др. ориентировано на решение частных задач (бизнес-процессов) и не учитывает специфику процессного подхода и обеспечения качества процессов жизненного цикла продукции.

В этой связи на современном этапе развития автоматизированного машиностроительного производства актуальной задачей является создание нового класса компьютерных систем менеджмента качества, обеспечивающих интегрированное проектирование и управление процессами жизненного цикла продукции в условиях функционирования интегрированной информационной среды предприятия.

Становление отечественного системного подхода к управлению качеством продукции базируются на всесторонних научных разработках в области метрологии, стандартизации, сертификации, общей теории качества и CALS-технологий. Так, общая теория качества продукции сформирована в трудах известных отечественных учёных, таких как В.В. Бойцов, Б.В. Бойцов, А.В. Гличев, В.Н. Азаров, О.П. Глудкин и др. Теоретические и методические основы стандартизации рассматривались в трудах Г.И. Элькина, В.В. Трейера, М.И. Ломакина, А.В. Докукина, А.В. Балвановича и других специалистов. Проблемам взаимосвязи стандартизации и управления качеством посвящены работы К. Исикавы, Г. Тагути, А.Ф. Фейгенбаума. Значительный вклад в исследование проблем сертификации, а также оценки соответствия внесли такие исследователи как В.Г. Версан, И.З. Аронов и др. Работы, связанные с проблемами разработки и внедрения научно-методических, нормативных и программно-технических решений в области управления жизненным циклом наукоемкой продукции на основе CALS-технологий ведутся в НИЦ «Прикладная Логистика», они нашли отражение в трудах таких исследователей, как Е.В. Судов, А.И. Левин и др.

Кроме этого вопросы теории и практики менеджмента качества явились предметом глубокого изучения зарубежными учёными – представителями американской, европейской и японской школ менеджмента. В контексте эволюции зарубежного опыта и методических аспектов управления качеством

выделяются имена таких видных исследователей, как Э. Деминг, Дж. Джуран, К. Исикава, Д. Кэмпбел, Ф. Кросби, Дж. Стинг, А. Фейгенбаум, Дж. Харрингтон, В. Шухарт и др.

Вышеизложенные проблемы в настоящее время являются актуальными и из всех приведенных фактов вытекает необходимость исследований, выполненных в диссертационной работе.

Цель и задачи диссертационной работы.

Обеспечение интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции на основе разработки и совершенствования средств информационной поддержки.

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. Проанализировать современные тенденции и обосновать требования к средствам информационной поддержки для интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.
2. Разработать структурно-функциональные модели процессов жизненного цикла машиностроительной продукции на основе процессного подхода с учетом требований стандартов в области менеджмента качества.
3. Разработать методику оценки зрелости и качества процессов жизненного цикла машиностроительной продукции на этапе проектирования.
4. Разработать методику интегрированной информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции на основе требований нормативных документов.
5. Выполнить апробацию средств интегрированной информационной поддержки при создании компьютерной системы менеджмента качества для высокотехнологичных отраслей машиностроения.

Объект исследования – качество процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.

Предмет исследования – информационная поддержка управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.

Научная новизна исследования.

1. Установлены взаимосвязи процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, обеспечивающие реализацию процессного подхода в соответствии с требованиями основополагающих стандартов в области менеджмента качества и информационной поддержки изделий.
2. Разработаны структурно-функциональные модели процессов жизненного цикла продукции в соответствии со спецификой машиностроительного предприятия.
3. Разработана информационная модель процессов жизненного цикла продукции, учитывающая совокупность взаимосвязанных видов деятельности, входную и выходную информацию, структуру требований для системного управления процессами и обеспечения необходимыми ресурсами.

4. Разработана методика обоснования метрик для оценки зрелости и постоянного улучшения процессов жизненного цикла продукции, функционирующих в условиях интегрированной информационной среды предприятия и компьютерной системы менеджмента качества.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в создании научно-методической базы и средств интегрированной информационной поддержки проектирования и управления процессами жизненного цикла продукции применительно к автоматизированному машиностроительному производству и компьютерным системам менеджмента качества. Практическая реализация разработанных функциональных и информационных моделей может служить основой для повышения эффективности управления производственной структурой машиностроительных предприятий и обеспечения гарантий качества выпускаемой продукции.

Результаты диссертационного исследования внедрены при разработке эскизного и технического проектов создания лицензируемой отечественной компьютерной системы информационной поддержки системы качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения (государственный контракт от 31 октября 2011 г. № 11411.1003704.05.065 по ФЦП «Национальная технологическая база» на 2007-2011 годы).

Методические основы проектирования и управления процессами жизненного цикла продукции использованы при разработке учебно-методических комплексов по дисциплинам «Стандартизация и сертификация программного обеспечения» и «Управление конфигурацией изделий» для подготовки дипломированных специалистов по направлениям «Компьютерные системы управления качеством для автоматизированных производств» и «Информационные системы и технологии».

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнены с использованием основных положений системного анализа, аппарата теории графов, принципов всеобщего менеджмента качества, экспертной квалиметрии, методов функционального моделирования (IDEF0), методологии FMEA, универсальных CASE-средств.

Положения, выносимые на защиту:

1. Информационная модель, обеспечивающая интеграцию основных данных для обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции.
2. Структурно-функциональные модели процессов жизненного цикла продукции, обеспечивающие проектирование и управление качеством этих процессов в соответствии со спецификой машиностроительного предприятия.
3. Методика оценки зрелости процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.
4. Методика моделирования представления нормативно-технических документов для формирования профиля требований и управления

качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции в системах компьютерного менеджмента качества.

5. Методическая и программная реализация средств информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность полученных результатов подтверждается соответствием теоретических выводов результатам моделирования и программной реализации разработанного научно-методического обеспечения.

Основные научные и практические результаты диссертации докладывались на 15-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2016», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва, 2016 г.); на IV Международной конференции «ИТ-Стандарт 2013» (г. Москва, 2013 г.); на 2-й конференции «Ин-формационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России» (г. Москва, 2013 г.); на 11-й Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством», ФГБОУ ВПО «МАТИ» (г. Москва, 2012 г.); на 5-й Всероссийской научно-практической конференции «Образовательная среда сегодня и завтра», ВВЦ (г. Москва, 2008 г.); на Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии», ФГБОУ ВПО «Станкин» (г. Москва, 2006 г.).

Публикации по теме диссертации и личный вклад автора.

Основные положения диссертации представлены в 14 публикациях, из них 6 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получены: патент на полезную модель, свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ, свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа изложена на 177 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 146 наименований отечественных и зарубежных авторов, а также четырех приложений. Иллюстративный материал представлен в виде 40 рисунков и 22 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы. Описаны методология и методы исследования, выделены положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о достоверности и апробации результатов исследования.

В первой главе на основе проведенного анализа зарубежных и отечественных публикаций, национальных, межгосударственных и международных стандартов выявлены основные современные тенденции и систематизированы стандарты в области информационного обеспечения качества автоматизированных машиностроительных производств и менеджмента качества. Дальнейшее развитие стандартов в области информационного обеспечения качества автоматизированных машиностроительных производств связаны с концепцией жизненного цикла изделия, информационной поддержкой изделий на основе стандартов и CALS-технологий, а также с созданием и совершенствованием систем менеджмента качества. Необходимым условием для реализации указанных подходов является создание на предприятии интегрированной информационно-технологической среды, основанной на унифицированном описании данных об изделиях и процессах.

На основе результатов анализа мировых практик в области разработки компьютерных систем управления качеством установлено, что в зависимости от цели изготовителя может быть определено две целевых функции: «per cost» и «per time». Первая целевая функция состоит в оптимальном выборе соотношения затрат на качество и потерь из-за плохого качества. Идеальным случаем в рамках выполнения целевой функции «per cost» является производитель, который не терпит потерь вследствие плохого качества процессов и продукции, не тратит средств на оценку качества и предотвращение потерь. Второй подход подразумевает применение целевой функции «per time», состоящей в оптимальном соотношении затраченного времени и уровня качества выпускаемой продукции.

На практике расчеты по приведенным целевым функциям силами естественного интеллекта являются крайне трудной (практически невыполнимой) задачей. Требуется применение специализированных программных комплексов. Тенденции широкого применения и развития концепции компьютеризированного производства обусловили специализацию этих комплексов по областям и охвату применения и, как следствие, их условное разделение на три уровня. К первому уровню относят комплексы, предназначенные для задач принятия стратегических решений в рамках планирования и осуществления производственной деятельности предприятия (ERP, EAM, АСУП). Ко второму уровню относят комплексы, предназначенные для задач принятия оперативных решений, оказывающих влияние на подготовку и учёт деятельности производственного предприятия, принимаемых на уровне подразделений производственного предприятия (CAD/CAM/CAE, CRM, CRP, ITSM, MRP, MRP II, MES, PDM). К

третьему уровню относят комплексы, предназначенные для управления и мониторинга технологических процессов и объектов (SCADA, DCS, АСУ ТП).

Современные методы и подходы обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, основанные на применении программных комплексов указанных классов и других, заключаются в адаптации совокупности взаимосвязанных автоматизированных бизнес-процессов, моделирующих процессы предприятия, к конкретному производственному предприятию с учетом его отраслевой специфики. Данные автоматизированные бизнес-процессы, каждый из которых является набором инструкций, имеют формальный характер: передать данные об информационных потоках в систему, сделать запись о выполненных операциях, выполнить другие подобные операции. В работе представлено функциональное назначение классов программных комплексов, составляющих основу концепции информационной поддержки жизненного цикла продукции, их входные и выходные данные.

С научной и практической точек зрения представляет интерес разработка средств информационной поддержки для интегрированного управления процессами жизненного цикла машиностроительной продукции, ориентированных на взаимодействие с распространёнными в отечественной промышленности системами управления масштаба предприятия.

С точки зрения управления процессами жизненного цикла продукции важное значение имеют систематизация и создание специализированных баз данных нормативно-технических документов (технических регламентов, стандартов, сводов правил и др.).

В этой связи особую значимость приобретает проблема систематизации нормативно-технических документов, необходимых для управления различными процессами (подпроцессами) организации и жизненного цикла продукции, с учётом их отраслевой специфики.

Во второй главе на основе выполненного анализа отмечено, что для формирования качества конечного изделия на этапе проектирования и разработки необходимо усиливать определяющую роль принимаемых решений. Как следует из описания структуры процесса проектирования и разработки, при производстве высокотехнологичной наукоемкой продукции необходимо одновременное соблюдение соответствующих законодательных и других обязательных требований, а также функциональных и эксплуатационных требований.

Сегодня широкое внедрение систем менеджмента качества (СМК) на базе ИСО серии 9000 на предприятиях сдерживается по разным причинам. Прежде всего потому, что СМК, построенная на базе этих стандартов, не имеет четкой структуры, отражающей взаимосвязи функциональных блоков всего производственного комплекса. Кроме этого, необходимо отметить, что в стандарте ГОСТ Р ИСО 9001 дано весьма декларативное описание процессов СМК.

Указанный недостаток может быть устранен при разработке компьютерной системы менеджмента качества (КСМК) для предприятия с учетом его политики в области менеджмента качества.

На первом этапе анализа была создана структурная модель, позволяющая судить о задаче управления качеством на основе требований стандартов серии

ИСО 9000 как о сложном параллельном управлении совокупностью многочисленных и взаимосвязанных идентифицированных процессов.

В соответствии с процессным подходом выполнены декомпозиция и анализ структуры и взаимосвязей процессов жизненного цикла продукции с учетом специфики машиностроительного производства (рисунок 1). Взаимосвязи процессов рассмотрены с учетом основополагающего понятия процесса и изменения функции владельцев процесса в ходе его выполнения (потребитель – владелец – поставщик).



Рисунок 1 – Декомпозиция типовых процессов предприятия (группа L) для обеспечения системы менеджмента качества

На основе выполненной структурной декомпозиции процессов с учетом особенностей этапов и процессов машиностроительного производства разработаны таблицы, отражающие типовые входы и выходы для наиболее важных процессов жизненного цикла.

Процессная модель СМК предприятия включает 4 основные группы процессов, которые могут быть декомпозированы на 17 процессов и 58 подпроцессов (рисунок 2).

Декомпозиция процессной модели СМК P_0 в обобщенном виде может быть представлена:

$$P_0 \supset P_i \supset P_j^i \supset P_q^j \dots,$$

где P_i – 4 группы процессов, составляющие основу СМК.

Соответственно последующий уровень декомпозиции всех групп процессов P_i на отдельные процессы – это P_j^i , которые вместе декомпозированы на подпроцессы P_q^j . С учетом этого в рамках процессной модели СМК устанавливается отношение подчинения, описывающее принцип унаследования качества

подпроцессов в процессах. Пример декомпозиции процессов жизненного цикла продукции показан на рисунке 3.

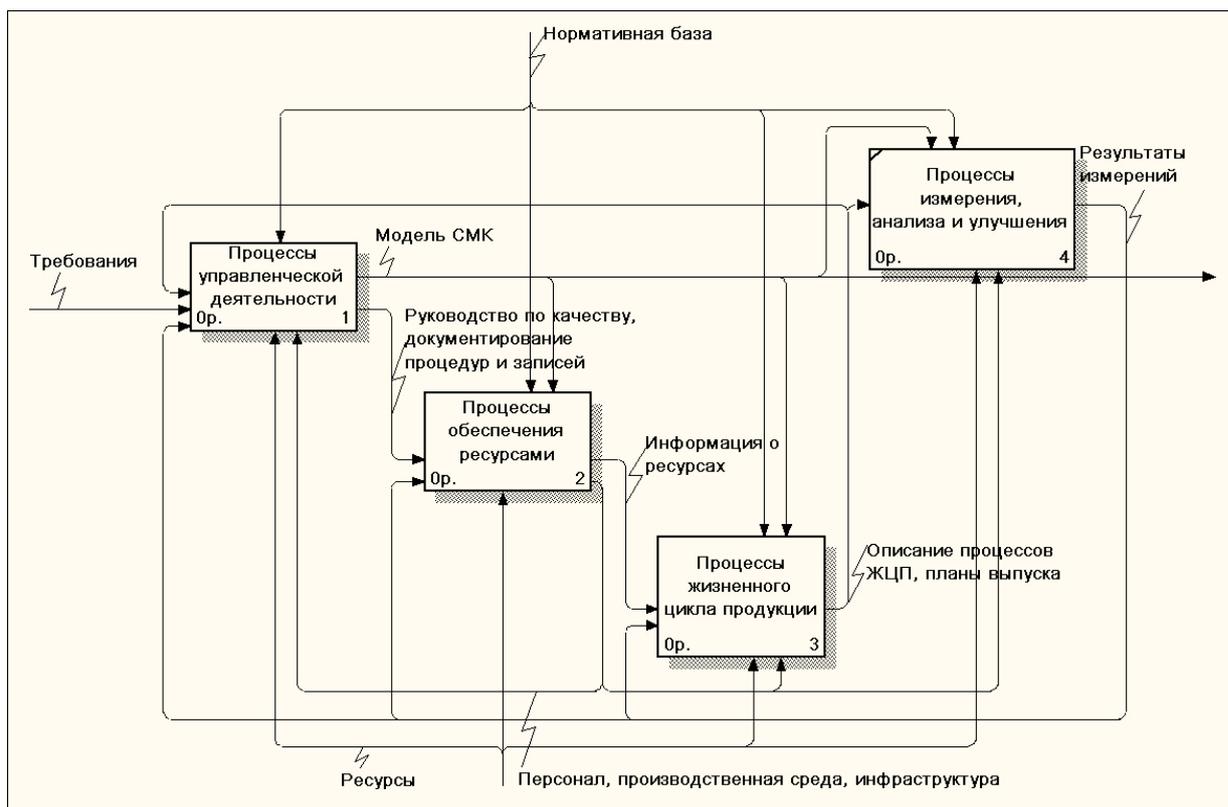


Рисунок 2 – Функциональная модель основных групп процессов менеджмента качества

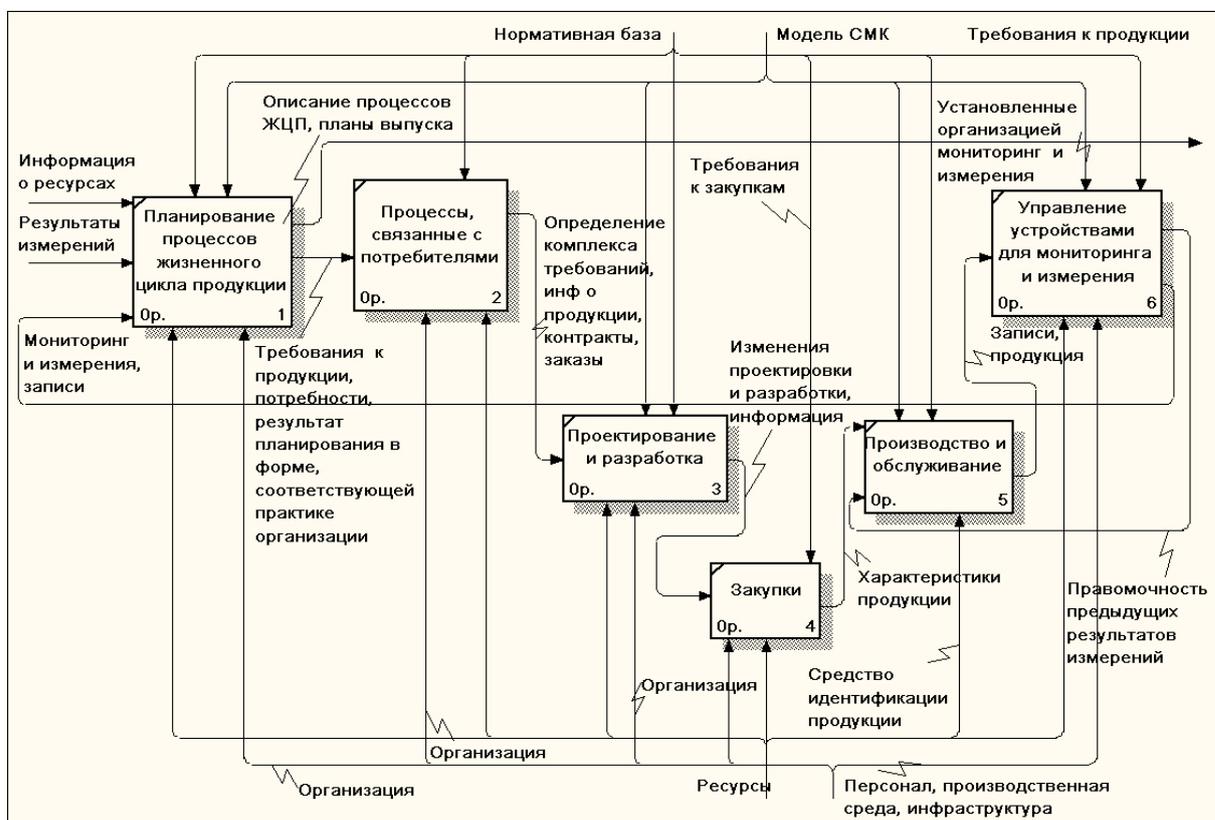


Рисунок 3 – Декомпозиция 3-й группы процессов менеджмента качества «Процессы жизненного цикла»

Для создания эффективной процессной модели предприятия необходимо описание процессов в последовательности их выполнения, использование идентификаторов процессов, фиксирование информации о владельцах, поставщиках и потребителях процессов, описание «входа» и «выхода» процесса, а также нормативно-ресурсное и методическое обеспечение процесса.

Используя предлагаемое деление СМК на базе ИСО серии 9000 на блоки, можно формальную запись системы представить в следующем виде:

$$\text{СМК} \supset (C, L, R, M),$$

$$\text{СМК} \supset \{[(C \supset c_i); i = 1 \dots 2], [(L \supset l_j); j = 1 \dots 6], [(R \supset r_k); k = 1 \dots 3], [(M \supset m_z); z = 1 \dots 5]\},$$

где C – процессы управленческой деятельности; L – процессы жизненного цикла продукции; R – процессы обеспечения ресурсами; M – процессы измерения, анализа, улучшения.

Например, C представляет собой подмножество процедур и управленческих действий в рамках СМК, т.е. $C \supset (c_i); i = 1 \dots 2$, где c_1 – документирование СМК; c_2 – обеспечение ответственности руководства.

Подсистемы c_1 и c_2 являясь элементами в составе СМК, содержат некоторое подмножество подпроцессов, сформированное согласно выполненной декомпозиции процессной модели ИСО 9001. Для блоков L , R и M также были определены соответствующие элементы.

Выполненный функциональный анализ позволил построить теоретико-множественную модель системы информационной поддержки управления качеством жизненного цикла машиностроительной продукции (рисунок 4).

Установлена взаимосвязь между подпроцессами группы L на основе идентификации информационных потоков между ними $[(L \supset l_j); j = 1 \dots 6]$; $l_1 \supset (l_{1,1}; l_{1,2}; l_{1,3}; l_{1,4})$; $l_2 \supset (l_{2,1}; l_{2,2}; l_{2,3})$, $l_3 \supset (l_{3,1}; l_{3,2}; l_{3,3}; l_{3,4}; l_{3,5}; l_{3,6}; l_{3,7})$; $l_4 \supset (l_{4,1}; l_{4,2}; l_{4,3})$, $l_5 \supset (l_{5,1}; l_{5,2}; l_{5,3}; l_{5,4}; l_{5,5})$; $l_6 \supset (l_{6,1})$, где $l_{1,1}$ – определение требований к продукции; $l_{1,2}$ – определение потребностей в процессах, документах и ресурсах (План качества); $l_{1,3}$ – определение критериев приемки продукции; $l_{1,4}$ – записи о соответствии ПЖЦП и продукции требованиям; $l_{2,1}$ – определение комплекса требований к продукции; $l_{2,2}$ – анализ требований к продукции в предконтрактный период; $l_{2,3}$ – связь с потребителями; $l_{3,1}$ – планирование проектирования и разработки; $l_{3,2}$ – определение входных данных; $l_{3,3}$ – определение выходных данных для проектирования и разработки; $l_{3,4}$ – систематический анализ проекта и разработки; $l_{3,5}$ – верификация проекта и разработки; $l_{3,6}$ – валидация проекта и разработки; $l_{3,7}$ – управление изменениями проекта и разработки; $l_{4,1}$ – управление процессом закупок; $l_{4,2}$ – информация по закупкам продукции и услуг; $l_{4,3}$ – контроль соответствия закупленной продукции требованиям к закупкам; $l_{5,1}$ – управление производством и обслуживанием; $l_{5,2}$ – валидация процессов производства и обслуживания; $l_{5,3}$ – идентификация продукции на всех этапах ее жизненного цикла; $l_{5,4}$ – верификация и защита собственности потребителя; $l_{5,5}$ – сохранение соответствия продукции; $l_{6,1}$ – управление процессами и устройствами для мониторинга и измерений.

Третья глава посвящена разработке методического обеспечения информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла продукции на примере функционирования предприятия, производящего детали машиностроительного назначения методом автоматизированного аддитивного производства. Характерной особенностью данного типа производств является малое количество технологических переходов по сравнению с традиционными видами производств. Кроме того, весьма большое значение приобретают правильный выбор технологических режимов, корректность цифровых моделей и качество закупаемого сырья.

Согласно общим принципам стандарта Дублинского ядра был сформирован паспорт процесса на основе элементов описания процесса, который может служить основой унифицированного метаописания процессов машиностроительного предприятия (рисунок 4).



Рисунок 4 – Паспорт процесса

Процессы жизненного цикла продукции, зафиксированные требованиями к эталонной модели СМК предприятия, были декомпозированы на подпроцессы, что позволило описать их комплекс с помощью графовой структуры в соответствии с существующими практиками с сохранением идентифицированных связей между ними (рисунок 5).

Согласно предписанным взаимодействиям функциональных блоков была построена структурно-функциональная модель СМК на базе ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015, позволяющая принципиально и предметно вести сопоставление существующих и новых процедур управления качеством продукции. Модель задана аналитически с помощью матрицы смежности, описывающей взаимосвязи подпроцессов группы «L» с помощью аппарата графов (таблица 1).

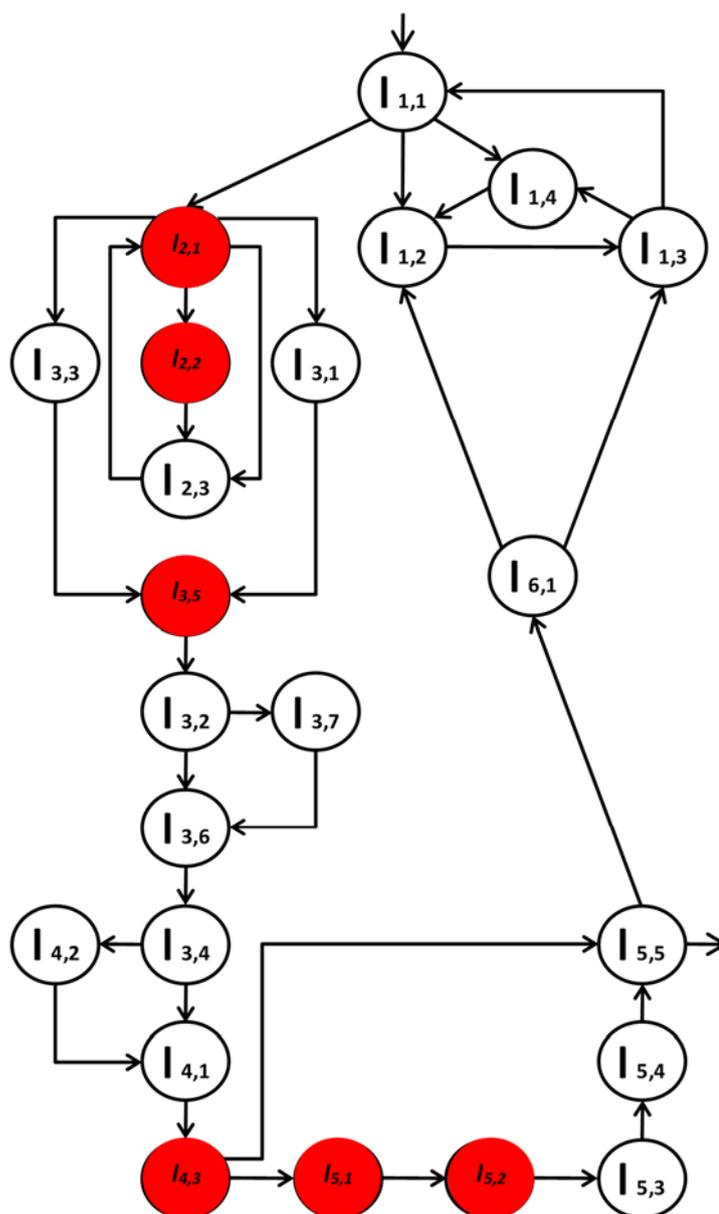


Рисунок 5 – Структура взаимосвязи подпроцессов группы «L»

На основе анализа лучших мировых практик (6σ, FMEA, LEAN, CMM, СММІ и др.) сформулирован и обоснован метод управления процессами предприятия аддитивного производства машиностроительных изделий.

С учетом итерационного характера управления процессом предложена методика расчета экспертных оценок для определения значений атрибутов зрелости процессов. Методика предусматривает оценку степени влияния каждого отдельно взятого процесса на остальные процессы СМК в контексте принципа наследования качества. Основу методики составляют положения стандарта ГОСТ Р 51901.12-2007 «Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов».

Сформулирован и обоснован профиль рейтингов атрибутов зрелости процесса, позволяющий, в соответствии с предложенной методикой расчета, получить оценку качества текущего состояния процесса относительно ожидаемого

для последующего целенаправленного изменения процесса в соответствии с целевой функцией.

Таблица 1 – Матрица смежности

	$l_{1,1}$	$l_{1,2}$	$l_{1,3}$	$l_{1,4}$	$l_{2,1}$	$l_{2,2}$	$l_{2,3}$	$l_{3,1}$	$l_{3,2}$	$l_{3,3}$	$l_{3,4}$	$l_{3,5}$	$l_{3,6}$	$l_{3,7}$	$l_{4,1}$	$l_{4,2}$	$l_{4,3}$	$l_{5,1}$	$l_{5,2}$	$l_{5,3}$	$l_{5,4}$	$l_{5,5}$	$l_{6,1}$	
$l_{1,1}$	0	F_1	0	F_2	F_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{1,2}$	0	0	F_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{1,3}$	0	0	0	F_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{1,4}$	0	F_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{2,1}$	0	0	0	0	0	F_7	F_8	F_9	0	F_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{2,2}$	0	0	0	0	0	0	F_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{2,3}$	0	0	0	0	F_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{14}	F_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{17}	F_{18}	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,5}$	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,6}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{20}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{3,7}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{21}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{4,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{22}	0	0	0	0	0	0	0
$l_{4,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{23}	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$l_{4,3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{24}	0	0	0	F_{25}	0	0
$l_{5,1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{26}	0	0	0	0	0
$l_{5,2}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{27}	0	0	0	0
$l_{5,3}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{28}	0	0	0
$l_{5,4}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{29}	0	0
$l_{5,5}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	F_{30}	0
$l_{6,1}$	0	F_{31}	F_{32}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Для оценки причин и последствий отказов процессов использована типовая модель FMEA-объекта. Исходя из рекомендаций международного стандарта МЭК 812 критичность операций в технологическом процессе может быть определена в следующем виде:

$$C_i = B_{1i} B_{2i} B_{3i},$$

где: C_i – критичность i -й технологической операции; B_{1i} – оценка вероятности (частоты) наступления отказа (дефекта) при выполнении i -го процесса (по шкале от 1 до 10, где 1 означает крайне маловероятное событие, а 10 означает неизбежное событие); B_{2i} – оценка вероятности выявления отказа (дефекта) при выполнении i -го процесса (по шкале от 1 до 10, где 1 означает, что метод контроля абсолютно точно обнаружит проблему, а 10 – не сможет обнаружить проблему); B_{3i} – оценка тяжести последствий отказа (дефекта) при выполнении i -го процесса (по шкале от 1 до 10, где 1 означает незначительные последствия, а 10 катастрофические последствия).

На основе результатов обработки производственных статистических наблюдений выполнен анализ критичности отказов C_k технологической операции изготовления детали «Корпус радара», проанализирована взаимосвязь износа и работоспособности деталей установок послойного синтеза и основных конструкторско-технологических факторов, выявлены причины отказов, выра-

ботан комплекс корректирующих мер, направленный на обеспечение стабильности и безотказности технологических процессов. Из таблицы критичности отказов (Таблица 2) следует, что наиболее критичными по отказам являются процессы составления технического задания, анализа требований в предконтрактный период, контроля соответствия закупленной продукции, валидация процессов производства и обслуживания, верификация проекта и разработки и управления производством и обслуживанием. Для указанных процессов требуются дополнительные меры, направленные на снижение уровня отказов.

Таблица 2 – Экспертная оценка критичности отказов операций технологического процесса изготовления детали

	B_1	B_2	B_3	C_k
$l_{1,1}$	1	2	10	20
$l_{1,2}$	1	8	9	72
$l_{1,3}$	1	5	10	50
$l_{1,4}$	1	5	5	25
$l_{2,1}$	2	9	10	180
$l_{2,2}$	2	9	10	180
$l_{2,3}$	1	1	10	10
$l_{3,1}$	3	3	5	45
$l_{3,2}$	2	5	8	80
$l_{3,3}$	2	5	8	80
$l_{3,4}$	2	2	5	20
$l_{3,5}$	2	2	8	32
$l_{3,6}$	1	1	2	2
$l_{3,7}$	1	3	4	12
$l_{4,1}$	2	9	4	72
$l_{4,2}$	1	3	2	6
$l_{4,3}$	3	8	10	240
$l_{5,1}$	3	5	10	150
$l_{5,2}$	1	1	2	2
$l_{5,3}$	1	1	5	5
$l_{5,4}$	1	2	10	20
$l_{5,5}$	3	2	10	60
$l_{6,1}$	2	3	8	48

На примере варианта экспертных оценок, полученных в рамках анализа состояния процессов, расставлены весовые коэффициенты (C_k) вершинам графа. Балльная оценка коэффициентов проведена членами экспертной группы, сформированной из представителей технической службы и подразделений, являющихся внутренними потребителями процесса. Выделение наиболее значимых операций осуществляется путем сравнения значений показателя их критичности с некоторым предельным значением C_D .

Предложена типовая модель FMEA-объекта для оценки причин и последствий отказов процессов (технологических операций). В результате проведенного FMEA-анализа обнаружены и оценены потенциальные отказы продукции, были определены области корректирующего вмешательства в технологический процесс изготовления. Установлено, что наиболее частыми причинами возникновения дефектов являются ошибки проекта (ошибки в электронной модели) (подпроцессы $l_{2,1}$, $l_{2,2}$, $l_{3,5}$), ошибки при закупке сырья вследствие несформулированных требований (подпроцесс $l_{4,3}$), износ оборудования и неверно выбранные значения для технологических параметров (подпроцессы $l_{5,1}$, $l_{5,2}$).

Для этой области также разработаны технические мероприятия по улучшению указанного технологического процесса, разработан перечень потенциальных нарушений подпроцессов процесса с последствиями и причинами.

В качестве примера проанализированы причины потенциальных дефектов из-за потери точности выполнения технологических операций изготовления детали «Корпус радара». С помощью методологии «Шесть сигм» определены условия воспроизводимости процесса изготовления детали.

В четвертой главе представлены методические основы проектирования информационно-программных средств для обеспечения интегрированного управления процессами жизненного цикла машиностроительной продукции на основе программных систем управления бизнес-процессами (автоматизированных бизнес-процессов). В качестве базовой платформы для программной системы (КСМК) использован продукт «1С: Предприятие 8.2» и конфигурация «1С: Машиностроение 8», включающая более 30 локальных программных средств (рисунок 6).



Рисунок 6 – Структурная модель компьютерной системы информационной поддержки системы менеджмента качества

Программа представляет собой комплекс типовых процессно-ориентированных функциональных моделей и предназначена для обеспечения системного компьютерного менеджмента качества процессов и продукции в машиностроении. В комплекс включены типовые процессно-ориентированные функциональные модели, основанные на структуре базовых процессов организации и процессов жизненного цикла продукции в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001 и учитывающие специфику машиностроительных предприятий и жизненного цикла машиностроительной продукции. Функциональные модели представлены в формате XML и отражают специфику взаимосвязи процессов и унифицированного описания управления и ресурсного обеспечения процессов.

Изучение возможности применения разработанного средства совершенствования информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла продукции проходило на предприятии, специализирующемся на производстве изделий машиностроительного назначения методом 3D-печати по технологии SLS. Был выполнен внутренний аудит всех процессов, выполняемых на предприятии, произведён сбор свидетельств выполнения запланированных мероприятий, соответствия требованиям ГОСТ Р ИСО 9001, сведений об эффективности СМК предприятия и достаточности обеспечения ресурсами, последующий анализ этих сведений и доведение до сведения руководства и всех сотрудников, вовлеченных в СМК.

В результате внедрения системы совершенствования информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла продукции удалось повысить уровень зрелости процессов с «неполного» до «оптимизируемого», сделать результаты процессов идентифицируемыми и измеряемыми и подготовить процессную модель предприятия к сертификации по требованиям ГОСТ Р ИСО 9001. Внедрение системы также позволило оптимизировать временные затраты предприятия на поиск и контроль исполнения нормативно-технических требований на 27%, сократить количество дорогостоящих дефектов на 4% за счет системной увязки информации о процессах.

Практическое применение комплекса типовых процессно-ориентированных функциональных моделей позволяет повысить качество проектных решений и сократить затраты на этапе концептуального выбора процессной модели машиностроительного предприятия для обеспечения системного компьютерного управления процессами и продукции в машиностроении.

Полученные результаты были апробированы и внедрены при выполнении Центром разработки систем качества Государственного инжинирингового центра ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН» (ЦРСК) совместно с ООО «НПЦ 1С» и ЗАО «Топ Системы» НИОКР «Разработка лицензируемой отечественной компьютерной системы информационной поддержки системы качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения» в рамках выполнения государственного контракта № 11411.1003704.05.065 от 31 октября 2011 г. по заказу Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

В **заключении** диссертации приводятся основные результаты выполненного исследования.

Приложения к диссертационной работе включают следующие материалы:

- копия патента на полезную модель № 126858 «Автоматизированная система информационной поддержки системы качества при производстве конструктивно сложных изделий», выданного Федеральной службой по интеллектуальной собственности по заявке от 26 июня 2012 г. № 2012126481;

- копия свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013616176 в Реестре программ для ЭВМ, выданного Федеральной службой по интеллектуальной собственности по заявке от 7 мая 2013 г. № 2013613948;

- копия свидетельства о государственной регистрации базы данных № 2013620919 в Реестре баз данных, выданным Федеральной службой по интеллектуальной собственности по заявке от 25 апреля 2013 г. № 2013620397;

- XML-схема, описывающая объектное моделирование данных компьютерной системы менеджмента качества;

- листинг результатов оптимизации процесса по симплекс-методу с промежуточными опорными планами на каждой итерации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе, посвященной совершенствованию средств информационной поддержки управления качеством жизненного цикла машиностроительной продукции, решена задача, имеющая существенное значение для развития отечественного машиностроения, заключающаяся в разработке методического обеспечения проектирования и управления процессами жизненного цикла продукции на основе интегрированной информационной поддержки компьютерной системы менеджмента качества предприятия.

Выполненный анализ зарубежных и отечественных публикаций, национальных, межгосударственных и международных стандартов позволил выявить основные современные тенденции и систематизировать стандарты в области информационного обеспечения качества автоматизированных машиностроительных производств и менеджмента качества. В частности, показано, что дальнейшее развитие указанных стандартов связано с концепцией жизненного цикла изделия, информационной поддержкой изделий на основе CALS-технологий, с созданием и совершенствованием систем менеджмента качества. Отмечено, что необходимым условием для реализации таких подходов является создание на предприятии интегрированной информационно-технологической среды, основанной на унифицированном описании данных об изделиях и процессах.

Показано, что из-за высокой технической сложности продукции своевременное и корректное согласование нормативно-технических требований, формирование и оценка профиля требований к продукции представляется сложной экспертной задачей, которая значительно затрудняется отсутствием средств интегрированной информационной поддержки, особенно на ранних этапах жизненного цикла продукции.

Предложена структурно-функциональная модель системы менеджмента качества, позволяющая проводить сопоставление существующих и новых процедур управления качеством продукции. Отличительной особенностью предложенной модели является ее системность, а также возможность использования для непрерывного совершенствования системы качества. Выполненный функциональный анализ позволил построить теоретико-множественную модель системы информационной поддержки управления качеством жизненного цикла машиностроительной продукции.

Предложена и обоснована структура паспорта процесса как основа унифицированного метаописания. Существенным отличием предложенной структуры от установленной стандартом ГОСТ Р ИСО 15836-2011 является наличие дополнительных полей для описания структурных связей между процессами.

Сформулирована и обоснована структура атрибутов и условий их полного выполнения для разных уровней зрелости процессов, отличающаяся включением средств интеграции в рамках промышленных программных инструментальных систем.

Разработаны модель качества и методика оценки зрелости процесса, которые основаны на зависимости уровня зрелости процесса от набора профиля рейтингов его атрибутов.

Предложена обобщенная типовая модель FMEA-объекта для оценки причин и последствий отказов процессов (технологических операций). В отличие от известных в предложенной модели используется объектно-ориентированный подход к моделированию данных и соответствующие системы управления базами данных.

Определены условия воспроизводимости процесса на основе статистического анализа устойчивости. Показано, что для успешного решения этой задачи необходимо проводить статистический анализ контролируемости реальных процессов с учетом средств их технического оснащения, а также установить влияние «входов» процесса на показатель его воспроизводимости.

На основе анализа автоматизированных бизнес-процессов в составе комплекса программ «1С: Предприятие 8.2» разработана архитектура распределенной компьютерной системы менеджмента качества. Важным отличием разработанной архитектуры является возможность масштабирования и применения в качестве основы отечественной программно-методической платформы.

Обоснована и разработана логическая модель базы данных нормативно-технических документов для формирования профиля требований и управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции в системах компьютерного менеджмента качества. Для представления, обработки, хранения и доступа к документам в разработанной модели впервые применен объектно-ориентированный подход.

На основе предложенных в диссертации методик, информационных и функциональных моделей процессов разработан и внедрен программный комплекс средств, обеспечивающий средства проектирования, аудита, нормативно-справочного сопровождения и информационной интеграции основных данных, необходимых для обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции. Отличительной особенностью разработанного комплекса является учет специфики и требований процессного подхода в управлении качеством. На основе предложенного комплекса разработаны типовые технологические процессы производства изделия по аддитивной технологии, которые прошли апробацию на профильном предприятии и приняты к промышленной реализации.

Результаты выполненного исследования предлагаются для применения проектными, производственными и другими предприятиями различных отраслей промышленности:

- в условиях инновационных производств, практика применения процессов которых недостаточно апробирована, и по которым в настоящее время пока отсутствует подробное нормативно-техническое регулирование;
- при разработке и прогнозировании состояния процессов жизненного цикла продукции по различным наборам исходных параметров в ближайшей и долгосрочной перспективах.

Одним из перспективных направлений продолжения выполненного исследования может быть разработка методов интеграции средств информационной поддержки в единую информационно-технологическую среду предприятия на основе протоколов информационного обмена, устанавливаемых требованиями стандартов в области CALS-технологий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Денискин, Ю.И., Дубровин, А.В., Подколзин, В.Г. Управление качеством процессов жизненного цикла инновационной продукции на основе компьютерной системы менеджмента качества // Труды МАИ [Электронный ресурс]: науч. журн. / Моск. авиационный ин-т (национальный исследовательский университет) «МАИ». – Электрон. журн. – Москва: МАИ, 2017 – вып.95. – Режим доступа к журн.: <http://www.trudymai.ru>. – Загл. с титул. экрана. – Эл № ФС77-69492 от 14 апреля 2017 г. (дата обращения: 19.04.2018 г.).
2. Дубровин, А.В., Денискин, Ю.И. Моделирование процессов жизненного цикла изделий аддитивного производства // Качество и жизнь. Научно-производственный и культурно-образовательный журнал. – 2016. Спецвыпуск. - № 4 (12). – С. 282–288.
3. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. Разработка комплекса информационных и функциональных моделей для обеспечения компьютерного менеджмента качества процессов предприятия // Инновации. СПб: Трансфер, № 10, 2013. – С. 107–111.
4. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. О нормативной правовой базе для разработки систем качества в условиях реформы технического регулирования // Межотраслевая информационная служба, Выпуск 4 (161) – 2012. – С. 9–12.

5. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. О создании интегрированной информационной поддержки системы качества машиностроительной продукции ответственного назначения // Вестник МГТУ «Станкин». М.: МГТУ «Станкин», № 1, 2012. – С. 77–81.
6. Позднеев, Б.М., Поляков, С.Д., Дубровин, А.В., Марков, К.И. О создании отраслевой электронной базы данных нормативных документов в области обеспечения безопасности технических средств обучения // Вестник МГТУ «Станкин». М.: МГТУ «Станкин», № 3, 2008. – С.109–111.
- 7.

Статьи в других изданиях:

1. Денискин, Ю.И., Дубровин, А.В. Управление качеством процессов жизненного цикла инновационной продукции аддитивного производства/15-я Международная конференция «Авиация и космонавтика–2016». 14-18 ноября 2016 года. Москва. Тезисы. - Типография «Люксор», 2016. - 739 с. - ISBN 978-5-383-01064-8 – С.639–640.
2. Дубровин, А.В. О создании интегрированной информационной поддержки системы качества при производстве машиностроительной продукции ответственного назначения [Электронный ресурс] / А.В. Дубровин // Международный электронный научный рецензируемый журнал «Конструкторско-технологическая информатика», № 4, 2013. – Режим доступа <http://journal.ikti.ru/?p=626&lang=eng> (дата обращения: 18.11.2013).
3. Тихомирова, В.Д., Иванова, Т.В., Дубровин, А.В. Обеспечение качества электронного обучения на основе международного стандарта ИСО/МЭК 19796 // Сборник трудов IV Международной конференции «ИТ-Стандарт 2013». М., 2013 – С. 367–372.
4. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. Обеспечение корпоративной подготовки и переподготовки специалистов по разработке и сопровождению компьютерных систем менеджмента качества на платформе «1С: Предприятие 8» // Сборник научных трудов 13-й международной научно-практической конференции «Новые информационные технологии в образовании» (Технологии «1С» для эффективного обучения и подготовки кадров в целях повышения производительности труда), 29 – 30 января 2013 г. Часть 1. – М.: ООО «1С-Публишинг», 2013. – С. 95–98.
5. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. Системное обеспечение качества и безопасности предприятий и продукции ОПК на основе компьютерного менеджмента качества // Сборник докладов второй конференции «Информационные технологии на службе оборонно-промышленного комплекса России», 10 – 12 апреля 2013 г. – М: ООО «Коннект-ИКТ», 2013. – С. 128–129.

6. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. Интегрированная информационная поддержка системы качества при производстве машиностроительной продукции ответственного назначения // Сборник материалов одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Управление качеством», 12-13 марта 2012 года / ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского» – М.: МАТИ, 2012. – С. 196–197.
7. Позднеев, Б.М., Марков, К.И., Мажоров, Д.В., Дубровин, А.В. Информационная поддержка процессов разработки национальных и международных стандартов (доклад) / Труды Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии» 17-19 октября 2006 г. Москва. 0,3 п.л. / 0,2 п.л.
8. Позднеев, Б.М., Дубровин, А.В. Обеспечение интегрированной информационной поддержки менеджмента качества в машиностроении // Вестник ВНИИМАШ. – 2012. № 1 (11). – С. 52–55.

Регистрация результатов интеллектуальной собственности:

1. Автоматизированная система информационной поддержки системы качества при производстве конструкционно-сложных изделий: пат. 126858 Рос. Федерация: МПК51 G06F19/00 / А.С. Атякшев, А.Н. Бушуева, Г.А. Голиков, А.В. Дубровин, П.Е. Овчинников, Б.М. Позднеев, М.Е. Решетов, С.В. Рожнев; Патент. – № 2012126481/08; заявл. 26.06.2012; опубл. 10.04.2013 г.
2. Позднеев, Б.М. «Лицензируемая отечественная компьютерная система информационной поддержки системы качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения» / Позднеев Б.М., Дубровин А.В., Овчинников П.Е.: Свидетельство о гос. регистрации программ на ЭВМ №2013616176 от 27.06.2013 г.
3. Позднеев, Б.М. «База данных нормативных документов по менеджменту качества» / Позднеев Б.М., Дубровин А.В., Иванова Т.В.: Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2013620919 от 13.08.2013 г.