

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



Дубровин Антон Викторович

МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Денискин Юрий Иванович
доктор технических наук, профессор

Москва – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Анализ современных тенденций и стандартов в области информационного обеспечения качества автоматизированных машиностроительных производств	12
1.1 Современные тенденции в области автоматизированных машиностроительных производств.....	13
1.1.1 Стандарты в области информационной поддержки и управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции	17
1.1.2 Стандарты в области проектирования и информационной поддержки бизнес-процессов.....	18
1.1.3 Стандарты в области управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции	20
1.2 Методы и средства обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.....	21
Выводы по первой главе.....	26
2 Функциональное моделирование процессов жизненного цикла для обеспечения качества машиностроительной продукции	27
2.1 Анализ структуры и взаимосвязи процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.....	27
2.1.1 Структура процессов в соответствии с требованиями национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9001	27
2.1.2 Взаимосвязь процессов по ГОСТ Р ИСО 9001 и принципов всеобщего менеджмента качества	32
2.1.3 Взаимосвязь процессов и этапов жизненного цикла продукции	34
2.2 Влияние качества процессов жизненного цикла на качество машиностроительной продукции.....	36
2.3 Взаимосвязь и функциональные модели процессов жизненного цикла продукции	40
Выводы по второй главе.....	50
3 Обеспечение информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции	51

3.1	Взаимосвязь и оценка качества процессов машиностроительной продукции.....	51
3.1.1	Наследование качества	52
3.1.2	Декомпозиция критериев качества.....	52
3.1.3	Построение метрики на основе требований к процессам	54
3.2	Унифицированная информационная модель для описания процессов	58
3.3	Оценка зрелости процессов на этапе планирования производства.....	62
3.4	Оценка рисков и критерии отказов при проектировании процессов.....	67
3.5	Статистический анализ устойчивости технологических процессов.....	84
	Выводы по третьей главе.....	86
4	Средства информационной поддержки интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции....	87
4.1	Разработка компьютерной базы данных нормативных документов для управления качеством процессов жизненного цикла продукции.....	87
4.2	Обоснование структуры информационно-программных средств для обеспечения интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла продукции	100
	Выводы по четвертой главе.....	119
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	125
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
	ПРИЛОЖЕНИЕ А. Патент на полезную модель	143
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	147
	ПРИЛОЖЕНИЕ В. Свидетельство о государственной регистрации базы данных	149
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г. XML-схема, описывающая объектное моделирование данных компьютерной системы менеджмента качества	151
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Результаты оптимизации процесса по симплекс-методу с промежуточными опорными планами на каждой итерации.....	159

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

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.

Задача интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции в условиях рыночной конкуренции подразумевает анализ и внедрение лучших мировых практик и стандартов, управление сложной логикой взаимодействия информационных и материальных потоков между подразделениями предприятия или во взаимодействии с другими предприятиями. Изготовление конкурентоспособной машиностроительной продукции подразумевает также необходимость соблюдения многочисленных и взаимосвязанных нормативно-технических требований, изложенных в технических регламентах Таможенного союза, директивах Европейского союза, международных, межгосударственных и национальных стандартах, ставших основополагающими в свете участия России в интеграционных процессах.

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/PLM/ERP 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 информационно-технологической среды предприятия. Особенно актуально исследование взаимосвязей процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, обеспечивающих реализацию процессного подхода в соответствии с требованиями основополагающих стандартов в области менеджмента качества и информационной поддержки изделий, а также разработка структурно-функциональных моделей для управления качеством процессов жизненного цикла продукции.

Цель работы.

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

Для достижения цели необходимо поставить и решить 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.

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.

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 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».

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 IV Международной конференции «ИТ-Стандарт 2013» (г. Москва, 2013 г.); на 2-й конференции «Информационные 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.).

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. (ПРИЛОЖЕНИЕ А).

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. (ПРИЛОЖЕНИЕ Б).
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. (ПРИЛОЖЕНИЕ В).

Публикации по теме работы.

Статьи в рецензируемых журналах, 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.

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-Паблишинг», 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.

1 Анализ современных тенденций и стандартов в области информационного обеспечения качества автоматизированных машиностроительных производств

В нашей стране деятельность по развитию систем и методов управления качеством имеет глубокие корни. 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 этой области. Проблемам взаимосвязи стандартизации и управления качеством посвящены работы К. Исикавы, Г. Тагути, А.Ф. Фейгенбаума. Значительный научный вклад в исследование проблем сертификации, а также оценки соответствия внесли такие исследователи как В.Г. Версан, И.З. Аронов и др. Вопросам развития теории метрологии и квалиметрии посвящены научные труды Г.Г. Азгальдова, А.В. Гличева, Л.Н. Елисова, А.И. Субетто.

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 своё 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.

С учетом накопленного опыта, передовых практик и развития технологий в области менеджмента качества, управления жизненным циклом высокотехнологичной наукоемкой продукции необходимо проанализировать следующее:

- современные тенденции в области автоматизированных машиностроительных производств;
- стандарты в области информационной поддержки и управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции;
- стандарты в области проектирования и информационной поддержки бизнес-процессов;
- стандарты в области управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции;
- методы и средства обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции.

1.1 Современные тенденции в области автоматизированных машиностроительных производств

Мировые тенденции обусловили существование современных предприятий в формате холдингов и корпораций, подразделения которых зачастую территориально удалены друг от друга [1, 2]. В таких условиях на предприятиях для выработки согласованных и скоординированных действий по разработке, проектированию и технологическому освоению производства новой продукции в течение последних десятилетий успешно применяются компьютерные системы информационной поддержки жизненного цикла изделий (Computer-Aided Lifecycle Support, CALS-технологии) [3]. CALS-технологии применяются на современных машиностроительных предприятиях, обладающих развитой производственной инфраструктурой, в виде ГПС, станков с ЧПУ, аддитивных технологий и др. [4].

Развитие и совершенствование процессов информатизации производственных предприятий привели к появлению закономерной практики создания в составе их производственной инфраструктуры интегрированных информационно-технологических сред, объединяющих применение компьютеризированного производства

(СІМ), обмен конструкторскими и технологическими инженерными данными (CAD/CAM/CAE) и средства управления данными об изделиях (PDM) [5, 6]. Был создан нормативно-методический базис для информационной интеграции компонентов производственной среды предприятия, составляющий основу управления современным автоматизированным производственным предприятием. Например, технологии управления, реализуемые в ГПС, с учётом информатизации производственного предприятия регламентированы стандартами MES/S-95 [7].

На основе результатов анализа мировых практик в области разработки компьютерных систем управления качеством было 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. Примером потерь из-за плохого качества может служить отказ целевой аудитории от приобретения выпущенной продукции или организация и оплата мероприятий, связанных с отзывом продукции для устранения дефектов. Вместе с тем затратами на поддержание и развитие качества (предотвращение потерь) могут быть следующие:

- оценку поставщиков;
- аудиты качества;
- систему коррекции и предупреждения проблем качества;
- калибровку измерительных систем;
- обеспечение качества процессов;
- обучение и аттестацию сотрудников.

Очень трудно силами естественного интеллекта на практике точно подсчитать все расходы на качество и потери. Тщательный подсчет требует применения специализированной компьютерной системы, позволяющей знать, что и сколько теряет производитель из-за плохого качества, планировать работу по развитию качества (борьбу с дефектами), планировать расходы на качество (оптимальное соотношение затрат на качество и потерь из-за плохого качества).

В контексте «per cost» это означает – получить отдачу на затраты на поддержание и развитие качества. Отдача должна быть в денежном эквиваленте и быть больше, чем затраты.

Таким образом 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 «per time» подразумевает применение целевой функции, состоящей в оптимальном соотношении затраченного времени и уровня качества выпускаемой продукции. Тенденции широкого применения и развития концепции компьютеризированного производства обусловили специализацию промышленных систем по областям и охвату применения и, как следствие, их условное разделение на три уровня [8, 9] (рисунок 1.1).

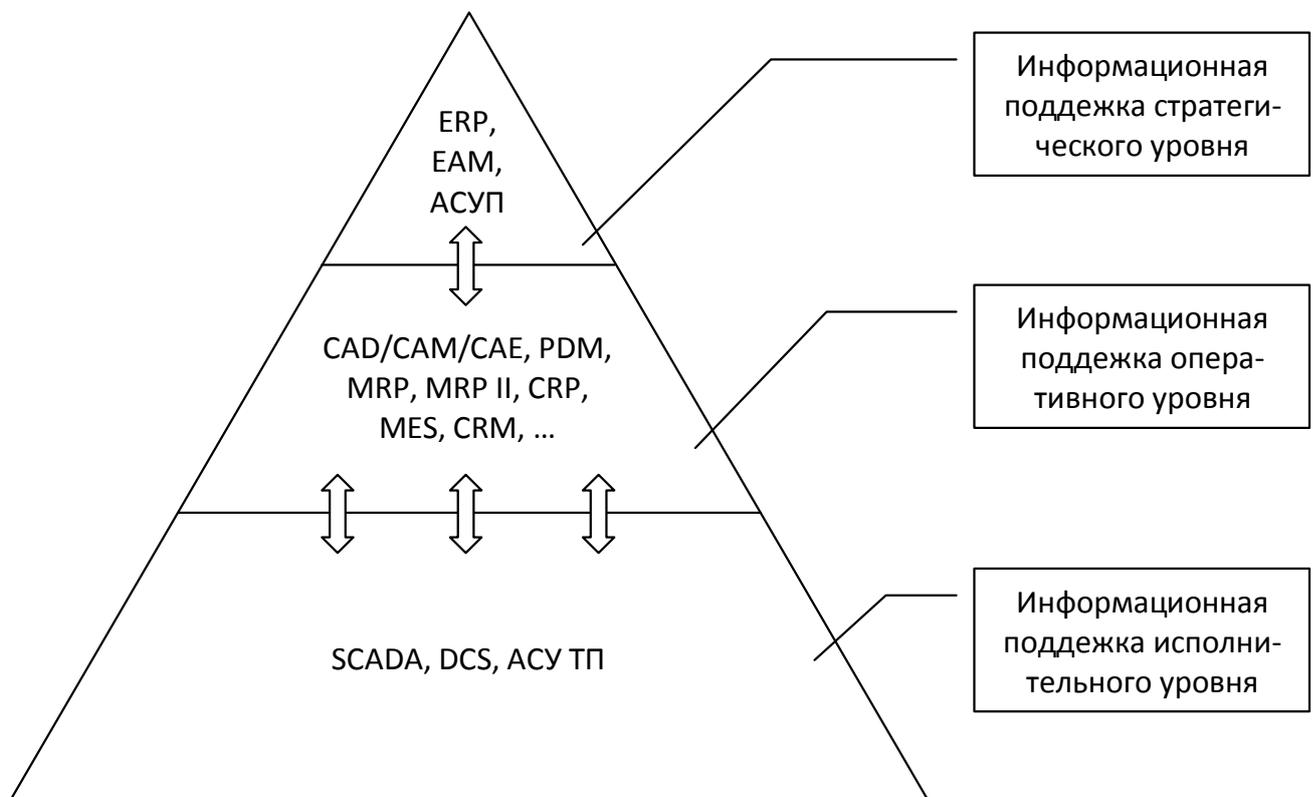


Рисунок 1.1 – Уровни применения промышленных информационных систем, составляющих единую информационно-технологическую среду производственного предприятия [5 – 9]

К первому уровню относят системы, предназначенные для задач принятия стратегических решений в рамках планирования и осуществления производственной деятельности предприятия. Применение таких систем подразумевает обязательное участие человека. Данный уровень условно объединяет следующие классы систем: ERP, EAM, АСУП, которые ориентированы на планирование и анализ деятельности предприятия, планирование и управление ресурсами, подготовку и контроль исполнения производственных заданий, и регулирование управленческой политики предприятия в целом [9].

Ко второму уровню относят системы, предназначенные для задач принятия оперативных решений, оказывающих влияние на подготовку и учёт деятельности производственного предприятия, принимаемых на уровне подразделений производственного предприятия. Применение таких систем подразумевает участие человека. В качестве примера можно привести следующие классы информационных систем этого уровня: CAD/CAM/CAE, CRM, CRP, ITSM, MRP, MRP II, MES, PDM. Информационные системы производственного предприятия указанных классов должны обладать свойством интероперабельности по отношению к системам других уровней, реализуя таким образом концепцию единой информационно-технологической среды производственного предприятия.

К третьему уровню относят системы, предназначенные для управления и мониторинга технологических процессов и объектов. Функционирование систем этого уровня подразумевает применение датчиков, исполнительных механизмов, производственного и технологического оборудования с получением обратной связи. Данный уровень условно объединяет системы следующих классов: SCADA, DCS, АСУ ТП.

Современные способы проектирования машиностроительной продукции характеризуются использованием конструкторами и технологами электронных библиотек шаблонов проектирования, электронных данных других инженерных проектов, параметрических моделей, в том числе в целях достижения унификации проектируемой машиностроительной продукции, взаимозаменяемости деталей и совместимости с другими изделиями [10]. Это позволяет существенно сократить сроки

подготовки конструкторской документации. Кроме того, информационно-технологическая среда развитого современного предприятия в составе производственной инфраструктуры предполагает тесное взаимодействие информационных технологий со средствами производства (ГПС, станков с ЧПУ, систем на основе аддитивных технологий). Существование современных машиностроительных предприятий в формате холдингов и транснациональных корпораций обусловлено широко распространённой тенденцией открытия их подразделений в развивающихся странах. Предпосылками данной тенденции являются соображения экономической целесообразности (размер оплаты труда сотрудников, налогов и других расходов в развивающихся странах существенно ниже по сравнению с развитыми странами), а существующие технологии информационной интеграции и компьютеризированного производства позволяют развернуть производство машиностроительных изделий в открытых подразделениях в сравнительно короткие сроки. В настоящее время развивающиеся страны всё чаще становятся центрами бизнес-инноваций, пересматривают существующие модели производства. При прочих равных условиях новые товары и услуги, произведенные в развивающихся странах, намного дешевле по сравнению с аналогами, производимыми в экономически развитых странах. Западные транснациональные корпорации рассматривают рынки развивающихся стран как источники экономического роста и квалифицированных кадров [11].

1.1.1 Стандарты в области информационной поддержки и управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции

Современные тенденции развития и применения принципов компьютеризированного производства (СІМ), потребность в автоматизации бизнес-процессов компаний различных предметных областей способствовали развитию методов информационно-методического и нормативного обеспечения деятельности организаций. Решение задач автоматизации процессов организации производится на основе разработки автоматизированных бизнес-процессов, которая, как правило, начинается

с определения стандарта или нотации, на основе которой будет осуществляться моделирование и разработка. При этом необходимо, чтобы проект, выполненный в соответствии с выбранной нотацией, был легко читаем и информативен, а инструменты описания максимально просты в использовании.

1.1.2 Стандарты в области проектирования и информационной поддержки бизнес-процессов

Существует достаточно большое разнообразие стандартов, нотаций и методологий проектирования автоматизированных бизнес-процессов: ARIS, DFD, IDEF, RUP, SADT, UML, кроме того допустимо принимать собственные стандарты организации и нотации [12]. Так, информационно-методическое и нормативное обеспечение процесса производится в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р ИСО 10303-203, входящего в комплекс стандартов по CALS-технологиям, и оформляется в соответствии с нотацией IDEF0, непосредственно связанной с процессно-ориентированным подходом управления организацией [13]. Процессно-ориентированный подход является основой методологии всеобщего менеджмента качества (TQM), базовые принципы и нормативные положения которой изложены в серии стандартов ИСО 9000. Требования к структуре и содержанию процессной модели системы менеджмента качества организации устанавливаются основополагающим стандартом ГОСТ Р ИСО 9001 «Системы менеджмента качества. Требования» [14]. Согласно этому стандарту организация должна разработать, внедрить, поддерживать и постоянно улучшать систему менеджмента качества, включая необходимые процессы и их взаимодействия, в том числе:

1. Определять требуемые входы и ожидаемые выходы этих процессов.
2. Определять последовательность и взаимодействие этих процессов.
3. Определять и применять критерии и методы (включая мониторинг, измерения и соответствующие показатели результатов деятельности), необходимые для обеспечения результативного функционирования этих процессов и управления ими.

4. Определять ресурсы, необходимые для этих процессов, и обеспечить их доступность.

5. Распределять обязанности, ответственность и полномочия в отношении этих процессов.

6. Учитывать риски и возможности в соответствии с требованиями стандарта.

7. Оценивать эти процессы и вносить любые изменения, необходимые для обеспечения того, что процессы достигают намеченных результатов.

8. Улучшать процессы и систему менеджмента качества.

Организация должна в необходимом объеме:

- разрабатывать, актуализировать и применять документированную информацию для обеспечения функционирования процессов;
- регистрировать и сохранять документированную информацию для обеспечения уверенности в том, что эти процессы осуществляются в соответствии с тем, как это было запланировано.

В зависимости от масштаба предприятия при параллельном выполнении сразу нескольких процессов жизненного цикла продукции весьма сложную задачу представляет периодическое согласование информации, например, о поставщиках, заказчиках, персонале, ресурсах, проектах, технологических процессах и конструкторско-технологической документации [15]. Упомянутая выше практика функционирования современных предприятий в составе более крупных организаций (холдингов, корпораций, концернов) зачастую обуславливает потребность в обмене электронными данными о процессах жизненного цикла изделий между территориально удалёнными предприятиями, а также в обмене или повторном использовании электронных инженерных данных. Такие данные составляют основу информационно-методического и нормативного обеспечения процессов предприятий [16]. Для решения данных задач международными организациями по стандартизации разрабатываются унифицированные форматы, нотации и другие нормативно-технические требования для конструкторско-технологического описания продукции (например, STEP – Standard for the Exchange of Product model data), организации производства (например, MANDATE – Manufacturing management data, P-LIB –

Parts Library), бизнес-процессов и торговли (например, IDEF0 – ICAM Definition, EDIFACT – Electronic Data Interchange For Administration, Commerce, and Transport), а также для так называемых «безбумажных» технологий поддержки жизненного цикла (например, CALS – Continuous Acquisition and Life Cycle Support) [17]. Кроме перечисленных стандартов существует ряд опубликованных спецификаций. К их числу относятся STEP PDM Schema и NATO Product Data Model. С 1999 г. выполняется проект PLCS (Product Life Cycle Support), в рамках которого разрабатывается протокол применения STEP (AP239), направленный на обеспечение информационной поддержки всего ЖЦ изделия. Участниками и спонсорами проекта являются ведущие западные компании и государственные учреждения [18].

Детальный анализ и изучение разработанных и разрабатываемых спецификаций и стандартов необходимы для того, чтобы подойти к созданию интегрированной информационной модели всего комплекса взаимосвязанных объектов, описывающих ЖЦ изделия [19]. Перечисленные стандарты, спецификации, методологии и нотации ориентированы на создание развитой интероперабельной информационно-технологической среды производственного предприятия, необходимой для управления предприятием на основе процессного подхода на основе перспективных методов совершенствования процессов предприятия, таких как: стратегия «6σ», принципы всеобщего менеджмента качества (TQM), методология FMEA и др.

1.1.3 Стандарты в области управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции

На современных производственных предприятиях существует тенденция усиления мер по управлению качеством технологических и бизнес-процессов, в особенности на ранних этапах жизненного цикла машиностроительной продукции и контролю их выполнения (применение современных методологий и моделей совершенства 6σ, FMEA, TQM, PDCA, CMM, CMMI, LEAN-технологий и др., ориентированных на процессный подход в управлении организациями) на фоне снижения затрат на выполнение процедур приёмки конечной продукции [15]. На примере

анализа самых масштабных отзывов автомобилей в истории можно предполагать о весьма большом размере вероятных убытков машиностроительных предприятий, которые они могут понести из-за несвоевременного устранения дефектов [20], неверных управленческих решений и неэффективной организации производства. Перечисленные методологии менеджмента качества представляют собой комплекс мер по совершенствованию процессов и продукции предприятий, сокращению дефектов и неэффективного расходования ресурсов. Однако комплексное применение одновременно нескольких указанных стандартов и методов управления качеством (рисунок 1.2), а также необходимость согласования результатов их применения, могут обуславливать сложность задачи управления качеством процессов жизненного цикла продукции на современном машиностроительном предприятии.

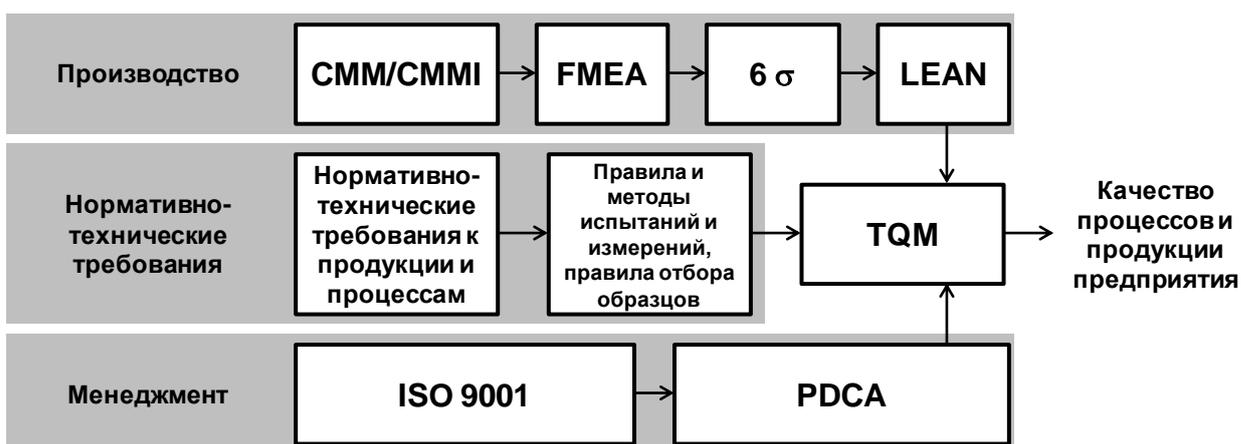


Рисунок 1.2 – Вариант комплексного применения стандартов и методов управления качеством процессов машиностроительного предприятия [15, 18]

1.2 Методы и средства обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции

Нормативно-справочное и методическое обеспечение процессов жизненного цикла машиностроительной продукции может быть обеспечено традиционными методами информационной поддержки:

- накопление (например, фонды документации на типовые технологические процессы и средства технологического оснащения);

- классификация (например, классификаторы технико-экономической информации);
- обмен технической информацией.

Вместе с тем применение современных информационных технологий для обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции открывает новые возможности в решении данной задачи. Современные информационные технологии базируются на теории искусственного интеллекта, методах информационного моделирования, когнитивной компьютерной графики, позволяющих найти решения плохо формализуемых задач, а также задач с неполной информацией и нечеткими исходными данными [21].

Важным вопросом в задаче реализации информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции является то, каким образом будет собрана, проанализирована и представлена информация, необходимая для выполнения указанных процессов. Определяющее значение имеет унифицированное метаописание входных и выходных данных систем, составляющих основу единой информационно-технологической среды производственного предприятия. На этом этапе семантика определяет структуру данных. В соответствии с национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 52611-2006 «Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Средства информационной поддержки жизненного цикла продукции. Безопасность информации. Основные положения и общие требования» [22], средства информационной поддержки жизненного цикла продукции (СИПЖЦП) – это аппаратные, программно-аппаратные, программные средства, реализующие процессы сбора, обработки, накопления, хранения и поиска информации в интегрированной информационной среде. Современные методы или подходы обеспечения информационной поддержки процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, основанные на применении информационных систем классов CAD/CAM/CAE, ERP, MRP II, PDM, PLM и других, заключаются в адаптации совокупности взаимосвязанных автоматизированных бизнес-процессов, моделирующих процессы предприятия, к конкретному производственному предприятию с учетом его отраслевой специфики [23]. Данные автоматизированные бизнес-

процессы, каждый из которых является набором инструкций, имеют формальный характер: передать данные о материальных потоках в информационную систему склада, сделать запись о выполненных операциях, выполнить другие подобные операции.

В таблице 1.1, составленной на основе анализа [5 – 9] представлено функциональное назначение классов информационных систем, составляющих основу концепции CALS, а также их входные и выходные данные.

Таблица 1.1 – Входные и выходные данные информационных систем единой информационно-технологической среды предприятия

№ п/п	Класс информационной системы	Функциональное назначение системы	Входные данные	Выходные данные
1.	ERP	Планирование процессов производства, ресурсов, активов. Использование единой транзакционной модели для всех сфер деятельности предприятия	Заказ	Объемно-календарный план
2.	MES	Управление и оптимизация производственной деятельности в режиме реального времени (инициирует, отслеживает, оптимизирует, документирует производственные процессы)	Объемно-календарный план	Оперативный план
3.	CRM	Автоматизация процессов взаимоотношений с клиентами	Данные контактов с клиентом	База результатов взаимодействий с клиентом, поиск
4.	FRP	Планирование потребности в финансовых ресурсах	Объемно-календарный план	План потребности в финансовых ресурсах
5.	MRP	Планирование потребности в материалах и сырье	Объемно-календарный план	План возникновения потребности в материалах и сырье

Продолжение таблицы 1.1

6.	MRP-II	Планирование потребности в сырье и материалах в денежном выражении	Объемно-календарный план	План возникновения потребности в материалах и сырье в денежном выражении
7.	SCP	Прогноз продаж компании, управление запасами, управление пополнениями	Объемно-календарный план	План заказов
8.	SCM	Управление всеми логистическими процессами на предприятии	Объемно-календарный план	Информация о материальных потоках
9.	PMS	Управления процессами технического обслуживания и ремонта (ТОиР)	Объемно-календарный план	План обслуживания
10.	PLM	Управление всей информацией об изделии и связанных с ним процессах на протяжении всего его жизненного цикла, начиная с проектирования и производства до снятия с эксплуатации	План проекта	Информационное сопровождение продукции на всех этапах ее жизненного цикла
11.	MPM	Управление производственным процессом	Конструкторская документация	Планы изготовления деталей и сборок
12.	ESM	Накопление и систематизация корпоративной информации	Данные (собственный опыт и разведка)	База знаний, поиск
13.	EAM	Управление основными фондами предприятия (техническое обслуживание и ремонт, материально-техническое снабжение, управление складскими запасами (запчасти для технического обслуживания), управление финансами, качеством и трудовыми ресурсами в части технического обслуживания, ремонтов и материально-технического обеспечения)	Данные (собственный опыт и разведка)	База знаний, поиск

Продолжение таблицы 1.1

14.	CAD	Автоматизация процесса проектирования изделия	Данные об изделии (проект)	Конструкторская документация
15.	CAE	Оценка поведения компьютерной модели изделия в реальных условиях эксплуатации	Данные об изделии (проект)	Техническая карта изделия
16.	CAM	Автоматизация процесса проектирования	Данные об изделии (проект)	Маршрутная карта изделия
17.	APS	Усовершенствованное планирование	Данные об изделии (проект), объемно-календарный план	Основной производственный план, план загрузки производственных мощностей
18.	PDM	Управление всеми данными об изделии	Данные об изделии	База знаний, поиск данных об изделии
19.	MRO	Планирование технического обслуживания и ремонтов, анализ результатов	Объемно-календарный план	План обслуживания
20.	CAPP	Планирование (проектирование) технологических процессов	Модель изделия	Маршрутная карта
21.	WMS	Автоматизация и оптимизация всех процессов складской работы предприятия	Информация о материальных потоках	Автоматизация и оптимизация всех процессов складской работы профильного предприятия

Выводы по первой главе

На основе проведенного анализа зарубежных и отечественных публикаций, национальных, межгосударственных и международных стандартов, включая электронные информационные ресурсы, выявлены основные современные тенденции и систематизированы стандарты в области информационного обеспечения качества автоматизированных машиностроительных производств.

Показано, что тенденции дальнейшего развития 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.

Информационное пространство единой информационно-технологической среды современного машиностроительного предприятия характеризуется распределенным хранением многочисленных и взаимосвязанных данных и является основой интеграции элементов производственной инфраструктуры предприятия. Для решения задач управления качеством, финансами и персоналом на предприятиях применяются стандарты и методологии управления качеством, обуславливающие необходимость обеспечения совместимости и взаимной интеграции средств информационной поддержки жизненного цикла продукции, ориентированных на решение частных задач. Традиционные системы менеджмента качества, не имеющие средств информационной поддержки, не обеспечивают качественную реализацию процессного подхода, ориентированного на системное управление взаимосвязанными процессами и ресурсами. На ранних этапах жизненного цикла продукции необходимость разработки и совершенствования средств информационной поддержки является особенно актуальной задачей.

2 Функциональное моделирование процессов жизненного цикла для обеспечения качества машиностроительной продукции

2.1 Анализ структуры и взаимосвязи процессов жизненного цикла машиностроительной продукции

В соответствии с принципами TQM, лучшими мировыми практиками [15] и основополагающими международными стандартами в области менеджмента качества (ИСО серии 9000) [14], управления жизненным циклом изделий (спецификация STEP, ИСО 10303), и жизненного цикла систем (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288) [24], сформулированы универсальные представления в области процессных моделей управления предприятиями и жизненным циклом изделий. При этом необходимо отметить, что на национальном (ГОСТ Р, ГОСТ РВ) действуют стандарты, имеющие национальную специфику, которую необходимо учитывать при создании концептуальных моделей управления качеством процессов и продукции в условиях конкурентной среды [25 – 27]. С учётом этого во второй главе диссертационной работы выполнено функциональное моделирование процессов жизненного цикла для обеспечения качества.

2.1.1 Структура процессов в соответствии с требованиями национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9001

На основе базовой процессной модели ГОСТ Р ИСО 9001-2015 выполнена декомпозиция и проанализированы структура и взаимосвязи процессов жизненного цикла [14]. Указанные исследования выполнены на основе применения методов системного анализа и средств CASE-технологий [12].

Исходя из структуры декомпозиции процессов сформулированы оценки качества процессов с учётом их значимости и потенциального влияния на критерии отказоустойчивости в соответствии с методологией FMEA. Особое внимание уделено изучению зависимости качества процесса и продукции, учитывающей наследование качества процессов жизненного цикла продукции в качестве продукции.

В настоящее время существует множество нормативно-технических документов, определяющих терминологию и регулирующих основные положения в области управления жизненным циклом продукции. Это различные по своей отраслевой специфике национальные, международные и межгосударственные стандарты, а также рекомендации по стандартизации. В проанализированных автором нормативно-технических документах нет единого определения понятия «жизненный цикл продукции» [14, 24 – 27]. Индикаторы состояний системного развития продукта во времени, характеризующие периоды в пределах его жизненного цикла, в этих нормативно-технических документах определяются и как «стадии жизненного цикла», и как «этапы жизненного цикла», и как «процессы жизненного цикла». Так, например, в соответствии с национальным стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 – 2005, жизненный цикл системы – это развитие рассматриваемой системы во времени, начиная от замысла и заканчивая списанием [24]. В приложении «б» указанного стандарта приведены иллюстрации шести стадий, основанные на использовании наиболее часто встречающихся примеров стадий жизненного цикла систем:

- стадия замысла;
- стадия разработки;
- стадия производства;
- стадия применения;
- стадия поддержки применения;
- стадия прекращения применения и списания.

Одновременно документ Р 50-605-80-93 «Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения» определяет стадию жизненного цикла продукции как часть жизненного цикла продукции, характеризуемую определенным состоянием продукции, видом предусмотренных работ и их конечными результатами. В общем случае для жизненного цикла продукции приняты следующие стадии:

- для народно-хозяйственной продукции – исследование и проектирование; изготовление; обращение и реализация; эксплуатация или потребление;

- для военной техники – исследование и обоснование разработки; разработка; производство; эксплуатация (для изделий военной техники) или хранение (применение) (для материалов); капитальный ремонт (для ремонтируемых изделий военной техники), проводимый специализированными ремонтными предприятиями по истечении установленных сроков эксплуатации (наработки) или при возникновении серьезных дефектов, приводящих к невозможности дальнейшей эксплуатации изделия [27].

В то же время межгосударственный стандарт ГОСТ РВ 15.004 определяет 5 стадий жизненного цикла для изделий:

- исследование и обоснование разработки;
- разработка;
- производство;
- эксплуатация;
- капитальный ремонт (для капитально ремонтируемых изделий),

как части жизненного цикла, характеризующиеся определённым состоянием изделия (материала) конкретного типа, совокупностью предусмотренных стадиями работ и их конечными результатами [25].

Рекомендации по стандартизации Р 50.1.031-2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции» [26], разработанные на основе государственных стандартов серии ГОСТ Р ИСО 10303, определяют жизненный цикл изделия как совокупность этапов, через которые проходит изделие за время своего существования:

- маркетинговые исследования;
- составление технического задания;
- проектирование;
- технологическая подготовка производства;
- изготовление;
- поставка;

- эксплуатация;
- ремонт;
- утилизация.

В соответствии с требованиями национальным стандартом ГОСТ Р ИСО 9001 определены следующие процессы жизненного цикла продукции:

- планирование процессов жизненного цикла продукции;
- процессы, связанные с потребителями;
- проектирование и разработка;
- закупки;
- производство и обслуживание;
- управление устройствами для мониторинга и измерений.

В таблице 2.1 представлены выявленные автором взаимосвязи стадий, этапов и процессов жизненного цикла продукции.

Анализ научных трудов [28 – 36] показал, что уровень качества продукции зависит от качества выполнения процессов её жизненного цикла. На современном уровне основополагающие стандарты определяют качество существенно шире, чем просто достижение бездефектности продукции. Так в отношении продукции термин «качество» стандартом ГОСТ Р ИСО 9000-2015 определён как «степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям». При этом постоянное развитие научно-технического уровня обуславливает постоянное повышение требований к продукции [38].

В этих условиях определяющее значение имеет своевременное выполнение цикла конструкторско-технологической подготовки производства до наступления развития следующего витка требований к продукции.

Таблица 2.1 – Взаимосвязь стадий, этапов и процессов жизненного цикла продукции

	Нормативный документ	Структурные элементы, характеризующие периоды в пределах жизненного цикла продукта и его состояние системного развития во времени										
Процессы жизненного цикла продукции	ГОСТ Р ИСО 9001 – 2008	Планирование процессов жизненного цикла продукции										
		Процессы, связанные с потребителями	Проектирование и разработка	Закупки			Производство и обслуживание			Управленческие устройства для мониторинга и измерений		
Стадии жизненного цикла	ГОСТ В 15.004-84	Исследование и обоснование разработки	Разработка	Производство			Эксплуатация	Капитальный ремонт	–			
	ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288	Замысел	Разработка	Производство			Применение	Поддержка применения	Прекращение применения и списание			
Этапы жизненного цикла	Р 50.1.031 – 2001	Маркетинговые исследования	Составление технического задания	Проектирование	Технологическая подготовка производства	Изготовление		Поставка	Эксплуатация	Ремонт	Утилизация	
Технические процессы	ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288 – 2005	Определение требований заказчика (правообладателей)	Анализ требований	Проектирование архитектуры	Реализация	Комплексирование	Верификация	Передача заказчику	Валидация	Функционирование	Сопровождение	Списание

2.1.2 Взаимосвязь процессов по ГОСТ Р ИСО 9001 и принципов всеобщего менеджмента качества

Успешное решение проблемы повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции определяется эффективностью системы организации и управления производством [30]. Одно из решений для эффективного производства высококачественной продукции – это внедрение сертифицированной системы менеджмента качества (СМК) на основе стандартов ИСО серии 9000.

Стандарт ГОСТ Р ИСО 9001-2015 определяет 7 основных принципов менеджмента качества, необходимых для того, чтобы высшее руководство могло применять их для улучшения деятельности организации: ориентация на потребителя; лидерство; взаимодействие работников; процессный подход; улучшение; принятие решений, основанное на свидетельствах; менеджмент взаимоотношений (рисунок 2.1).

Процессом принято считать совокупность взаимосвязанных или взаимодействующих видов деятельности, преобразующая входы в выходы [37]. При этом под производственным процессом понимается структурированный комплекс видов деятельности или работ, выполняемых с материалом для перевода его из сырья или заготовки в завершенное в дальнейшем состояние. Определены 6 процессов жизненного цикла продукции: планирование процессов жизненного цикла продукции; процессы, связанные с потребителями; проектирование и разработка; закупки; производство и обслуживание; управление устройствами для мониторинга и измерений [14].



Рисунок 2.1 – Соответствие процессных моделей стандартов ГОСТ Р ИСО 9001-2015 и ГОСТ РВ 0015-002-2012 принципам TQM

2.1.3 Взаимосвязь процессов и этапов жизненного цикла продукции

Приведенные выше процессы жизненного цикла продукции применяются в рамках функционирования СМК предприятия во взаимосвязи с общепринятыми индикаторами состояний системного развития продукта во времени, характеризующих периоды в пределах его жизненного цикла («стадии жизненного цикла продукции», «этапы жизненного цикла продукции» и др.) [14, 24 – 27]. Так, например, полуфабрикат или заготовка, для которой наступил этап эксплуатации, применяется при изготовлении детали (в рамках этапа ее изготовления), при выполнении процесса жизненного цикла «производство и обслуживание» изделия. В данном случае в качестве изделия наследуется как качество самой заготовки, так и качество технологических процессов, выполненных при изготовлении детали, являющейся частью изделия (рисунок 2.2). Так, современный автомобиль состоит в среднем из 15 тыс. деталей, производством которых также занято множество предприятий-поставщиков, а «Боинг-747» собирается из 4,5 млн. различных частей, в производстве которых занято 16 тыс. компаний [39]. Процессы жизненного цикла различных деталей, узлов и агрегатов будут связаны друг с другом через этапы жизненного цикла изделия.

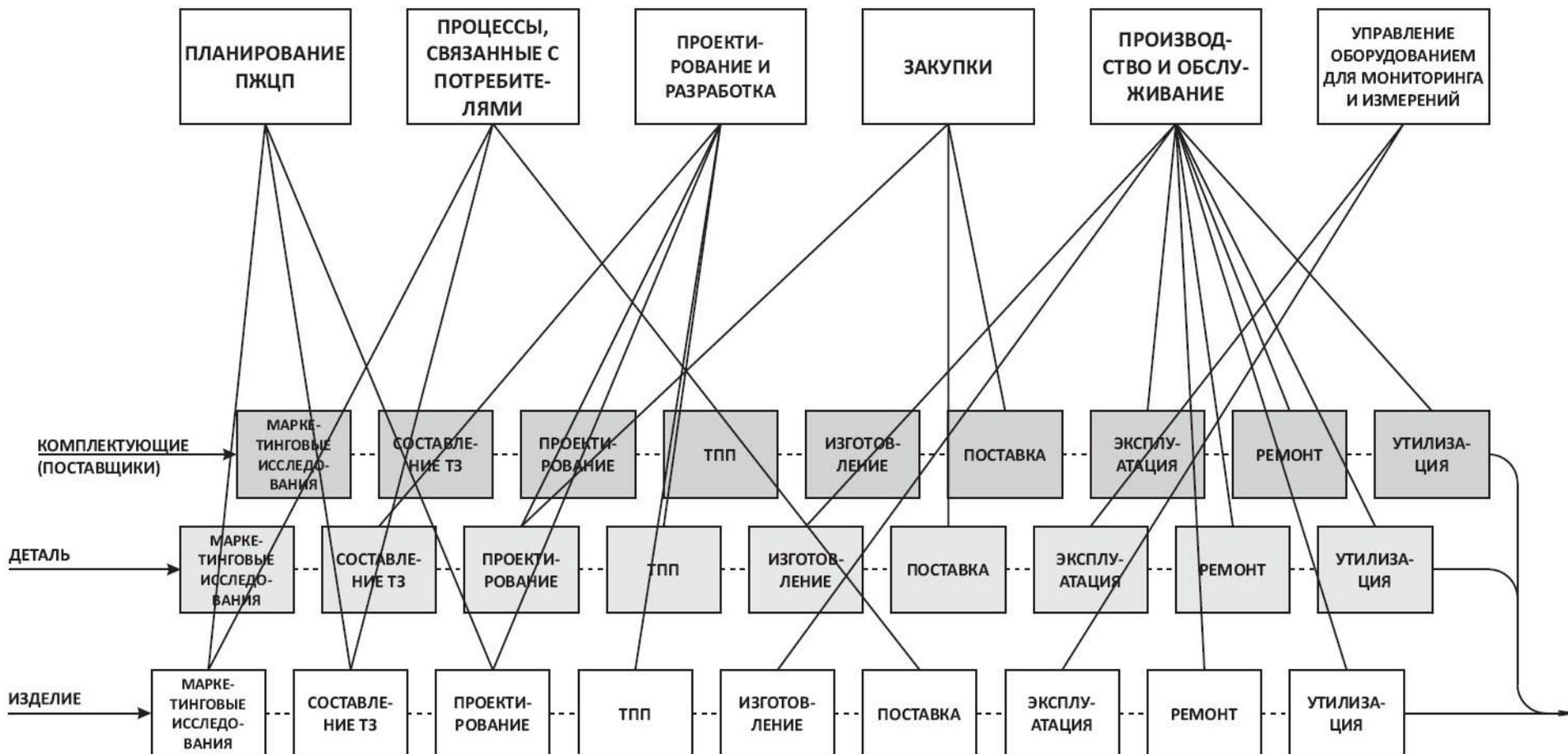


Рисунок 2.2 – Взаимосвязь процессов и этапов жизненного цикла комплектующих, деталей, узлов и агрегатов при производстве машиностроительной продукции

2.2 Влияние качества процессов жизненного цикла на качество машиностроительной продукции

В соответствии с требованиями ИСО 9001 процессная модель СМК предприятия должна включать 4 основные группы процессов, которые могут быть декомпозированы на 17 процессов и 58 подпроцессов [14]. Для обеспечения качества машиностроительной продукции основополагающее значение имеет управление качеством процессов жизненного цикла продукции. Декомпозиция процессной модели СМК (P_0) в обобщенном виде может быть представлена:

$$P_0 \supset P_i \supset P_j^i \supset P_q^j \dots \quad (2.1)$$

где P_i – 4 группы процессов, составляющие основу СМК P_0 .

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 (таблица 2.2), описывающее принцип унаследования качества подпроцессов в процессах.

Для обеспечения качества машиностроительной продукции [28 – 37] основополагающее значение имеет управление качеством группы процессов жизненного цикла продукции.

Таблица 2.2 – Декомпозиция процессов системы менеджмента качества предприятия

Группы процессов	Процессы	Подпроцессы	
Процессы управленческой деятельности руководства	Документирование СМК (4.2)	Разработка политики в области качества (4.2.1)	
		Разработка руководства по качеству (4.2.2)	
		Документирование процедур и записей (4.2.3)	
		Управление записями (4.2.4)	
	Обеспечение ответственности руководства (5.1)		Выполнение обязательств руководства (5.1)
			Обеспечение ориентации на потребителя (5.2)
			Обеспечение политики в области качества (5.3)
			Планирование (5.4) Анализ со стороны руководства (5.6)
Процессы обеспечения ресурсами	Обеспечение человеческими ресурсами (6.2)	Определение необходимой компетентности персонала	
		Обеспечение подготовки персонала	
		Учет компетентности персонала	
	Обеспечение инфраструктуры (6.3)	Обеспечение в рабочем состоянии зданий и рабочего пространства	
		Обеспечение технических и программных средств	
		Обеспечение транспорта, средств ИКТ и др.	
	Обеспечение производственной среды (6.4)	Создание производственной среды для обеспечения требований к продукции	
Управление производственной средой			
Процессы жизненного цикла продукции (ПЖЦП)	Планирование процессов жизненного цикла продукции (7.1)	Определение требований к продукции	
		Определение потребностей в процессах, документах и ресурсах (План качества)	
		Определение критериев приемки продукции	
		Записи о соответствии ПЖЦП и продукции требованиям	
	Процессы, связанные с потребителями (7.2)	Определение комплекса требований к продукции (7.2.1) Анализ требований к продукции в предконтрактный период (7.2.2)	

Группы процессов	Процессы	Подпроцессы
		Связь с потребителями (7.2.3)
	Проектирование и разработка (7.3)	Планирование проектирования и разработки (7.3.1)
		Определение входных данных (7.3.2)
		Определение выходных данных для проектирования и разработки (7.3.3)
		Систематический анализ проекта и разработки (7.3.4)
		Верификация проекта и разработки (7.3.5)
		Валидация проекта и разработки (7.3.6)
		Управление изменениями проекта и разработки (7.3.7)
	Закупки (7.4)	Управление процессом закупок (7.4.1)
		Информация по закупкам продукции и услуг (7.4.2)
		Контроль соответствия закупленной продукции требованиям к закупкам (7.4.3)
	Производство и обслуживание (7.5)	Управление производством и обслуживанием (7.5.1)
		Валидация процессов производства и обслуживания (7.5.2)
		Идентификация продукции на всех этапах ее жизненного цикла (7.5.3)
Верификация и защита собственности потребителя (7.5.4)		
Сохранение соответствия продукции (7.5.5)		
Управление устройствами для мониторинга и измерений <*> (7.6)	Управление процессами и устройствами для мониторинга и измерений	
Процессы измерения, анализа, улучшения	Планирование процессов мониторинга, анализа и улучшения (8.1)	Обеспечение соответствия требованиям к продукции
		Обеспечение соответствия СМК
		Обеспечение результативности СМК
	Мониторинг и измерение (8.2)	Мониторинг выполнения организацией требований потребителя (8.2.1)
		Проведение внутренних аудитов (проверок) (8.2.2)
Мониторинг и измерение процессов СМК (8.2.3)		

Группы процессов	Процессы	Подпроцессы
		Мониторинг и соблюдение требований к продукции (8.2.4)
	Управление несоответствующей продукцией (8.3)	Идентификация несоответствующей продукции Устранение обнаруженного несоответствия Повторная верификация исправленной продукции
	Анализ данных (8.4)	Сбор и анализ данных об удовлетворенности потребителей (8.2.1) Сбор и анализ данных о соответствии требованиям к продукции (8.2.4) Сбор и анализ данных о тенденциях развития процессов и продукции (8.2.3 и 8.2.4) Сбор и анализ данных о поставщиках (7.4)
	Улучшение (8.5)	Постоянное улучшение результативности СМК (8.5.1) Корректирующие действия (8.5.2) Предупреждающие действия (8.5.3)

Примечание: в круглых скобках указаны соответствующие пункты стандарта ГОСТ Р ИСО 9001

2.3 Взаимосвязь и функциональные модели процессов жизненного цикла продукции

Взаимосвязи процессов [38 – 44] рассмотрены с учётом основополагающего понятия процесса (ГОСТ Р ИСО 9001) и изменения функции владельцев процесса в ходе его выполнения (потребитель – владелец – поставщик). На рисунке 2.3 представлена функциональная модель процесса, отражающая его основную функцию на основе структурированного описания входов и выходов процесса, управляющих воздействий в соответствии с профилем требований нормативно-технических документов, а также необходимого ресурсного обеспечения для качественной реализации проекта.

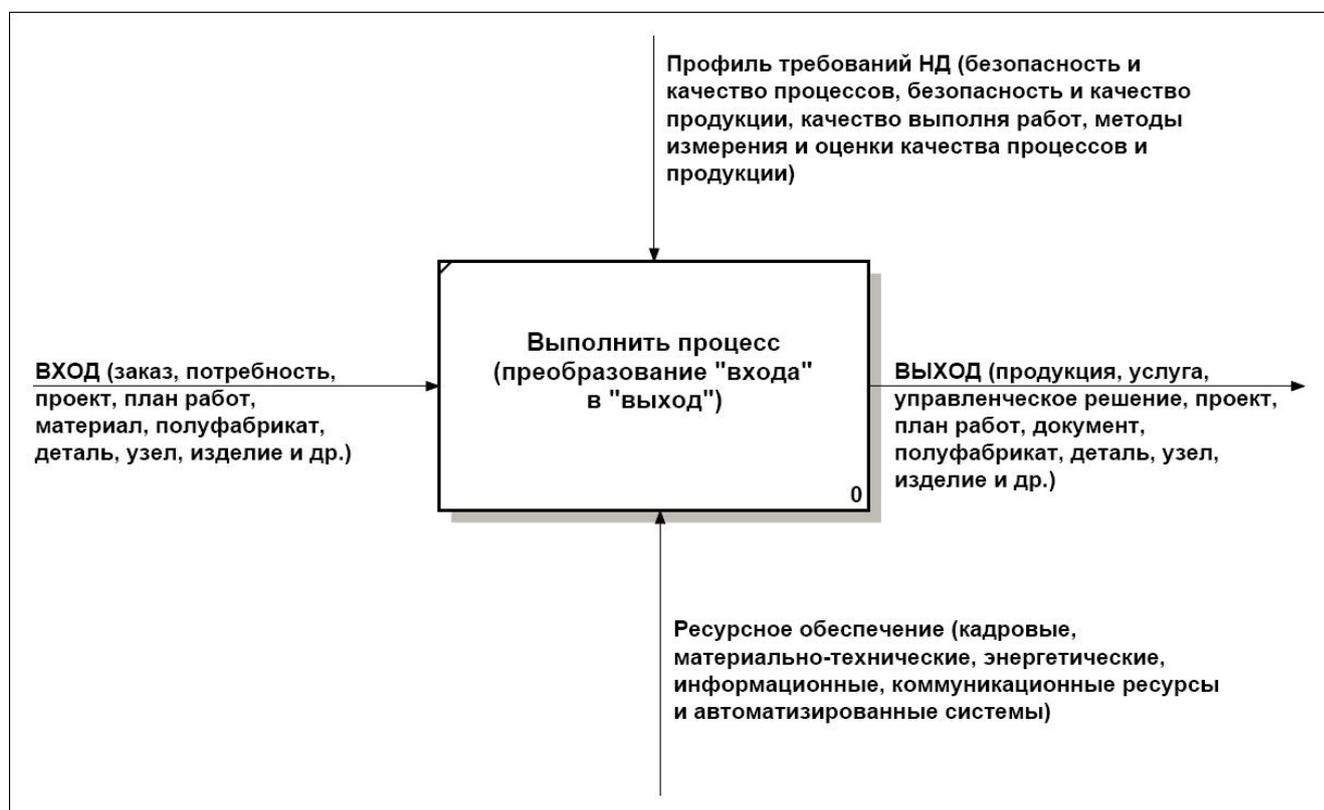


Рисунок 2.3 – Функциональная модель процесса

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 конкретного предприятия с учётом принятой его руководством политики в области менеджмента качества.

В качестве первого этапа анализа была создана структурная модель, позволяющая судить о задаче управления качеством на основе требований ГОСТ Р ИСО 9001 как о сложном параллельном управлении совокупностью многочисленных и взаимосвязанных идентифицированных процессов [14].

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 [40].

Сегодня широкое внедрение СМК на базе стандартов серии ИСО 9000 на машиностроительных предприятиях сдерживается по разным причинам. Прежде всего, потому, что СМК, построенная на базе стандартов серии ИСО 9000, не имеет четкой структуры, отражающей взаимосвязи функциональных блоков всего производственного комплекса. Анализ принципов и требований ГОСТ Р ИСО 9001 с учетом реального производства позволил функции и процедуры СМК в общем случае представить следующими четырьмя блоками:

1. Процессы управленческой деятельности (С).
2. Процессы жизненного цикла продукции (L).
3. Процессы обеспечения ресурсами (R).
4. Процессы измерения, анализа, улучшения (M).

Используя предлагаемое деление СМК на блоки и теорию соотношений [41], можно формальную запись системы представить в следующем виде:

$СМК \supset (C, L, R, M)$, где 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 блока C в составе СМК на базе ИСО серии 9000, содержат некоторое подмножество конкретных процедур и действий, в частности:

$c_1 \supset (c_{1,1}; c_{1,2}; c_{1,3}; c_{1,4}); c_2 \supset (c_{2,1}; c_{2,2}; c_{2,3}; c_{2,4}; c_{2,5})$, где $c_{1,1}$ — символ, обозначающий процедуры разработки политики в области качества; $c_{1,2}$ — процедуры разработки руководства по качеству; $c_{1,3}$ — документирование процедур и записей; $c_{1,4}$ — управление записями; $c_{2,1}$ — выполнение обязательств руководства; $c_{2,2}$ — обеспечение ориентации на потребителя; $c_{2,3}$ — обеспечение политики в области качества; $c_{2,4}$ — планирование; $c_{2,5}$ — анализ со стороны руководства.

Другой блок СМК, представляющий собой структуру процессов жизненного цикла продукции, запишем в виде соотношения $L \supset (l_i); i = 1 \dots 6$ где $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6$ — символы, обозначающие соответственно: планирование процессов жизненного цикла продукции; процессы, связанные с потребителями; проектирование и разработка; закупки; производство и обслуживание; управление устройствами для мониторинга и измерений.

$l_1 \supset (l_{1,1}; l_{1,2}; l_{1,3}; l_{1,4}); l_2 \supset (l_{2,1}; l_{2,2}; l_{2,3}), l_3 \supset (l_{3,1}; l_{3,2}; l_{3,3}; l_{3,4}; l_{3,5}; l_{3,6}; l_{3,7}); l_4 \supset (l_{4,1}; l_{4,2}; l_{4,3}), l_5 \supset (l_{5,1}; l_{5,2}; l_{5,3}; l_{5,4}; l_{5,5}); l_6 \supset (l_{6,1})$, 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.

Другой блок СМК, представляющий собой процессы обеспечения ресурсами, запишем в виде соотношения $R \supset (r_i)$; $i = 1 \dots 3$ где r_1, r_2, r_3 — символы, обозначающие соответственно: обеспечение человеческими ресурсами, обеспечение инфраструктуры, обеспечение производственной.

$r_1 \supset (r_{1,1}; r_{1,2}; r_{1,3})$; $r_2 \supset (r_{2,1}; r_{2,2}; r_{2,3})$, $r_3 \supset (r_{3,1}; r_{3,2})$, где $r_{1,1}$ – определение необходимой компетентности персонала; $r_{1,2}$ – обеспечение подготовки персонала; $r_{1,3}$ – учет компетентности персонала; $r_{2,1}$ – обеспечение в рабочем состоянии зданий и рабочего пространства; $r_{2,2}$ – обеспечение технических и программных средств; $r_{2,3}$ – обеспечение транспорта, средств ИКТ и др.; $r_{3,1}$ – создание производственной среды для обеспечения требований к продукции; $r_{3,2}$ – управление производственной средой.

Четвертый блок включает в себя подсистемы обеспечения функций СМК, процессы которых представим соотношением вида: $M \supset (m_i)$; $i = 1 \dots 5$ где m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 — символы, обозначающие соответственно: планирование процессов мониторинга, анализа и улучшения, мониторинг и измерение, управление несоответствующей продукцией, анализ данных, улучшение.

$m_1 \supset (m_{1,1}; m_{1,2}; m_{1,3})$; $m_2 \supset (m_{2,1}; m_{2,2}; m_{2,3}; m_{2,4})$, $m_3 \supset (m_{3,1}; m_{3,2}; m_{3,3})$; $m_4 \supset (m_{4,1}; m_{4,2}; m_{4,3}; m_{4,4})$, $m_5 \supset (m_{5,1}; m_{5,2}; m_{5,3})$, где $m_{1,1}$ – обеспечение соответствия требованиям к продукции; $m_{1,2}$ – обеспечение соответствия СМК; $m_{1,3}$ – обеспечение результативности СМК; $m_{2,1}$ – мониторинг выполнения организацией требований потребителя; $m_{2,2}$ – проведение внутренних аудитов (проверок); $m_{2,3}$ – мониторинг и измерение процессов СМК; $m_{2,4}$ – мониторинг и соблюдение требований к продукции; $m_{3,1}$ – идентификация несоответствующей продукции; $m_{3,2}$ – устранение обнаруженного несоответствия; $m_{3,3}$ – повторная верификация исправленной продукции; $m_{4,1}$ – сбор и анализ данных об удовлетворенности потребителей; $m_{4,2}$ – сбор и

анализ данных о соответствии требованиям к продукции; $m_{4,3}$ – сбор и анализ данных о тенденциях развития процессов и продукции; $m_{4,4}$ – сбор и анализ данных о поставщиках; $m_{5,1}$ – постоянное улучшение результативности СМК; $m_{5,2}$ – корректирующие действия; $m_{5,3}$ – предупреждающие действия.

На основе рассмотренных принципов и введенных символов представляется возможным содержание СМК [41 – 48] на базе стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015 записать в виде следующих соотношений [14]:

$$\begin{aligned} \text{СМК} \supset \{ & [(C \supset c_i); i = 1 \dots 2,], [(L \supset l_j); j = 1 \dots 6], \\ & [(R \supset r_k); k = 1 \dots 3], [(M \supset m_z); z = 1 \dots 5] \} \end{aligned} \quad (2.2)$$

В соответствии с выполненной структурной декомпозицией процессов и особенностями этапов и процессов машиностроительного производства разработаны таблицы, отражающие типовые входы и выходы для наиболее важных процессов жизненного цикла.

На рисунке 2.4 представлена декомпозиция и анализ структуры и взаимосвязей процессов жизненного цикла продукции с учетом специфики машиностроительного производства.



Рисунок 2.4 – Декомпозиция типовых процессов предприятия (группа L) для обеспечения системы менеджмента качества (ГОСТ Р ИСО 9001)

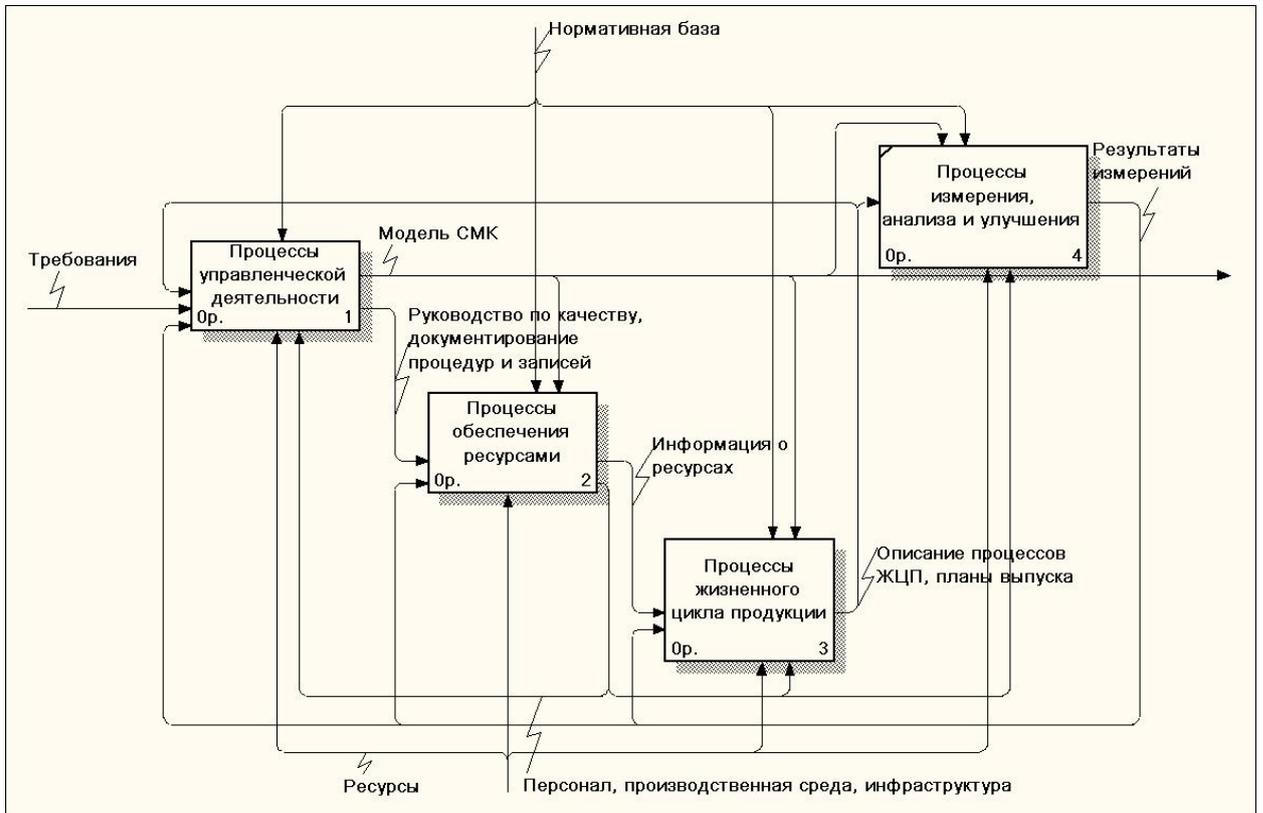


Рисунок 2.5 – Функциональная модель основных групп процессов менеджмента качества

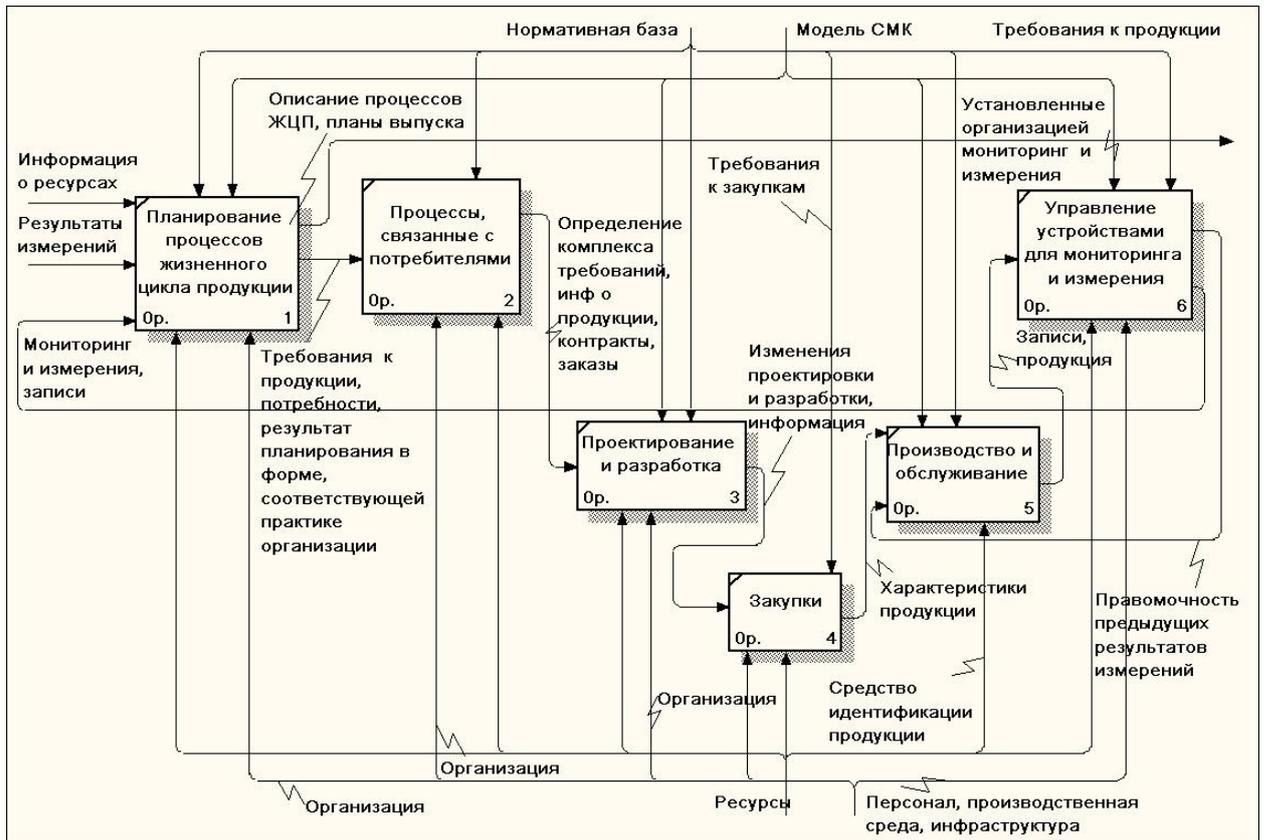


Рисунок 2.6 – Декомпозиция 3-й группы процессов менеджмента качества «Процессы жизненного цикла»

Согласно предписанным взаимодействиям функциональных блоков была построена структурно-функциональная модель СМК, позволяющая проводить сопоставление практикуемых и вновь вводимых процедур управления качеством продукции на системной основе. Модель можно также использовать для совершенствования системы качества.

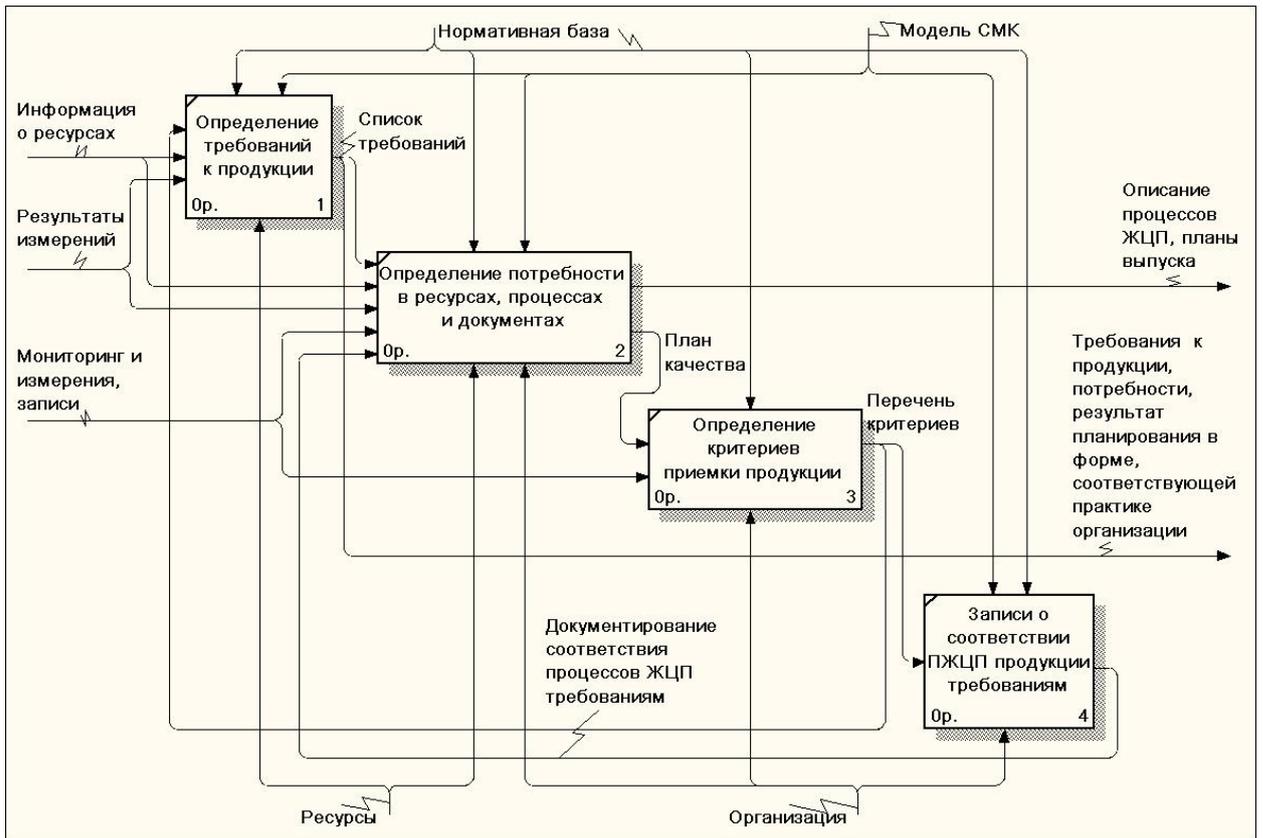


Рисунок 2.7 – Декомпозиция процесса планирования процессов жизненного цикла продукции

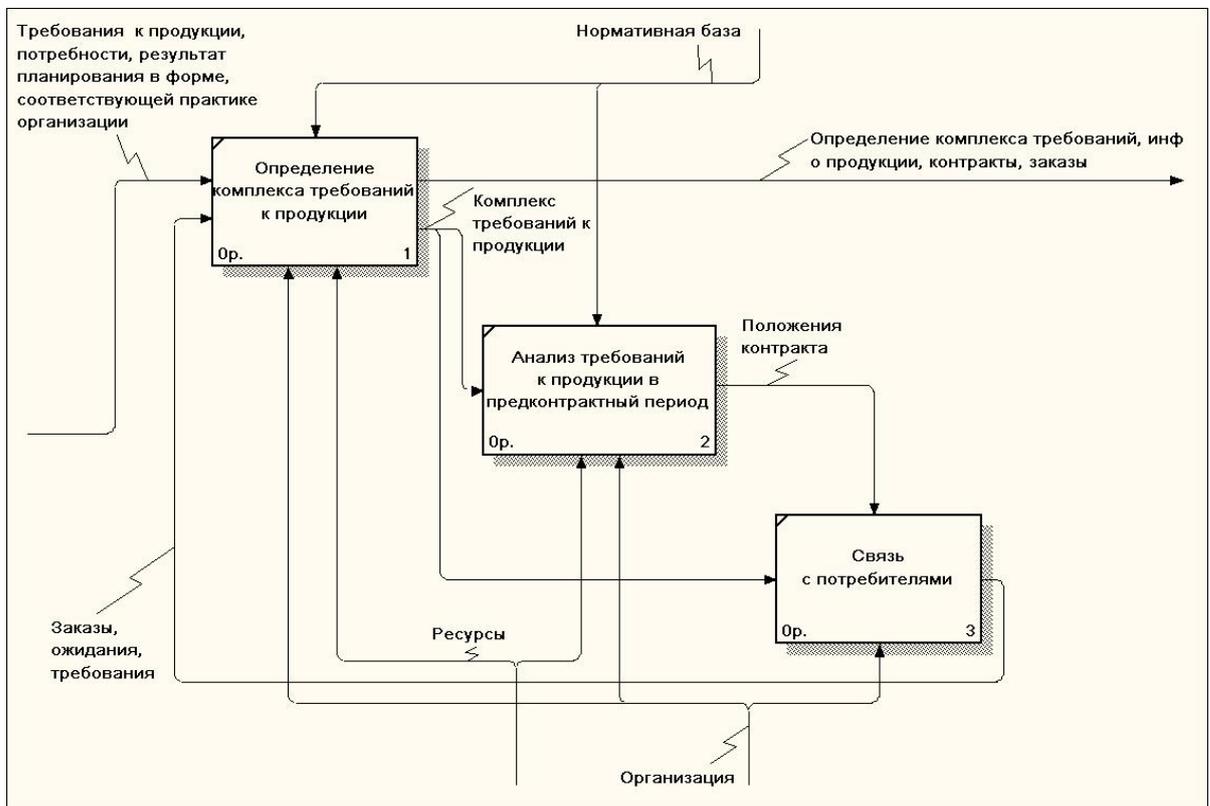


Рисунок 2.8 – Декомпозиция блока процессов, связанных с потребителями

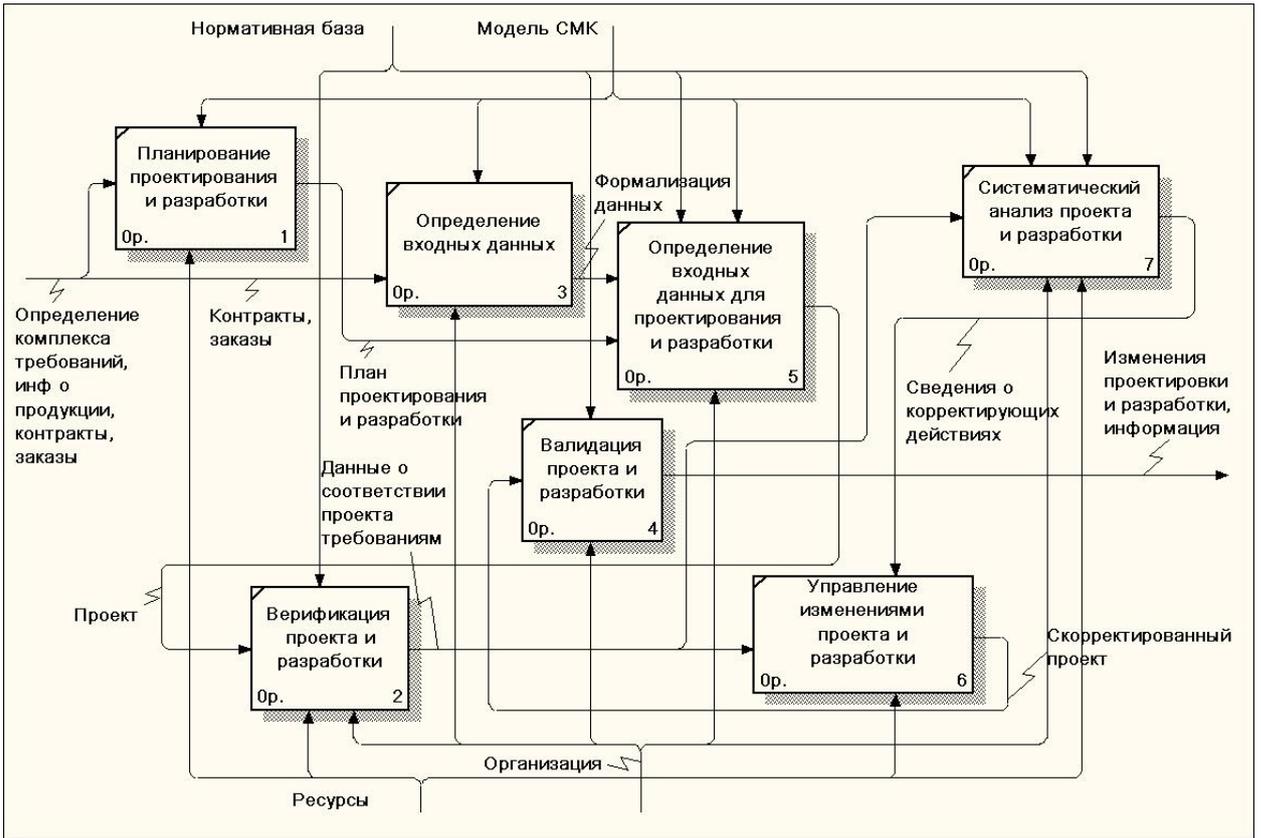


Рисунок 2.9 – Декомпозиция процесса проектирования и разработки

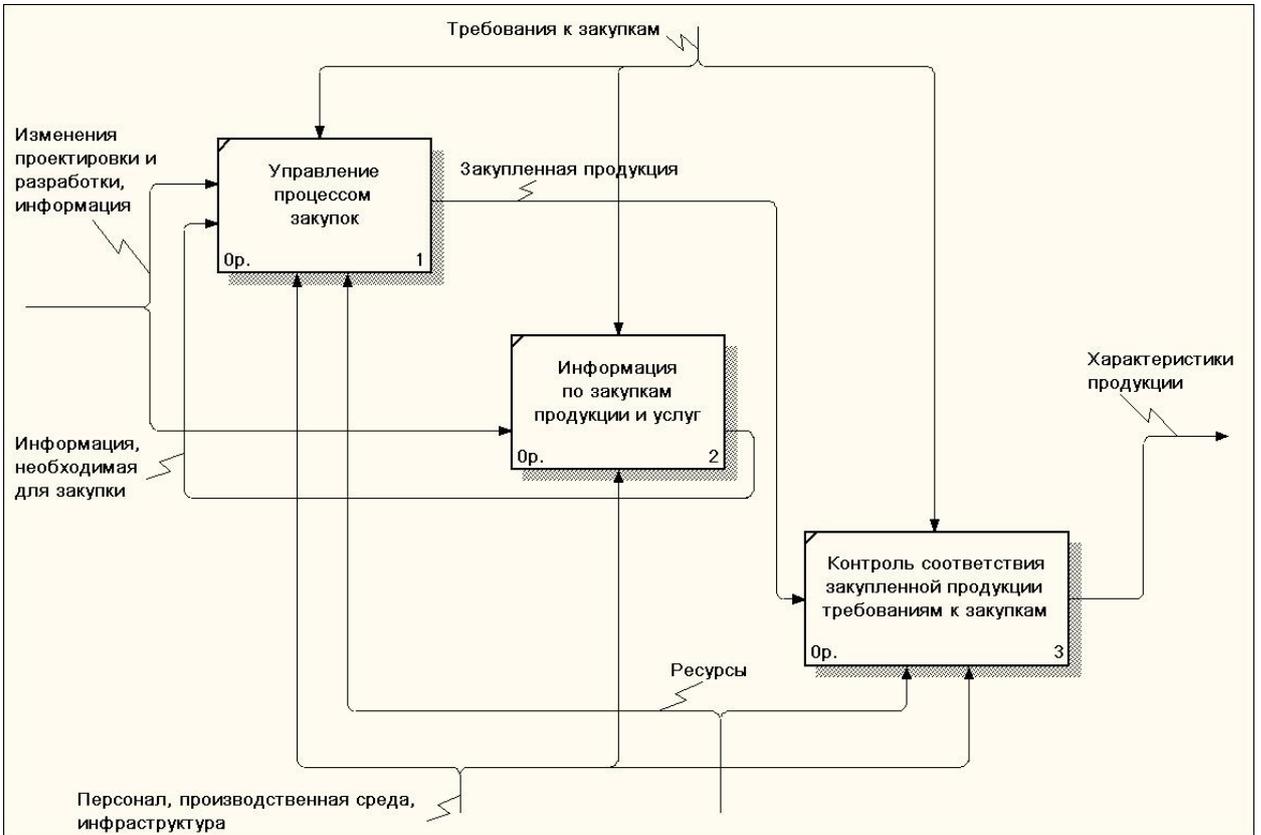


Рисунок 2.10 – Декомпозиция процесса закупок

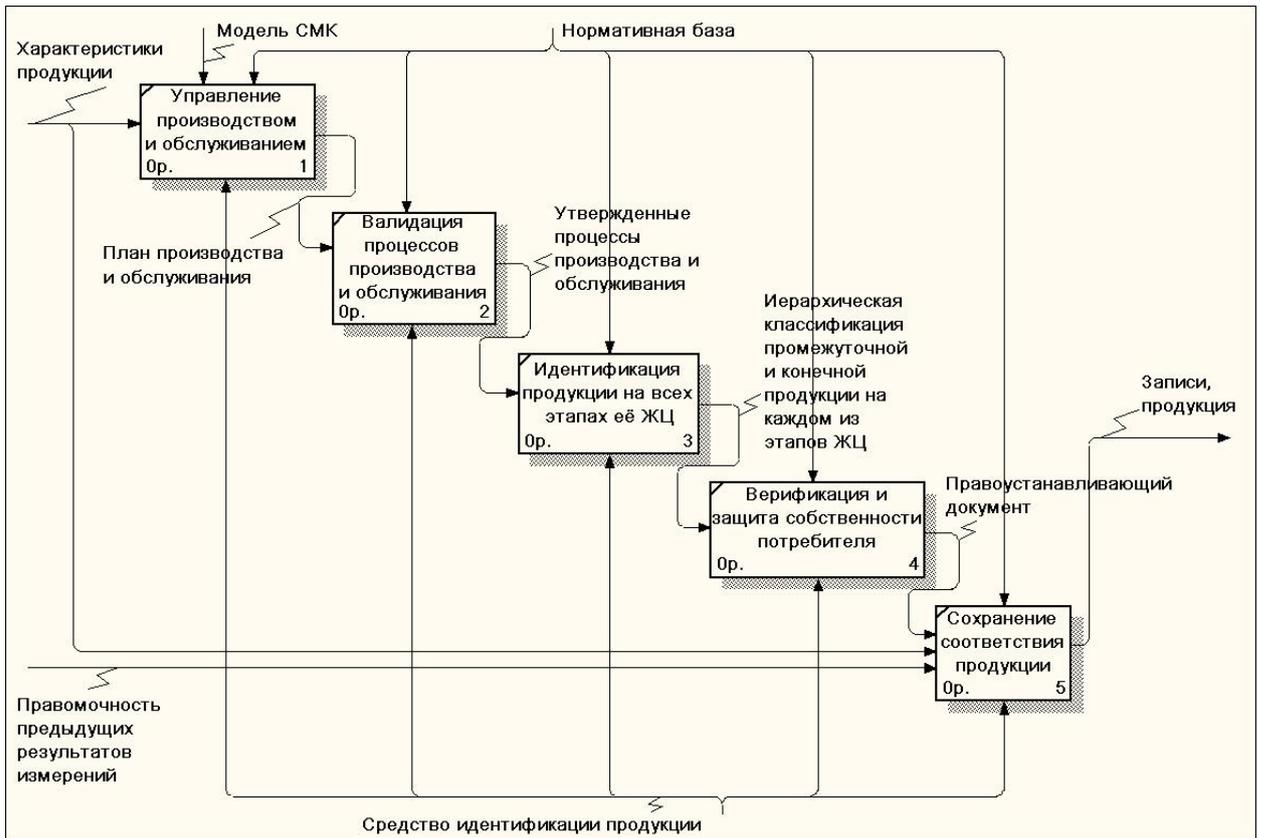


Рисунок 2.11 – Декомпозиция процесса производства и обслуживания

Выполненный функциональный анализ позволил построить теоретико-множественную модель системы информационной поддержки управления качеством жизненного цикла машиностроительной продукции. Установлена взаимосвязь между подпроцессами группы L на основе идентификации информационных потоков между ними $[(L \supset l_j); j = 1 \dots 6]$; $l_1 \supset (l_{1,1}; l_{1,2}; l_{1,3}; l_{1,4})$; $l_2 \supset (l_{2,1}; l_{2,2}; l_{2,3})$, $l_3 \supset (l_{3,1}; l_{3,2}; l_{3,3}; l_{3,4}; l_{3,5}; l_{3,6}; l_{3,7})$; $l_4 \supset (l_{4,1}; l_{4,2}; l_{4,3})$, $l_5 \supset (l_{5,1}; l_{5,2}; l_{5,3}; l_{5,4}; l_{5,5})$; $l_6 \supset (l_{6,1})$.

Выводы по второй главе

Во второй главе диссертационной работы, посвященной функциональному моделированию процессов жизненного цикла для обеспечения качества машиностроительной продукции, получены следующие результаты.

На основе выполненного анализа отмечено, что для формирования качества конечного изделия на этапе проектирования и разработки необходимо усиливать определяющую роль принятых 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.

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.

Построена структурно-функциональная модель системы менеджмента качества, позволяющая проводить сопоставление существующих и новых процедур управления качеством продукции. Отличительной особенностью 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.

Внедрение процессного подхода управления предприятием на основе принципов TQM, стратегии «6σ», применение CALS-технологий (CAD/CAM/CAE, PDM, PLM, ERP и др.) и соблюдение требований соответствующих нормативно-технических документов позволяет обеспечить выпуск продукции, ориентированной на соответствие заданным требованиям и перспективным ожиданиям потребителя, а также на современные способы проектирования, производства и обслуживания.

3 Обеспечение информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции

3.1 Взаимосвязь и оценка качества процессов машиностроительной продукции

Разработанная в рамках настоящего исследования информационная модель процесса жизненного цикла машиностроительных изделий составляет информационно-методическую основу управления качеством процессов жизненного цикла и была использована при разработке программного обеспечения для автоматизации машиностроительного производства (рисунок 3.1).

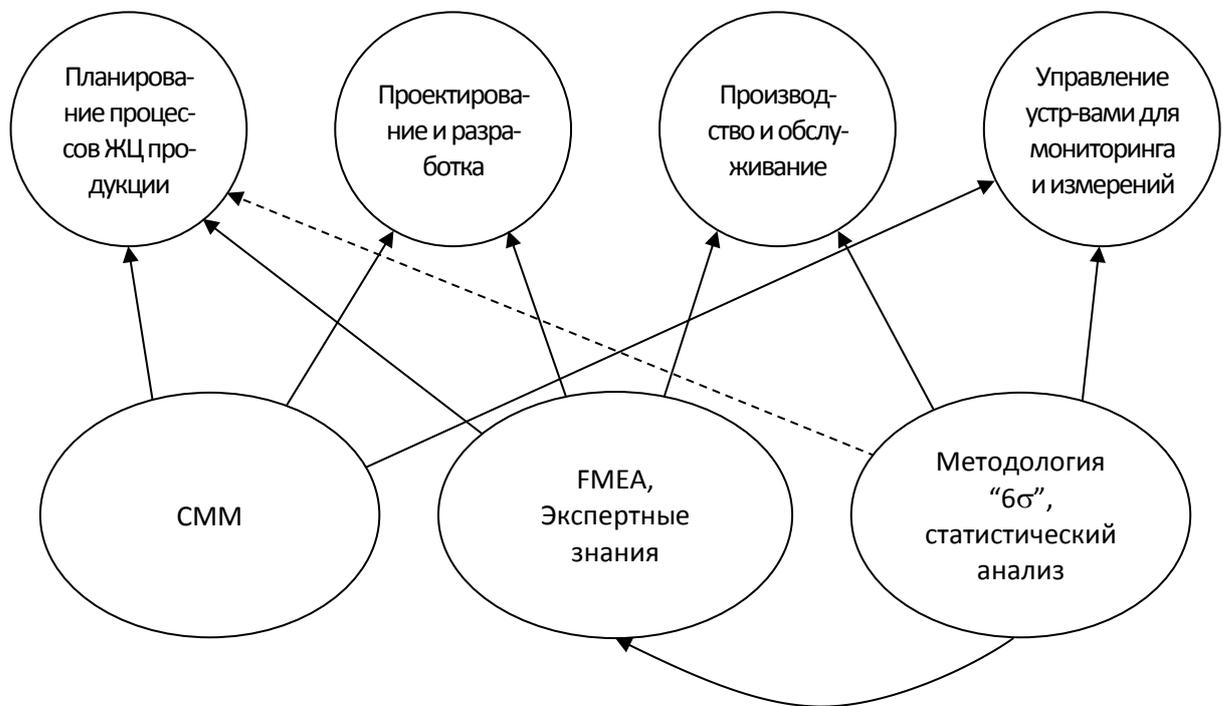


Рисунок 3.1 – Проектирование процессов жизненного цикла продукции

Модель предназначена для унифицированного метаописания процессов предприятия и обмена информацией о них в совокупности с применением лучших мировых процессно-ориентированных практик по управлению качеством процессов предприятия (TQM) и по их совершенствованию (СММ, FMEA, 6σ) [49 – 58].

3.1.1 Наследование качества

На основе результатов анализа ряда работ [15, 33, 34] было установлено, что качество процессов жизненного цикла последовательно отражается в качестве продукции. Принцип такого наследования можно формально представить в следующем виде:

$$(K_{\text{ПР}}, K_{\text{ПО}}, K_{\text{Изм}}) \rightarrow (K'_{\text{ПР}}, K'_{\text{ПО}}, K'_{\text{Изм}}) \quad (3.1)$$

где $K_{\text{ПР}}$ – качество процесса проектирования и разработки;

$K_{\text{ПО}}$ – качество процесса производства и обслуживания;

$K_{\text{Изм}}$ – качество процесса управления устройствами для мониторинга и измерений;

$K'_{\text{ПР}}$ – качество разработки проекта изделия;

$K'_{\text{ПО}}$ – качество произведенного изделия;

$K'_{\text{Изм}}$ – качество измерений.

3.1.2 Декомпозиция критериев качества

Для целей декомпозиции критериев качества был выполнен семантический анализ на основе правил логического вывода [59] и результатов проведённого семантического анализа терминов и определений, устанавливаемых ГОСТ Р 50779.11 – 2000 в области статистического управления качеством, была получена методическая основа управления качеством процессов и алгоритмы в целях их применения в рамках компьютерной системы менеджмента качества. В результате семантического анализа было установлено, что управление качеством процесса – это та часть методов и видов деятельности оперативного характера [60 – 68], используемых для выполнения требований к качеству, которая направлена на поддержание в установленных пределах поля допуска показателей качества продукции, процесса или услуг.

Под показателями качества понимается количественная мера одного или большего числа признаков качества (свойств, которые помогают идентифицировать или различать единицы меры признаков качества).

К ним относятся:

- уровень качества;
- уровень процесса;
- предельный уровень качества;
- предельное качество;
- приемлемый уровень качества;
- среднее выходное качество;
- предел среднего выходного качества;
- вариация внутри партии;
- вариация между партиями;
- среднее процесса.

Показателями качества процесса также могут быть среднее, дисперсия, доля несоответствующих единиц продукции или среднее число несоответствующих единиц продукции (единиц продукции, неудовлетворяющей установленным требованиям, единиц дефектной продукции).

Пределы поля допуска для показателей качества можно установить на основе естественных границ процесса. Если установлены границы $\pm 3 \sigma$ (максимальное стандартное отклонение процесса) вокруг среднего процесса (показателя качества, получаемого сравнением наблюдаемых значений с установленными требованиями и усреднённого по определённому интервалу времени или количеству продукции), то при нормальном распределении они будут содержать 99,7 % производственных единиц продукции для процесса, находящегося в состоянии, в котором вариации среди полученных выборочных результатов можно отнести к системе случайных причин, не меняющейся со временем (т.е. состоянии статистической управляемости).

В данном случае случайные причины – это факторы, играющие по отдельности малую роль, но создающие незначительные вариации, т.е. разброс результатов наблюдений или испытаний, полученный в партии. Многие причины незначительных вариаций учитывать или контролировать неэкономично.

Если в стабильном в других отношениях процессе через регулярные интервалы времени происходят изменения, то их принято называть систематическими вариациями. В таком случае процесс не находится в состоянии статистической управляемости. Систематические вариации являются неслучайным фактором, который можно обнаружить и идентифицировать как влияющий на изменение в показателе качества процесса.

Стабильным называется процесс, каждый показатель качества которого находится в состоянии статистической управляемости. Таким образом среди 99,7 % результатов наблюдений или испытаний должна быть незначительная вариация по значениям показателей качества, а сами показатели уровня качества должны быть квалифицированы как приемлемые. Выбранное значение приемлемого уровня качества обычно зависит от физических и экономических ограничений.

Для определения количественной меры показателей качества процессов ЖЦ продукции в рамках разработанной компьютерной системы менеджмента качества применяется анализ видов и последствий потенциальных отказов, позволяющий для каждого процесса получить приоритетное число риска (ПЧР).

3.1.3 Построение метрики на основе требований к процессам

Оценивание характеристик качества процесса проводился на основе экспертной квалиметрии. Чтобы значения оценок выразить в относительных величинах, был произведен перевод их абсолютных величин с помощью операции нормирования.

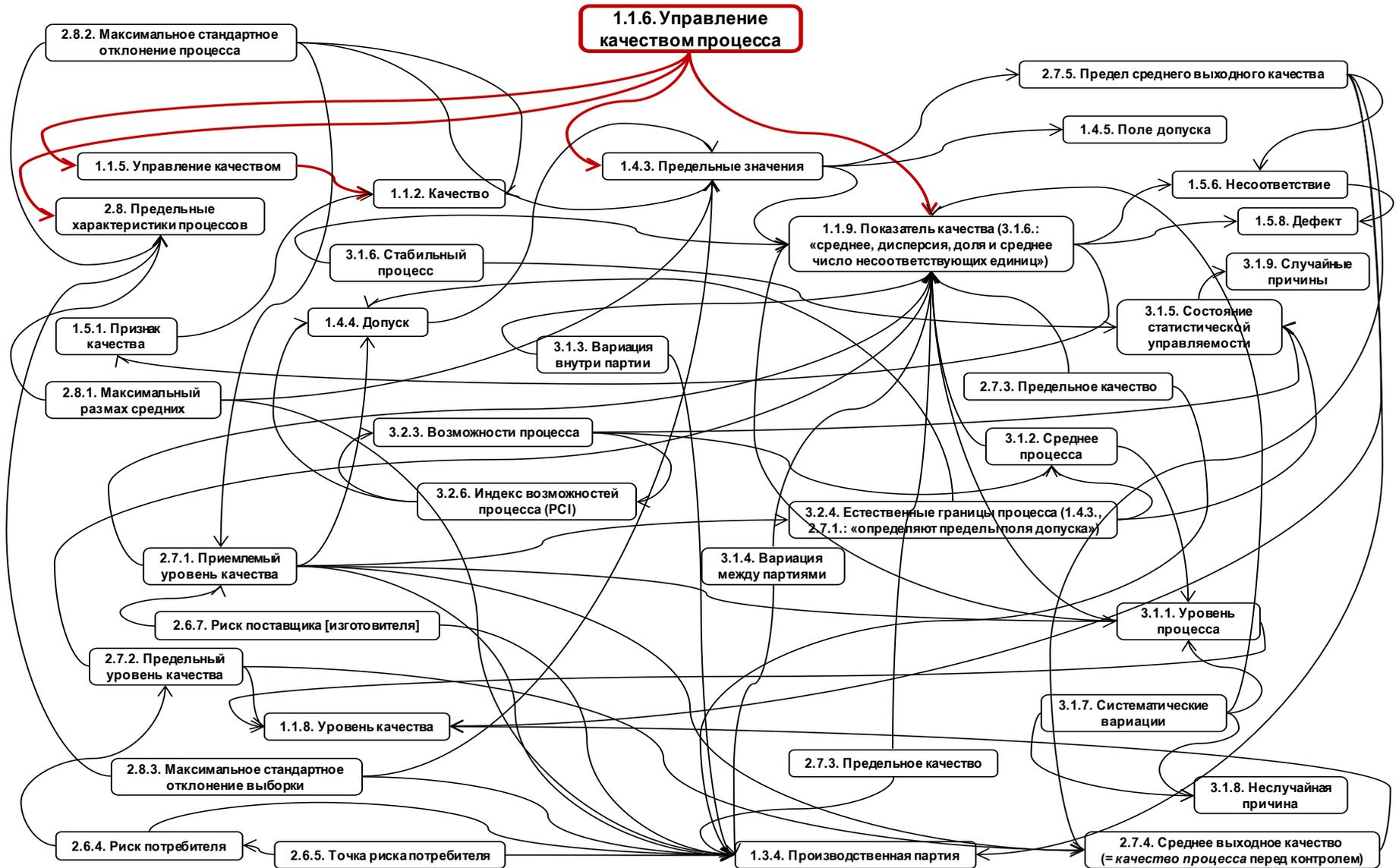


Рисунок 3.2 – Семантическая карта терминов в статистическом управлении качеством, установленных ГОСТ Р 50779.11 – 2000

В компьютерной системе менеджмента качества с учётом существующего опыта [69 – 83] ПЧР вычисляется на основе баллов значимости (S), возникновения (O) и обнаружения (D) дефекта. Для адекватного выбора значений баллов S , O и D в рамках анализа изучаемого производственного процесса на основе имеющейся информации и предшествующего опыта его выполнения необходимо определить все возможные виды дефектов. Описание каждого дефекта должно быть зафиксировано протоколом, составленным в виде таблицы. В качестве примеров видов дефектов технологического процесса можно привести:

- пропуск операции;
- применение другого материала;
- несоблюдение режима.

Последствия для всех описанных дефектов определяются на основе опыта и знаний экспертов, и для каждого последствия дефекта экспертно определяется балл значимости S при помощи рекомендуемой шкалы (от 1 до 10).

Помимо последствий на основе имеющейся информации о статистике выполнения процесса для каждого дефекта важно определить потенциальные причины. Для одного дефекта может быть выявлено несколько потенциальных причин. Примеры причин:

- перегрузка;
- недостаточные возможности смазки;
- неполные инструкции;
- нестабильность материала;
- неадекватное предположение о жизнеспособности конструкции.

Для каждой потенциальной причины дефекта на основе рекомендуемой шкалы должен быть экспертно определён балл возникновения O (от 1 до 10). Рекомендуемым ориентиром для выставления балла возникновения дефекта O является индекс возможностей процесса C_{pk} (табл. 4 ГОСТ Р 51814.2-2001). Индекс C_{pk} определяет практические возможности технологического процесса по обеспечению вы-

полнения требований установленного допуска на определённый показатель качества. Методика расчёта индекса C_{pk} приводится в ГОСТ Р 50779.11 – 2000 и ГОСТ Р 51814.2 – 2001. При выставлении баллов возникновения дефекта O необходимо рассмотреть следующие вопросы:

- каков опыт эксплуатации производственного процесса;
- заимствован ли технологический процесс из применяемых ранее;
- насколько значительны изменения конструкции.

Балл обнаружения D также вычисляется с помощью рекомендуемой шкалы. Значение балла изменяется от не обнаруживаемых дефектов ($D = 10$) до достоверно обнаруживаемых ($D = 1$).

После получения экспертных оценок S , O , D вычисляют ПЧР.

$$ПЧР = S \times O \times D \quad (3.2)$$

ПЧР может иметь значение от 1 до 1000 (формула 1). Снижение ПЧР соответствует созданию более высококачественных и надёжных объектов и процессов. Для определения значения комплексного показателя качества применяются формулы (3.3 – 3.5).

$$K_j = 0.001 \times ПЧР_j \quad (3.3)$$

$$K_i = \prod_{j=1}^m K_j \quad (3.4)$$

$$\bar{K} = \prod_{i=1}^n K_i \quad (3.5)$$

где \bar{K} – комплексный показатель качества процессов предприятия;

K_i – относительный показатель качества i -й группы процессов ($0 < K_i \leq 1$);

n – количество групп процессов;

m – количество процессов;

l – количество подпроцессов.

3.2 Унифицированная информационная модель для описания процессов

Согласно общим принципам стандарта Дублинского ядра [43], был сформирован паспорт процесса на основе элементов описания процесса (рисунок 3.3), который может служить основой унифицированного метаописания процессов машиностроительного предприятия.

Использование преимуществ применения унифицированного формата данных для описания процессов соответствует лучшим мировым практикам и международным стандартам (ИСО 10303-49:1998, ИСО 15531-1 – 2008, стандарты EDI, протоколы EDIFACT и X12). Это позволит обеспечить обмен данными по управлению производством не только в рамках предприятия, но также во взаимодействии с другими предприятиями или компаниями для обеспечения интеграции при выполнении производственных операций.



Рисунок 3.3 – Паспорт процесса как основа унифицированного метаописания процессов машиностроительного предприятия

Процесс, описанный в соответствии с предложенной информационной моделью, представляет собой абстрактный конструкционный блок, который учитывает также семантику для обеспечения взаимосвязи между группой процессов измерения, анализа и улучшения и группой процессов управленческой деятельности в контексте моделирования предприятия в целом. Комбинация этих абстрактных конструкционных блоков позволяет обеспечить описание потоков материалов при выполнении промышленных процессов и информации, необходимой для разработки графика, управления и мониторинга потока материалов [84 – 86].

Паспортизация технологического процесса в соответствии с предложенным форматом унифицированного метаописания позволяет детализировать его функциональную и временную структуру. Причём обмен данными о процессах в соответствии с унифицированной информационной моделью должен также обеспечивать взаимосвязь с компьютерными системами управления производственным предприятием (ERP/MRP/MRP II/MES/CRM/PDM и др.) посредством информации о потоках данных между процессами СМК, и учитывать принципы процессно-ориентированной модели СМК в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001 – 2015. Более подробно вопросы разработки комплекса информационных и функциональных моделей для обеспечения компьютерного менеджмента качества процессов предприятия освещены в публикациях автора.

С точки зрения затрат ресурсов на изготовление продукции и формирования её потребительских свойств определяющее значение имеет обеспечение соответствия технологических функций и методов преобразования требованиям нормативно-технических документов.

Данные об адаптировании, реинжиниринге и внедрении новых процессов в совокупность действующих процессов СМК [87 – 94] предприятия учтены информационной моделью и могут храниться промышленной компанией в базе данных. Такие данные могут распределяться, архивироваться и участвовать в процессах обмена.

На основе современных информационно-коммуникационных технологий, систем управления знаниями, экспертных систем, в компьютерной системе менеджмента качества должны быть реализованы следующие основные функции [46, 47]:

- управление корпоративными конструкторско-технологическими, производственными и организационными знаниями;
- поддержка принятия решений на основе использования распределенных источников нормативно-технических данных и знаний;
- обеспечение совмещенного управления проектами и проектирования изделий;
- управление качеством на основе знаний о процессах и продукции.

Управление процессами жизненного цикла продукции на основе компьютерной системы менеджмента качества позволит выполнить планирование [95 – 98] и обеспечить информационную поддержку принятия наиболее ответственных решений [99] на всех этапах ЖЦП.

Необходимо обеспечить паспортизацию всех процессов жизненного цикла продукции, определить профиль существенных нормативно-технических требований к продукции, к процессам её производства, а также методам её испытания, на ранних стадиях проектирования и создания информационных моделей объекта производства. Интегрированная информационная поддержка процессов жизненного цикла продукции может быть условно представлена в виде последовательного преобразования и развития информационных моделей продукции (комплектующих, деталей, изделий). Так, при преобразовании информационной модели продукции на этапе проектирования в модель продукции этапа технологической подготовки производства должно быть принято решение о целесообразности выполнения конкретного нормативно-технического требования, а также о методах контроля его выполнения, исходя из чего, последующие этапы разработки модели должны выполняться в режиме совмещенного проектирования [100 – 103]. Реализация такого подхода требует создания единой информационно-технологической среды предприятия.

В контексте реализации проектирования и производства продукции на основе CALS-технологий на машиностроительном предприятии должна быть создана единая информационно-технологическая среда, которая служит основой для совместного применения систем классов CAD/CAM/CAE, PDM, PLM, ERP и др. [18]. В настоящее время известно множество систем указанных классов, созданных различными разработчиками программного обеспечения и внедренных на отечественных и зарубежных машиностроительных предприятиях. Следует отметить, что для обеспечения интероперабельности различных информационных систем и систем автоматизированного проектирования (САПР) определяющее значение имеет унифицированное метаописание конструкторско-технологической информации, а также информации о процессах жизненного цикла продукции [9, 17, 22]. На этом этапе семантика определяют структуру данных. Важным вопросом стала стандартизация структурирования данных, которая получила развитие в стандартах STEP, PLIB, MANDATE, EDIFACT и др.

Развитием STEP-технологии, введенной в ИСО 10303, является семейство стандартов, регламентирующих информационное описание комплектующих изделий (ИСО 13584 Parts Library), производственных ресурсов различного вида (ИСО 155531 Manufacturing Management Data), изделий для нефтегазового комплекса (ИСО 15926 Oil and Gas). Все эти стандарты содержат описанные выше компоненты STEP-технологии.

Кроме перечисленных стандартов существует ряд опубликованных спецификаций. К их числу относятся STEP PDM Schema и NATO Product Data Model.

Детальный анализ и изучение разработанных и разрабатываемых спецификаций и стандартов необходимы для того, чтобы подойти к созданию интегрированной информационной модели всего комплекса взаимосвязанных объектов, описывающих ЖЦ изделия.

Указанные стандарты уже нашли широкое применение среди отечественных и зарубежных промышленных предприятий. Если для обмена данными о методо-

логии и последовательности выполнения процессов применяется графическая нотация функционального моделирования бизнес-процессов IDEF0 (рисунок 2.3), то для эффективного обмена данными о самих процессах между производственными системами различных предприятий необходимо определить информационную модель описания структуры процессов [104 - 110].

3.3 Оценка зрелости процессов на этапе планирования производства

Необходимым условием для перехода к компьютерному варианту моделирования и информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции является достаточная зрелость самих процессов. В соответствии с моделью СММ (Capability Maturity Model), определённой в стандарте ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504, существует 5 уровней зрелости процесса, определяемых в зависимости от набора профиля рейтингов атрибутов процесса (таблица 3.2).

На основе анализа лучших мировых практик (6σ, FMEA, LEAN, СММ, СММІ и др.) [15] сформулирован и обоснован метод управления качеством процессов предприятия. В рамках диссертационной работы под управлением понимается итерационная акция целенаправленного изменения объекта для достижения желаемого результата. Учитывая итерационный характер управления процессом предложена методика расчёта экспертных оценок для определения значений атрибутов зрелости процессов. Методика предусматривает степень влияния каждого отдельно взятого процесса на остальные процессы СМК в контексте принципа наследования качества. Основу методики составляют положения стандарта ИСО/МЭК 15504 (СММ и СММІ). Несмотря на то, что этот стандарт предназначен для применения в сфере программной инженерии, идеи, заложенные в нём, могут служить методической основой при внедрении процессного подхода на машиностроительном предприятии. Методика соответствует требованиям международного стандарта ИСО 13053-1:2011 «Количественные методы в процессах улучшения. Шесть сигм.

Часть 1: методология DMAIC» в части определения показателей KPI, характеризующих протекание процессов, их контролируемость и измеряемость, способность к изменению и улучшению.

Сформулирован и обоснован профиль рейтингов атрибутов зрелости процесса, позволяющий, в соответствии с предложенной методикой расчёта, получить оценку качества текущего состояния процесса относительно ожидаемого для последующего целенаправленного изменения процесса в соответствии с целевой функцией. Результат каждого акта управления процессом всякий раз должен быть оценён относительно желаемого, а для приближения к желаемому результату оценка качества процесса позволяет сделать выводы относительно эффективности управленческих решений [111], планирования ресурсов, а также получить исходные данные для средств информационной поддержки управления качеством процессов.

На основе анализа требований стандарта ГОСТ Р ИСО 9001 [14, 112 – 116] были определены входы и ожидаемые эталонные результаты для каждого из процессов процессной модели типовой СМК, которые могут использоваться экспертами при оценке зрелости процессов и определении показателей KPI.

Таблица 3.1 – Структура атрибутов и условий полного выполнения атрибутов для разных уровней зрелости процессов

Уровень зрелости процесса	Атрибуты процесса	Условия полного выполнения атрибута
Уровень 1: Выполняемый процесс (A ₁)	Выполнение процесса (A ₁₁)	Будут понятны объем выполняемых работ и рабочие продукты, которые надо произвести (A ₁₁₁)
		Будут получены рабочие продукты, поддерживающие достижение итога процесса (A ₁₁₂)
Уровень 2: Управляемый процесс (A ₂)	Управлением выполнением (A ₂₁)	Будут определены целевые показатели для выполнения процесса (например, качество, масштаб времени, время цикла и использование ресурсов) (A ₂₁₁)
		Будут распределены ответственность за разработку рабочих продуктов процесса и соответствующие полномочия (A ₂₁₂)
		Будут осуществляться управление выполнением процесса для получения рабочих продуктов, соответствующих определенным целевым показателям (A ₂₁₃)
	Управление рабочими проектами (A ₂₂)	Будут определены требования (функциональные и нефункциональные) к заданным рабочим продуктам процесса (A ₂₂₁)
		Будут определены требования к документированию и контролю рабочих продуктов (A ₂₂₂)
		Будут определены зависимости между контролируруемыми рабочими продуктами (A ₂₂₃)
		Рабочие продукты будут адекватно определены и документированы, и изменения в них будут контролироваться (A ₂₂₄)
		Рабочие продукты будут верифицироваться и настраиваться, для того, чтобы соответствовать заданным требованиям (A ₂₂₅)
		Будет определен стандартный процесс, поддерживающий выполнение управляемого процесса и включающий руководство по его настройке (A ₃₁₁)
		Выполнение процесса будет осуществляться в соответствии с адекватно выбранной и/или адаптированной документацией по процессу (A ₃₁₂)
Будут собираться исторические данные по выполнению процесса для получения и уточнения понимания поведения процесса (например, с целью оценить требования к ресурсам, необходимым для выполнения процесса) (A ₃₁₃)		
Опыт использования заданного процесса будет применен для уточнения стандартного процесса (A ₃₁₄)		
Уровень 3: Устоявшийся процесс (A ₃)	Задание процесса (A ₃₁)	

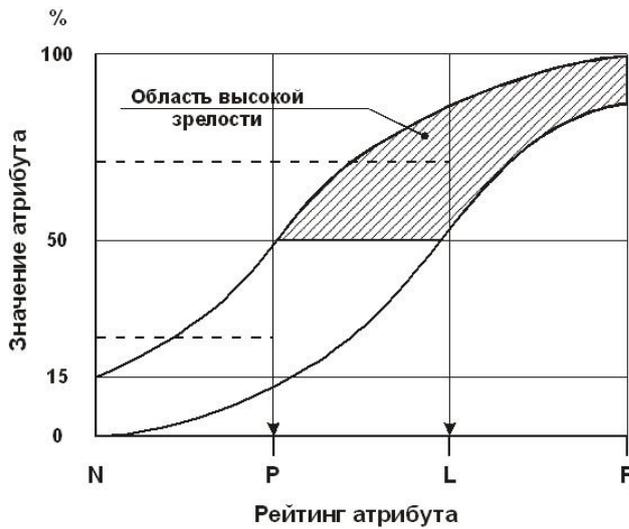
Уровень зрелости процесса	Атрибуты процесса	Условия полного выполнения атрибута
	Обеспечение процесса ресурсами (A ₃₂)	<p>Будут идентифицированы и документированы роли, ответственности и навыки, необходимые для выполнения процесса (A₃₂₁)</p> <p>Будет идентифицирована и документирована инфраструктура, необходимая для выполнения процесса (A₃₂₂)</p> <p>Требуемые ресурсы будут обеспечены, распределены и использованы для поддержания выполнения процесса (A₃₂₃)</p>
Уровень 4: Предсказуемый процесс (A ₄)	Измерение (A ₄₁)	<p>Будут определены цели и количественные характеристики продуктов и процесса, соответствующие бизнес-целям (A₄₁₁)</p> <p>Для отслеживания того, в какой мере достигаются заданные цели, будут собираться результаты измерений продуктов и процесса (A₄₁₂)</p> <p>Будут анализироваться тенденции выполнения процесса по всей организации (A₄₁₃)</p> <p>Возможности процесса в организации будут измеряться и поддерживаться (A₄₁₄)</p>
	Количественное управление процессом (A ₄₂)	<p>Будут выявлены подходящие методики анализа и управления (A₄₂₁)</p> <p>Во время выполнения процесса будут собираться и анализироваться результаты измерений для обеспечения управления процессом в заданных пределах (A₄₂₂)</p> <p>Выполнение процесса будет управляемо количественно (A₄₂₃)</p>
Уровень 5: Совершенствуемый процесс (A ₅)	Измерение процесса (A ₅₁)	<p>Влияние всех предлагаемых изменений будет проверено на соответствие заданным целям продуктов и определенного стандартного процесса (A₅₁₁)</p> <p>Будет производиться управление реализацией всех согласованных изменений для обеспечения понимания и исправления любых расхождений в выполнении процесса (A₅₁₂)</p> <p>Эффективность внесенных изменений будет оцениваться на основе фактического выполнения по отношению к заданным целям продуктов и процесса и по необходимости будут вноситься поправки (A₅₁₃)</p>
	Непрерывное усовершенствование (A ₅₂)	<p>Будут определены цели усовершенствования процессов, способствующие достижению соответствующих бизнес-целей организации (A₅₂₁)</p> <p>Будут выявляться источники существующих и потенциальных проблем (A₅₂₂)</p> <p>Будут выявляться возможности для усовершенствования (A₅₂₃)</p>

Уровень зрелости процесса	Атрибуты процесса	Условия полного выполнения атрибута
		Будет выработана и внедрена стратегия достижения целей усовершенствования процессов во всей организации (A ₅₂₄)

Таблица 3.2 – Зависимость уровня зрелости процесса от набора профиля рейтингов атрибутов процесса

Атрибуты процесса	Уровни зрелости процесса				
	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4	Уровень 5
Выполнение процесса (A ₁₁)	L ∨ F	F	F	F	F
Управление выполнением (A ₂₁)	—	L ∨ F	F	F	F
Управление рабочими продуктами (A ₂₂)	—	L ∨ F	F	F	F
Задание процесса (A ₃₁)	—	—	L ∨ F	F	F
Обеспечение процесса ресурсами (A ₃₂)	—	—	L ∨ F	F	F
Измерение (A ₄₁)	—	—	—	L ∨ F	F
Управление процессом (A ₄₂)	—	—	—	L ∨ F	F
Измерение процесса (A ₅₁)	—	—	—	—	L ∨ F
Непрерывное улучшение (A ₅₂)	—	—	—	—	L ∨ F

На основании анализа степени выполняемости атрибутов процесса делается вывод об уровне зрелости процесса (рисунок 3.4).



Рейтинг	Степень выполнения атрибута
N	Не обладает (от 0% до 15%)
P	Обладает частично (от 16% до 50%)
L	Обладает в основном (от 51% до 85%)
F	Обладает полностью (от 86% до 100%)

Рисунок 3.4 – Область высокой зрелости процесса

Процессы, обладающие высокой зрелостью, управляемостью, обеспеченные ресурсами, способные к измерению и формализации могут быть адаптированы для выполнения в рамках автоматизированной информационно-технологической среды предприятия [117] в формате автоматизированных бизнес-процессов с учётом взаимодействия с производственной инфраструктурой предприятия [118].

3.4 Оценка рисков и критерии отказов при проектировании процессов

Анализ возможных отказов (дефектов) изучаемой системы [119, 120] (объекта) и их последствий для потребителей (внутренних и/или внешних) производится, как отмечалось выше, экспертным [121, 122] (наиболее распространенным) или расчетным методами. Ограниченность распространения расчетного метода вызвана необходимостью для его реализации информации о модели изучаемого объекта, взаимосвязях между его элементами, понимания природы происходящих в нем процессов. Если рассматривать структуру процесса как иерархическую систему взаимосвязанных элементов (рисунок 3.5), возможны 3 стратегии (последовательности) изучения процесса: «снизу-вверх» — то есть от отдельных элементов к объекту в

целом; «сверху вниз» — то есть от процесса в целом к его элементам; комбинированный.

Эти методы называют также соответственно структурным, функциональным и комбинированным.



Рисунок 3.5 – Структура изучаемого процесса

Структурные методы FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) относят к классу индуктивных методов (анализ «снизу-вверх»), применяемых для относительно простых объектов, отказы которых могут быть четко локализованы, а последствия каждого отказа элементов выбранного начального уровня разукрупнения могут быть прослежены на всех вышестоящих уровнях структуры объекта [15].

Уровень разукрупнения объекта, начиная с которого (до которого) проводят FMEA на определенном этапе его разработки, устанавливают, исходя из требуемых результатов анализа; степени отработанности конструкторской, технологической и эксплуатационной документации; наличия необходимых исходных данных; степени новизны конструкции объекта и его составных частей, технологий их изготовления, условий эксплуатации [15].

При прочих равных условиях, чем выше уровень отработанности конструкции и технологии изготовления объекта и его составных частей, тем меньший уровень

детализации допускается при анализе, и, наоборот, объекты, содержащие принципиально новые конструктивно-технологические решения, построенные на новой элементной базе, требуют углубленного, более детализированного анализа.

Основная цель анализа «снизу-вверх» — оценка степени влияния отказов составных частей системы на выполнение ею своих функций.

Последствия отказов элементов по влиянию на единицы более высокого уровня деления классифицируются как:

- локальные, не вызывающие отказы элементов более высокого уровня;
- промежуточные, связанные с отказами элементов следующего уровня деления объекта;
- конечные, приводящие к отказу объекта.

По степени тяжести последствий отказы подразделяют на 4 категории:

- категория I — катастрофический отказ;
- категория II — существенный отказ, приводящий к невыполнению объектом своих функций;
- категория III — промежуточный (маргинальный) отказ, приводящий к экономическим потерям;
- категория IV — несущественный (незначительный) отказ, который не относится к вышеперечисленным категориям.

Общая схема (алгоритм) FMEA **структурным методом** включает следующие основные операции:

- в соответствии с планом анализа устанавливают минимальный уровень разукрупнения, с которого начинают FMEA;
- на основе функциональной блок-схемы объекта идентифицируют все элементы выбранного уровня разукрупнения;
- для каждого идентифицированного элемента данного уровня на основе имеющихся классификаторов отказов, инженерного анализа, имеющихся априорных данных, опыта и знаний исследователя составляют перечень возможных видов отказов данного элемента;

- для каждого вида отказа выбранного элемента определяют его возможные последствия на рассматриваемом и следующих уровнях структуры объекта;
- для элементов, отказы которых определенного вида непосредственно приводят к отказу объекта или снижению качества его функционирования, рассчитывают показатели критичности;
- повторяют описанные выше операции последовательно для элементов всех вышестоящих уровней разукрупнения. Последствия отказов элементов нижестоящего уровня, которые не могут быть выражены в виде влияния на функционирование элементов рассматриваемого уровня, рассматривают как самостоятельные виды отказов на этом уровне;
- выделяют отказы, категория тяжести последствий или оценки показателей критичности которых превосходят пределы, установленные планом анализа, а элементы, соответствующие этим отказам, включают в перечень критичных элементов.

Для каждого критичного элемента:

- определяют наличие и оценивают достаточность предусмотренных средств и методов обнаружения, локализации и индикации отказов;
- определяют возможные меры, обеспечивающие сохранение работоспособности объекта при возникновении данного отказа (введение резервирования, перестраиваемая структура, изменение алгоритма функционирования), и оценивают целесообразность их введения [123];
- определяют возможные меры по снижению вероятности отказов (применение в облегченном режиме, введение защиты от перегрузок, дополнительных проверок и испытаний в процессе изготовления и эксплуатации, введение. Методы и инструменты управления качеством дублирования элементов, профилактического обслуживания и плановых замен в эксплуатации и т. п.) и оценивают их эффективность [123];

- определяют возможные способы предупреждения наиболее опасных последствий отказов (аварийная защита и сигнализация, специальные правила поведения персонала при возникновении отказов и т. п.).

Функциональные методы FMEA относят к классу дедуктивных (анализ по схеме «сверху вниз») методов, применяемых для сложных многофункциональных объектов, отказы которых трудно априорно локализовать и для которых характерны сложные зависимые отказы.

Основная цель анализа «сверху вниз» — определить критические отказы элементов и критические элементы объектов. Такой подход целесообразен при проведении анализа закупаемого оборудования, выбора поставщиков комплектующих элементов, анализе запасных частей.

Общая схема (алгоритм) FMEA **функциональным методом** включает следующие операции:

- идентифицируют все функции, выполняемые объектом;
- для каждой функции на основе априорных данных, опыта исследователя, инженерного анализа и другими доступными способами определяют перечень возможных нарушений (отклонений) данной функции;
- для каждого нарушения функции оценивают качественно тяжесть возможных последствий этого нарушения или количественно — ожидаемый ущерб;
- выделяют критические нарушения функции, тяжесть возможных последствий которых превосходит пределы, установленные планом анализа;
- для каждого выделенного критического нарушения, принимая его возникновение в качестве «вершинного события», строят дерево отказов, охватывающее отказы элементов всех уровней разукрупнения, вплоть до нижнего уровня, установленного планом анализа;
- с помощью построенного дерева выделяют одиночные элементы, приводящие к критическому нарушению функции изделия, и сочетания элементов, совместные отказы которых ведут к указанному нарушению;

- оценивают вероятности отказов одиночных элементов и вероятности выделенных комбинаций отказов элементов, с использованием которых при проведении FMEA рассчитывают показатели критичности соответствующих отказов (сочетаний отказов);
- составляют перечни критичных элементов.

Для сложных объектов FMEA проводят, как правило, **комбинированными методами**, сочетающими элементы структурных и функциональных методов.

Учитывая формализм расчета критичности отказов и высокую наглядность подхода, начиная с 1970-х годов интенсивно развиваются компьютерные методы FMEA. Так как для сложных систем необходимо провести много предварительных расчетов и оформить большое число документов, то применение компьютеров оказывается весьма полезным [15].

Одно из новых направлений FMEA связано с применением теории нечетких множеств для расчета критичности отказов. Перспективность этого подхода обусловлена тем, что расчет критичности во многом основан на экспертных оценках (особенно на ранних стадиях проектирования), что не позволяет оперировать точно заданными величинами. Применение методологии нечетких множеств обеспечивает подключение мощного аппарата экспертных систем в FMEA, что повышает его эффективность.

Для оценки причин и последствий отказов процессов может быть типовая модель FMEA-объекта (рисунок 3.6). Исходя из рекомендаций международного стандарта МЭК 812 критичность операций в технологическом процессе может быть определена в следующем виде:

$$C_i = V_{1i}V_{2i}V_{3i} \quad (3.7)$$

где: C_i – критичность i -й технологической операции;

V_{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);

V_{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);

V_{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).



Рисунок 3.6 – Методология FMEA (анализ видов и последствий отказов)

Процессы жизненного цикла продукции, зафиксированные требованиями к эталонной модели СМК предприятия, были декомпозированы (см. главу 2) на подпроцессы, что позволило описать их комплекс с помощью графовой структуры в соответствии с существующими практиками [124 – 129], сохранив идентифицированные связи между ними [130] (рисунок 3.7).

На рисунке 3.7 представлен граф [131, 132], моделирующий структуру взаимосвязи подпроцессов группы «L», где $l_{1,1}$ – определение требований к детали, изготавливаемой аддитивным методом; $l_{1,2}$ – планирование качества; $l_{1,3}$ – определение критериев приемки детали; $l_{1,4}$ – мониторинг стабильности процессов; $l_{2,1}$ – составление ТЗ; $l_{2,2}$ – анализ требований в предконтрактный период; $l_{2,3}$ – связь с заказчиком; $l_{3,1}$ – планирование проектирования и разработки; $l_{3,2}$ – определение входных данных; $l_{3,3}$ – идентификация номенклатуры, технологии, затрат, потребности в ресурсах; $l_{3,4}$ – 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; $l_{4,2}$ – ведение базы поставщиков полиамида; $l_{4,3}$ – контроль соответствия закупленной продукции требованиям; $l_{5,1}$ – 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.

В таблице 3.3 представлена матрица смежности, описывающая взаимосвязи подпроцессов группы «L» с помощью аппарата графов.

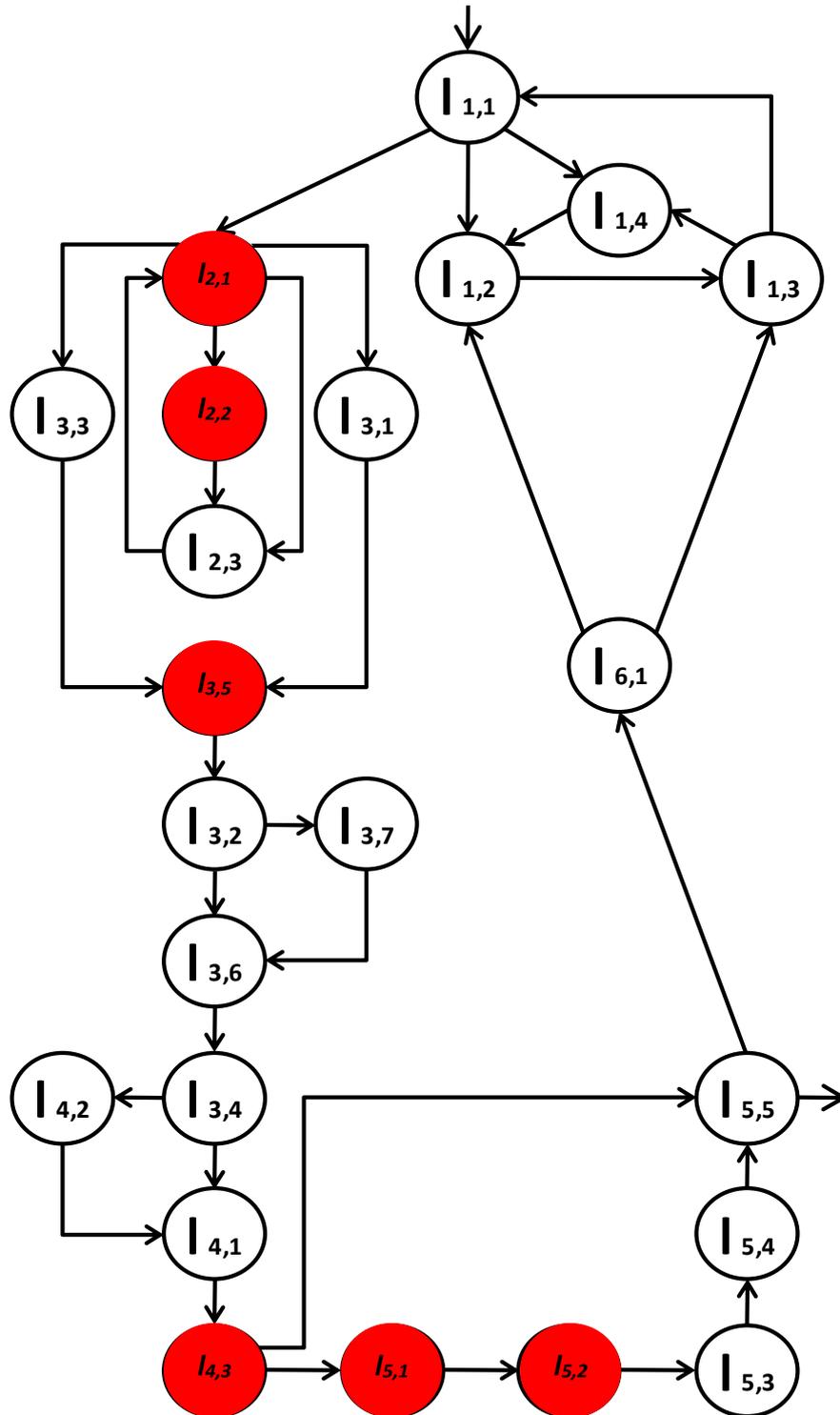


Рисунок 3.7 – Структура взаимосвязи подпроцессов группы «L»

Настоящее исследование проводилось автором на примере функционирования предприятия, производящего детали машиностроительного назначения методом автоматизированного аддитивного производства. Характерной особенностью для



Рисунок 3.8 – Адаптация инвариантной процессной модели ГОСТ Р ИСО 9001 к предприятию аддитивного производства

На основе результатов обработки [133 – 139] производственных статистических наблюдений, выполнен анализ критичности отказов технологической операций изготовления детали «Корпус радара», проанализирована взаимосвязь износа и работоспособности деталей установок послойного синтеза и основных конструкторско-технологических факторов, выявлены причины отказов, выработан комплекс корректирующих мер, направленный на обеспечение стабильности и безотказности технологических процессов (рисунок 3.9).

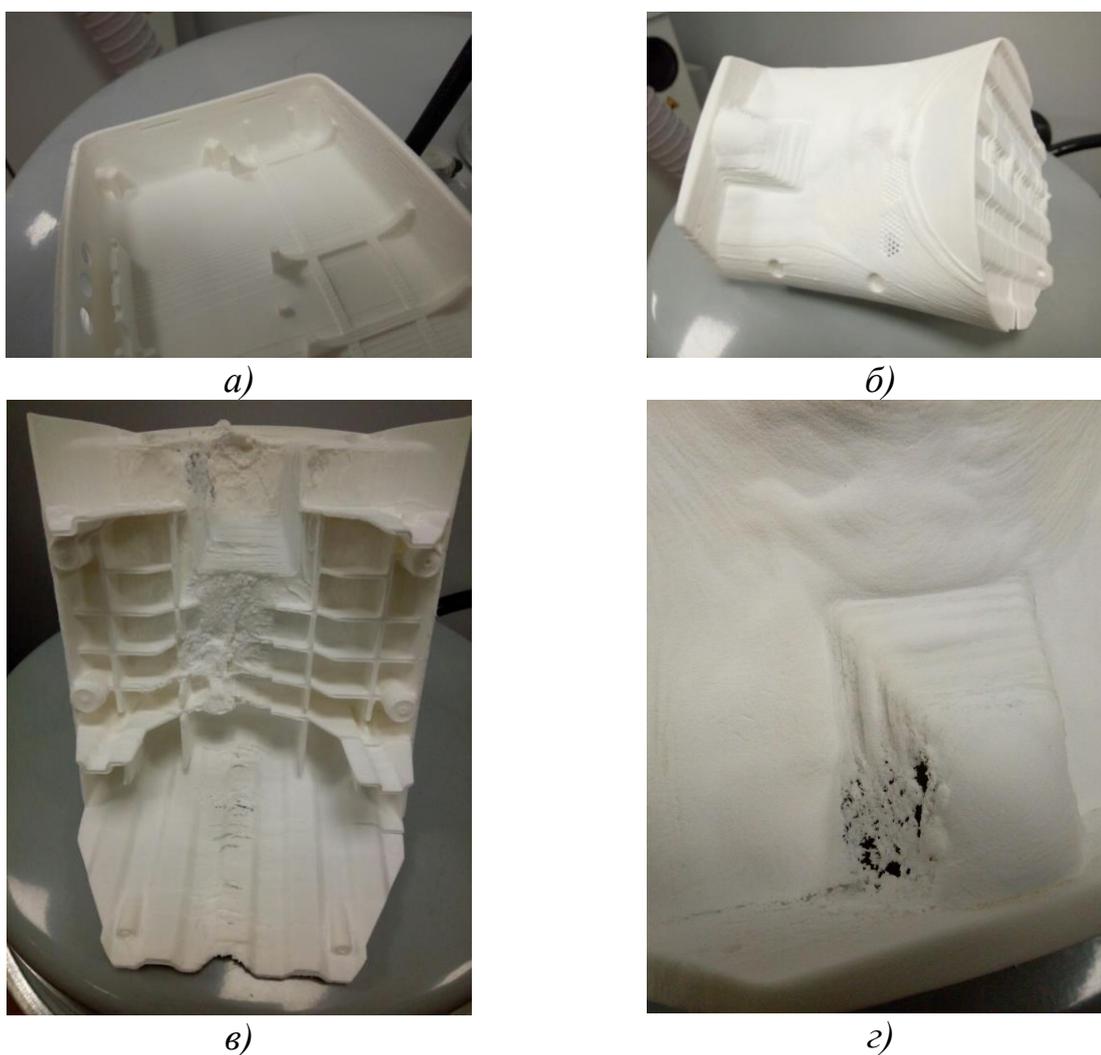


Рисунок 3.9 – Дефекты, возникающие при изготовлении изделий аддитивным методом по технологии SLS:

- а)* – шероховатость внутренней поверхности корпуса превосходит нормативно установленное значение;
- б)* – несоответствие геометрических параметров изделия требованиям ТЗ;
- в)* – частичное невозпроизведение изделия;
- г)* – нарушение целостности внешней поверхности корпуса

Как видно из таблицы 3.4, наиболее критичными по отказам являются процессы составления ТЗ, анализа требований в предконтрактный период, контроля соответствия закупленной продукции и управления производством и обслуживанием. Для указанных процессов требуются дополнительные меры, направленные на снижение уровня отказов.

Таблица 3.4. 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, были расставлены весовые коэффициенты (C_k) вершинам графа. Балльная оценка коэффициентов была проведена членами экспертной группы,

сформированной из представителей технической службы и подразделений, являющихся внутренними потребителями процесса [140 – 143]. Выделение наиболее значимых операций осуществляется путем сравнения значений показателя их критичности с некоторым предельным значением C_D .

Исходя из экспертных оценок были разработаны корректирующие меры для снижения уровня критичности операций. Обеспечение качества на этапе производства связано в основном с повышением стабильности результатов технологических операций и точности средств их технического оснащения.

В условиях интегрированной информационно-технологической среды современного машиностроительного предприятия решение указанной задачи осуществляется на основе внедрения информационно-статистического мониторинга технологических процессов, автоматического измерения технологических параметров процессов и диагностики основных элементов средств технического оснащения, систем информационной поддержки управления сложными технологическими процессами [144]. Кроме того, для обеспечения стабильного выпуска продукции заданного качества необходим рациональный выбор технологических операций, режимов их выполнения и точности.

При выполнении технологических операций, для которых нормативно-технические документы или конструкторско-технологическая документация специально не устанавливают высоких требований в части точности обработки, применение дорогостоящих прецизионных методов, обеспечивающих точность выше заданной, не целесообразно.

В данном случае чрезмерная точность приводит к увеличению затрат на производство [145] и не добавляет потребительских свойств готовой продукции. Неоправданно сложные технологические процессы могут быть упрощены или заменены на более дешёвые и менее точные.

При осуществлении расчёта точности технологических операций определяющее значение имеют производительность и технико-экономическая эффективность

вариантов технологического процесса при соблюдении заданного качества производимых изделий, а также принцип унаследования качества технологических операций.

В результате проведенного FMEA-анализа обнаружены и оценены потенциальные отказы продукции, были определены области корректирующего вмешательства в технологический процесс изготовления. Для этой области также разработаны технические мероприятия по улучшению указанного технологического процесса, разработан перечень потенциальных нарушений подпроцессов процесса с последствиями и причинами (таблица 3.5). Технические мероприятия направлены на предупреждение возникновения критичных нарушений процесса и снижение вероятности их появления.

Таблица 3.5 – Причины потенциальных дефектов и меры по их устранению

№ п/п	Потенциальные дефекты детали	Причины дефекта	Технические мероприятия по улучшению технологического процесса
1.	«Внешние провисания»	Налипание пластика на экструдер, некачественное сырьё	Изменение скорости и температуры выполнения послойного синтеза
2.	«Волнистость»	Инерция, сообщаемая жидкому пластику во время 3D-печати	Изменение скорости и температуры выполнения послойного синтеза
3.	«Вскип», «Подутость»	Налипание пластика на экструдер, некачественное сырьё	Изменение заполняемости детали, изменение толщины слоя. Пластик должен хорошо остывать на верхнем слое. По рекомендациям, на этом этапе охлаждение должно идти максимально
4.	«Коробление»	Переход пластика из одного состояния в другое («жидкое» - «твердожидкое» - «твердое») и изменения температур и	Уменьшение заполняемости детали, использование платформы, рабочей камеры с подогревом, использование сырья с другим коэффициентом усадки. Перераспределение

№ п/п	Потенциальные дефекты детали	Причины дефекта	Технические мероприятия по улучшению технологического процесса
		объема. Сначала остывают края, а затем центральная часть. Возникновение внутренних напряжений, которые отрывают края или ломают деталь.	напряжений в детали на этапе проектирования
5.	«Недозаполнение»	Вид дефектов связанный с электронной моделью (у полигонов неправильно направлены нормали)	Предварительная проверка электронной модели на наличие ошибки (верификация проекта)
6.	«Недозэкструзия»	Может возникать в следствие огромного количества факторов, как связанных с принтером, так и с пластиком	Изменение скорости 3D-печати, температуры, смена сырья, очистка экструдера, проверка механизма подачи пластика
7.	«Неслойность»	Недостаточно плотное крепление ремней, идущих к шаговым моторам	Подтяжка ремней около печатающего блока, смазка направляющих
8.	«Несоблюдение осей»	Перекося направляющих	Механическая корректировка осей
9.	«Перекося»	Трение в направляющих, ошибки в управляющей программе, нарушения в трансляции управляющей программы. Не обеспечена фиксация шкивов	Проверка ремней, контактов, смазка направляющих, настройка, ремонт или замена электронных микросхем
10.	«Пропущенный слой»	Недозэкструзия или проблемы механической части установки послойного синтеза	Смазка направляющей, соответствующей оси Z. Замена или ремонт подшипника в подъемном механизме.
11.	«Просечки»	Неверный выбор параметров температуры и скорости 3D-	Изменение толщины стенки при технологической подго-

№ п/п	Потенциальные дефекты детали	Причины дефекта	Технические мероприятия по улучшению технологического процесса
		печати, плохо затянуты шкивы и/или ремни в линейных модулях, ошибки в электронной модели	товке производства, незначительное увеличение температуры (0.5 ~ 1 %), уменьшение скорости печати
12.	«Пушистость»	Некачественное сырье, загрязнение сопла экструдера, налипание пластика на экструдер	Очистка или замена сопла экструдера, замена сырья, постобработка детали
13.	«Рыхлота»	Налипание пластика на экструдер, некачественное сырьё, неверный выбор параметров температуры и скорости 3D-печати	Уменьшение температуры 3D-печати, технологическая подготовка производства с изменением расположения синтезируемой детали, очистка сопла экструдера, смена сырья
14.	«Слоистость нижнего слоя»	Большой зазор между экструдером и платформой при нанесении первого слоя	Повторная калибровка установки послыного синтеза, уменьшение толщины первого слоя
15.	«Слоновья нога»	Чрезмерный нагрев платформы, плотное прижимание экструдера к платформе в начале 3D-печати	Повторная калибровка установки послыного синтеза, увеличение толщины первого слоя, понижение температуры платформы
16.	«Царапины»	Во время перемещения печатающая головка оставляет след на поверхности вследствие близкого контакта. Также может быть вызвано размазыванием нового пластика, который вытекает из сопла вследствие контакта с поверхностью	Уменьшение температуры, увеличение скорости, упрощение геометрии модели

Как видно из таблицы FMEA-анализа (таблица 3.5) 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 $l_{5,1}$, $l_{5,2}$).

3.5 Статистический анализ устойчивости технологических процессов

В качестве примера проанализированы причины потенциальных дефектов из-за потери точности выполнения технологических операций изготовления детали «Корпус радара». Под точностью технологической операции в данной работе понимается свойство обеспечивать близость действительных значений параметров технологических операций и номинальных. С помощью методологии «Шесть сигм», была проанализирована стабильность операции изготовления детали «Корпус радара». Основным показателем точности операции является индекс воспроизводимости C_p , определяемый по формуле:

$$C_p = \Delta/\omega = \frac{ВГД - НГД}{6\sigma} \quad (3.8)$$

где Δ – величина допуска; $ВГД$ и $НГД$ – значения верхней и нижней границ поля допуска; σ – среднее квадратичное отклонение; ω – поле рассеяния в технологической операции.

Уровень дефектности δ технологической операции зависит от индекса воспроизводимости следующим образом: чем больше величина C_p , тем меньше уровень дефективности в данной технологической операции.

В таблице 3.6 зависимость уровня дефективности δ от индекса воспроизводимости технологической операции выражена числом бракованных деталей на миллион. При расчете предполагается, что нормальное распределение параметра ω и его среднее значение μ в реальной операции совпадает со средним значением поля допуска $\mu = (ВГД + НГД) / 2$.

Таблица 3.6 – Влияние индекса воспроизводимости на уровень дефектности σ

C_p	0,33	0,67	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,67
δ	317500	45500	2700	967	318	96	27	6,8	1,6	0,6

На основе анализа имеющихся рекомендаций для оценки уровня воспроизводимости операции можно применить следующие условия:

$C_p > 1,33$ – воспроизводимый;

$C_p = 1,00 \dots 1,33$ – управляемый при тщательном контроле;

$C_p < 1,00$ – неуправляемый.

Для создания условий, необходимых для выполнения технологических процессов послойного синтеза на автоматизированных комплексах [146], целесообразно обеспечивать тщательный контроль операций и соблюдать индекс воспроизводимости на уровне $C_p = 1,20 \dots 1,33$. Однако поддержание индекса воспроизводимости $C_p > 1,33$ может стать причиной неоправданных затрат. А соблюдение значения индекса воспроизводимости C_p на уровне менее 1,2 может стать причиной значительного увеличения уровня дефектности за счет увеличения дисперсии параметра систематических погрешностей. Непредсказуемость систематических погрешностей весьма усложняет управление процессом и требует тщательного контроля его выполнения. С учетом влияния индекса воспроизводимости на уровень дефектности σ (таблица 3.6) стратегия управления точностью операции заключается в минимизации всех основных случайных и систематических погрешностей, влияющих на точность операции. Для успешного решения этой задачи необходимо провести статистический анализ контролируемости реальных процессов с учётом средств их технического оснащения, а также установить влияние «входов» процесса на показатель его воспроизводимости.

Выводы по третьей главе

В третьей главе, посвященной разработке методического обеспечения информационной поддержки управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, получены следующие результаты.

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, предназначенных 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. Разработанная методика основана 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 методик 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 провести статистический анализ контролируемости реальных процессов с учётом средств их технического оснащения, а также установить влияние «входов» процесса на показатель его воспроизводимости.

4 Средства информационной поддержки интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции

4.1 Разработка компьютерной базы данных нормативных документов для управления качеством процессов жизненного цикла продукции

База данных (БД) предназначена для хранения, поиска, обработки и обмена нормативными документами по менеджменту качества, используемыми на предприятии в рамках создания и эксплуатации компьютерной системы информационной поддержки системы качества. Применение БД для компьютерной информационной поддержки процессов жизненного цикла продукции позволит сократить затраты средств государственного бюджета и собственных средств предприятий, существенно повысив эффективность систем качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения.

Задача выбора профиля существенных требований нормативно-технических документов для изготовления изделий машиностроения осложняется большим количеством таких документов (рисунок 4.1). Так, например, задача обеспечения реализации требований безопасности процессов и продукции машиностроения обуславливает необходимость применения более трех тысяч стандартов.

Применение БД возможно, как в составе КСМК, так и в качестве самостоятельного программного продукта.

База данных должна обеспечивать:

- централизованное безопасное хранение документов;
- оперативный доступ к документам с учетом прав доступа пользователей;
- регистрацию нормативных документов;
- контроль версий документов;
- коллективную работу пользователей с возможностью согласования и утверждения разрабатываемых нормативных документов;
- автоматизированную загрузку нормативных документов из других систем, электронной почты и со сканера;

- использование метаданных для эффективного использования нормативных документов в системе качества;
- открытость и программный интерфейс для её пополнения пользователем;
- интероперабельность с компьютерной системой информационной поддержки системы качества и другими системами в составе информационной среды организации;
- многопользовательскую работу в локальной сети или через Интернет, в том числе и через Web-браузеры;
- взаимосвязь нормативных документов с процессной моделью предприятия и производственной средой.

Примечание:

- разрабатываемая база нормативных документов не должна дублировать функциональные возможности используемых на предприятии систем электронного документооборота (СЭД), управления данными об изделии (PDM), а также систем класса CAD/CAE/CAPP/CAM;

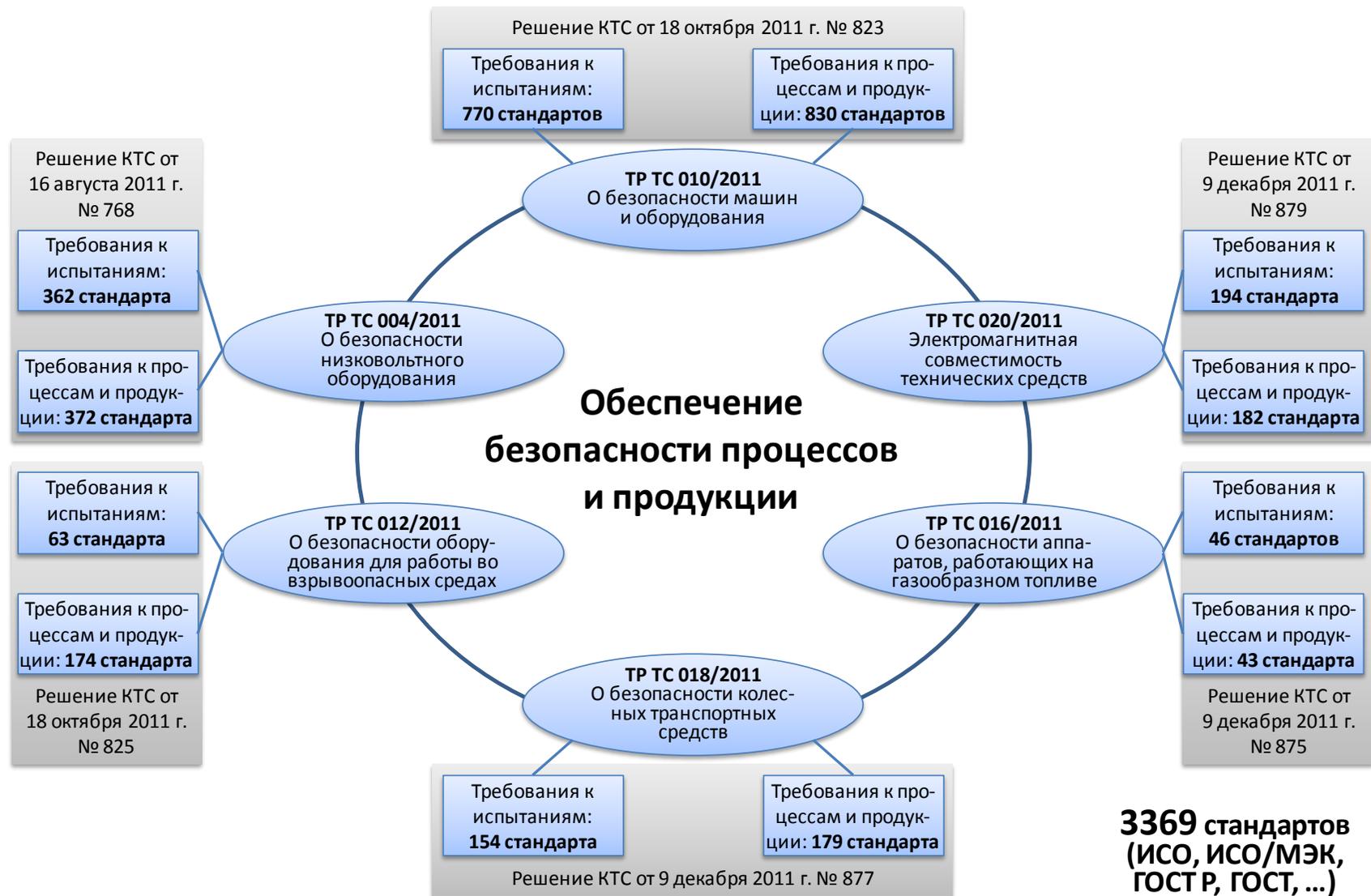


Рисунок 4.1 – Обеспечение реализации требований безопасности процессов и продукции

- для разработки базы нормативных документов могут использоваться лицензионные версии доступных на рынке информационно-программных средств, обладающих интероперабельностью к разрабатываемым программным модулям базы и программной оболочки компьютерной системы информационной поддержки системы качества.

Разрабатываемая БД должна предусматривать структуризацию на следующие основные классы:

- международные договора и соглашения Российской Федерации (Таможенный союз, ЕЭП, ЕврАзЭС), межгосударственные технические регламенты, национальные технические регламенты;
- межгосударственные стандарты (ГОСТ);
- национальные стандарты (ГОСТ Р, ГОСТ РВ);
- стандарты саморегулируемых организаций;
- стандарты организаций;
- документация системы менеджмента качества (системы качества) предприятия;
- справочники, классификаторы, рубрикаторы для менеджмента качества;
- глоссарии в области менеджмента качества.

На рисунках 4.2 и 4.3 приведены контекстная диаграмма функциональной модели БД и ее декомпозиция.

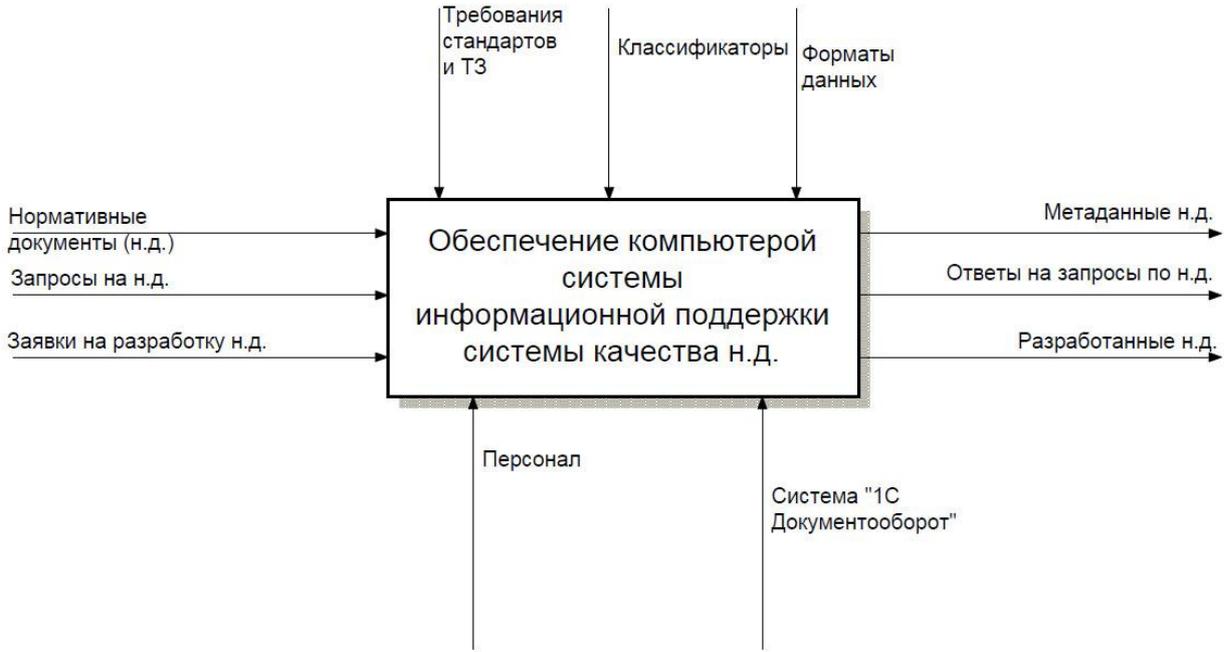


Рисунок 4.2 – Контекстная диаграмма функциональной модели базы данных

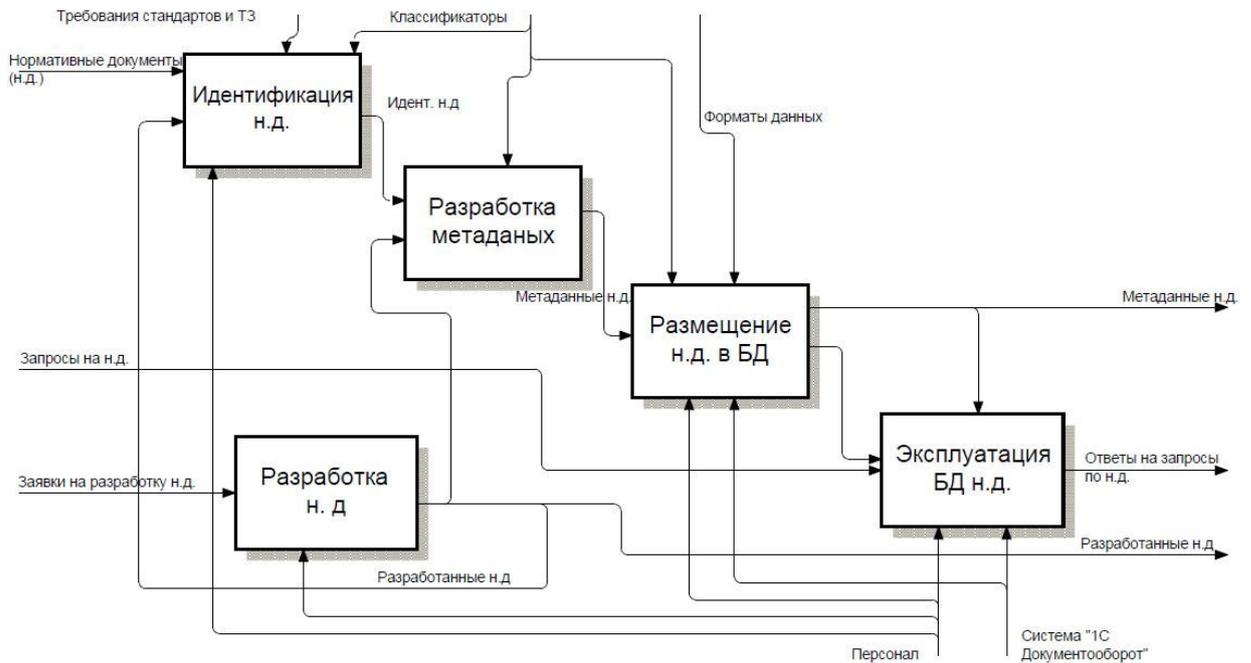


Рисунок 4.3 – Декомпозиция контекстной диаграммы функциональной модели базы данных

Структура метаданных представлена на рисунках 4.4 – 4.7.

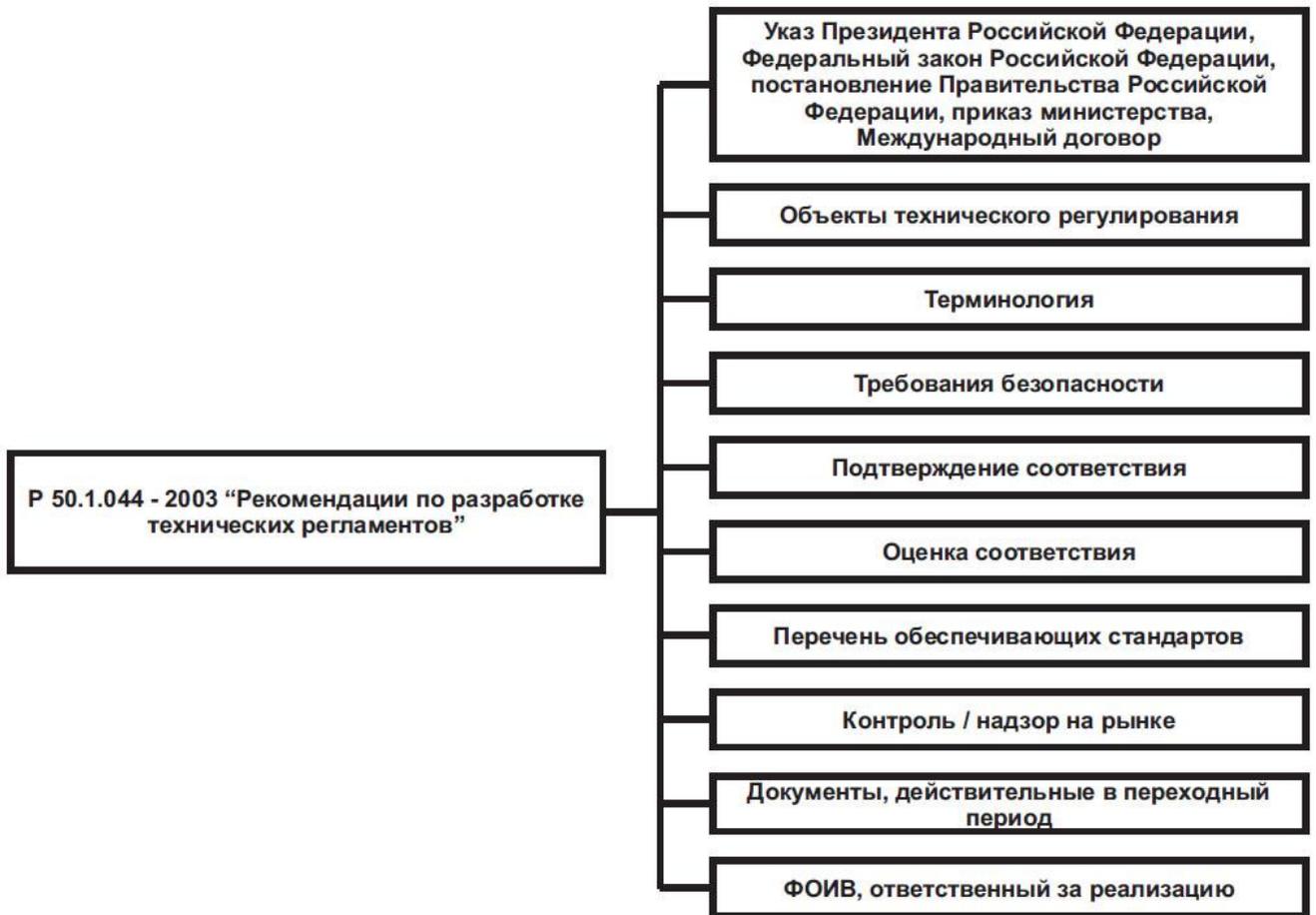


Рисунок 4.4 – Структура содержания технических регламентов в соответствии с Р 50.1.044 – 2003

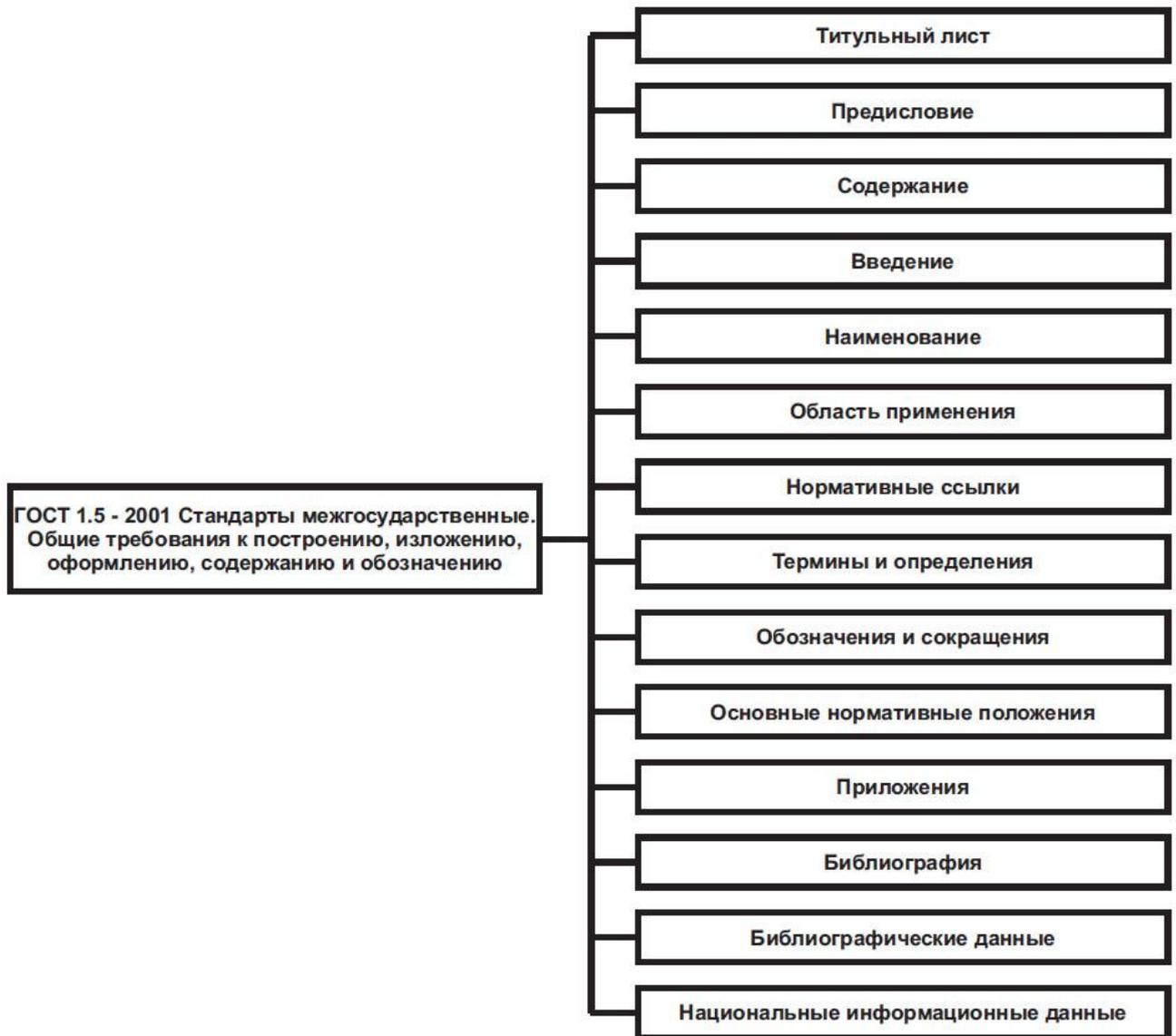


Рисунок 4.5 – Структура содержания межгосударственных стандартов в соответствии с ГОСТ 1.5 – 2001

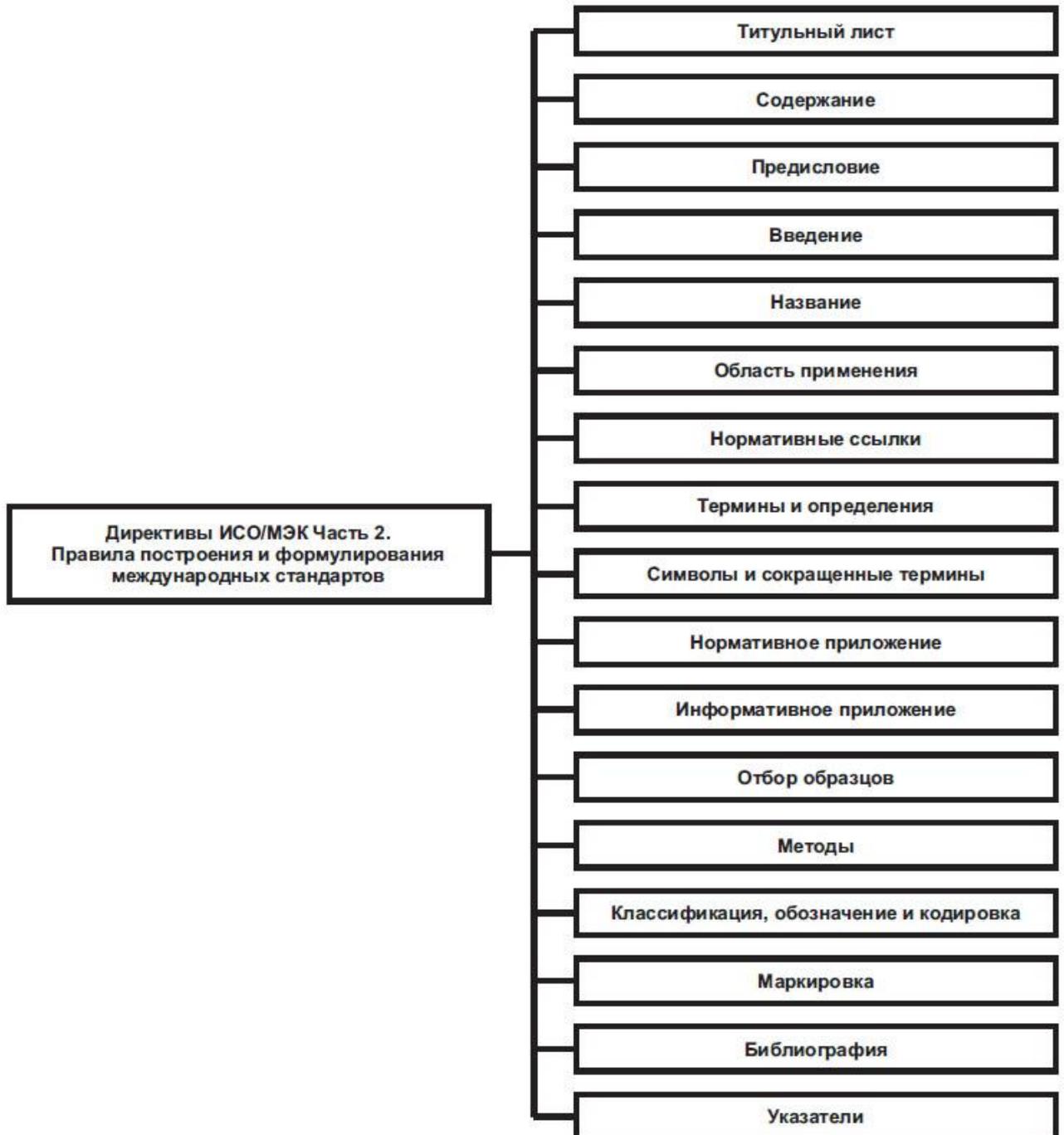


Рисунок 4.6 – Структура содержания международных стандартов ИСО в соответствии Директивами ИСО/МЭК

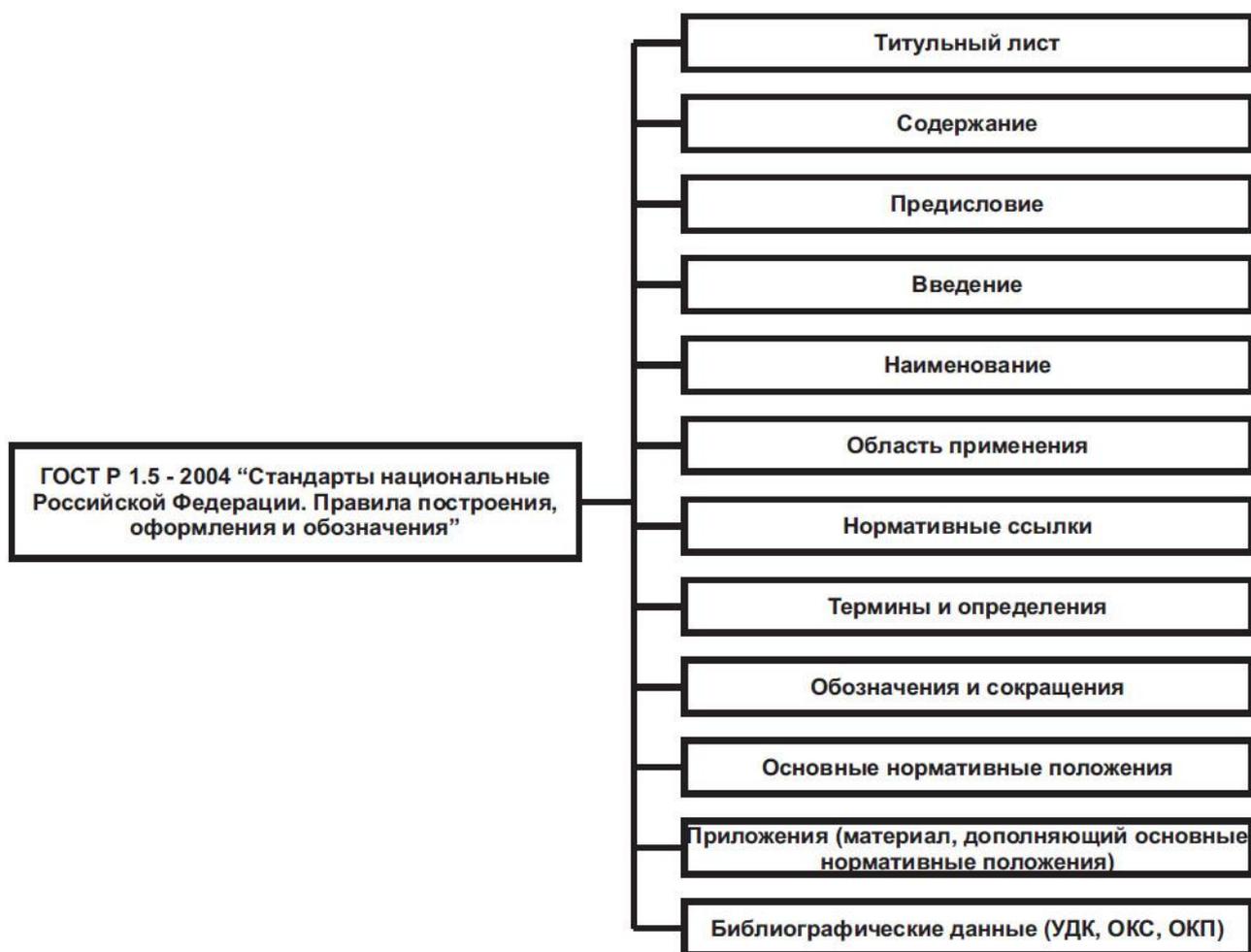


Рисунок 4.7 – Структура содержания национальных стандартов Российской Федерации в соответствии с ГОСТ Р 1.5 – 2004

На основе представленных на рисунках 4.4 – 4.7 элементов метаданных была разработана логическая схема информационной базы КМК (рисунок 4.8), подтверждена необходимость использования в качестве базовой платформы широко применяемого в отечественном машиностроительном комплексе продукта «1С: Предприятие 8.2» (Фирма 1С), относящегося к классу ERP-систем и обладающего высокой интероперабельностью по отношению к другим средствам автоматизации машиностроительных производств (PLM, PDM, CAD/CAE/CAM и др.).

В качестве внешней по отношению к Программной системе базы в созданном макете использована типовая конфигурация «1С: Документооборот» (Фирма 1С), в которой ведется разработка, утверждение, хранение, обработка и передача документов, связанных с обеспечением качества продуктов, процессов и промежуточных результатов.

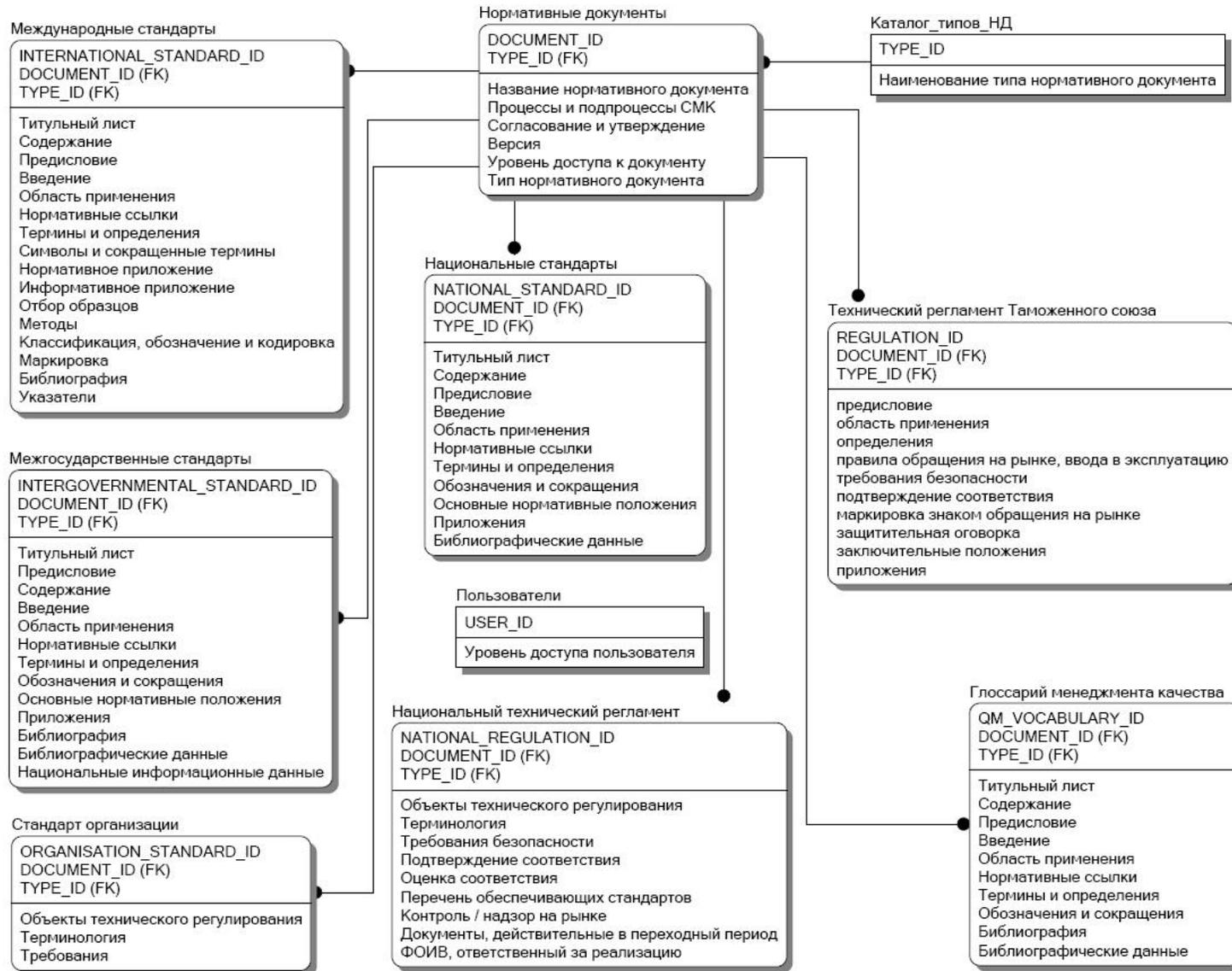


Рисунок 4.8 – Логическая структура базы данных

Архитектура и логика работы системы должны обеспечивать различные и, порой, противоположные подходы к автоматизации документооборота. Отсутствие общепринятых стандартов является проблемой не только для разработчиков, но и для заказчиков, так как выбор требований к СЭД является субъективной задачей [63].

В этой связи были проанализированы шесть наиболее распространенных в России СЭД по обобщенным критериям сравнения (таблица 4.1).

Изучен структурно-функциональный состав выбранных для анализа систем электронного документооборота, и проведён их сравнительный анализ. При сравнении функциональных возможностей СЭД приняты следующие обозначения:

1 – возможность реализована; 0,75 – возможность доступна в рамках ограниченной функциональности; 0,5 – для реализации возможности требуется настройка / конфигурирование системы; 0,25 – для реализации возможности требуется приобретение дополнительного ПО; 0 – возможность не реализована.

В результате выполненного анализа обосновано, что в качестве базовой платформы должен быть использован широко применяемый в отечественном машиностроительном комплексе продукт «1С: Предприятие 8.2» (Фирма 1С), относящийся к классу ERP-систем и обладающий высокой интероперабельностью по отношению к другим средствам автоматизации машиностроительных производств (PLM, PDM, CAD/CAE/CAM и др.).

Использование платформы «1С: Предприятие 8» обеспечивает достижение следующих функциональных возможностей базовой оболочки Программной системы:

- пригодность,
- правильность,
- способность к взаимодействию (интероперабельность),
- согласованность,
- защищенность.

Таблица 4.1 – Сравнительный анализ функциональных характеристик прикладных систем построения БД и электронного документооборота

№	Обобщенные критерии сравнения	Название системы					
		Мотив	Евфрат	ЭОС Дело	1С Документооборот	Directum	Босс-референт
1.	Безопасное и централизованное хранение	1	1	1	1	1	1
2.	Оперативный доступ к документам с учетом прав пользователей	1	1	1	1	1	1
3.	Регистрация нормативных документов	0.75	0.75	0.25	1	0	0.25
4.	Контроль версий документов	0.75	0.75	0.75	0.75	0.5	0.5
5.	Коллективная работа пользователей, наличие механизмов согласования разрабатываемых документов	1	0.5	0.25	0.75	0.25	0.75
6.	Автоматизированная загрузка документов из внешней среды, со сканера	0.25	0.5	0.25	1	0.5	0.75
7.	Использование метаданных для эффективного поиска документов	0.25	0.75	0.5	0.5	0.5	0.5
8.	Кроссплатформенный программный интерфейс для обращения удаленных пользователей;	0.75	0.5	0.25	0.75	0.5	0.5
9.	Интероперабельность с компьютерной системой информационной поддержки системы качества	0	0.75	0	1	0	0
10.	Возможность многопользовательской работы в локальной сети или в сети Интернет с применением «тонких» клиентских приложений на стороне пользователей	1	0.75	1	1	0.25	0
11.	Взаимосвязь нормативных документов с процессной моделью предприятия и производственной средой	0	0.5	0	1	0	0
	Сумма:	6,75	7,75	5,25	9,75	4,5	5,25

Технико-экономическое обоснование выбора системы «1С: Документооборот» для создания базы данных нормативных документов по менеджменту качества.

Использование платформы «1С: Предприятие 8» обеспечивает достижение следующих функциональных возможностей базовой оболочки Программной системы:

1. Централизованное безопасное хранение документов
2. Оперативный доступ пользователей к документам с учетом прав доступа
3. Регистрация нормативных документов
4. Контроль версий документов
5. Коллективную работу пользователей с возможностью согласования и утверждения разрабатываемых нормативных документов
6. Автоматизированную загрузку нормативных документов из других систем, электронной почты и со сканера
7. Использование метаданных для эффективного использования нормативных документов в системе качества
8. Открытость и программный интерфейс для её пополнения пользователем
9. Интероперабельность с компьютерной системой информационной поддержки системы качества
10. Многопользовательскую работу в локальной сети или через Интернет, в том числе и через Web-браузеры
11. Взаимосвязь нормативных документов с процессной моделью предприятия и производственной средой.

Другой важный аспект использования типовой конфигурации «1С: Документооборот» связан с информационной, программной и технической интеграции (стыковки) с современными промышленными системами автоматизации класса CAD/CAE/CAM/PDM/PLM/ERP.

На рисунке 4.9 приведен пример интерфейса системы для ввода параметров.

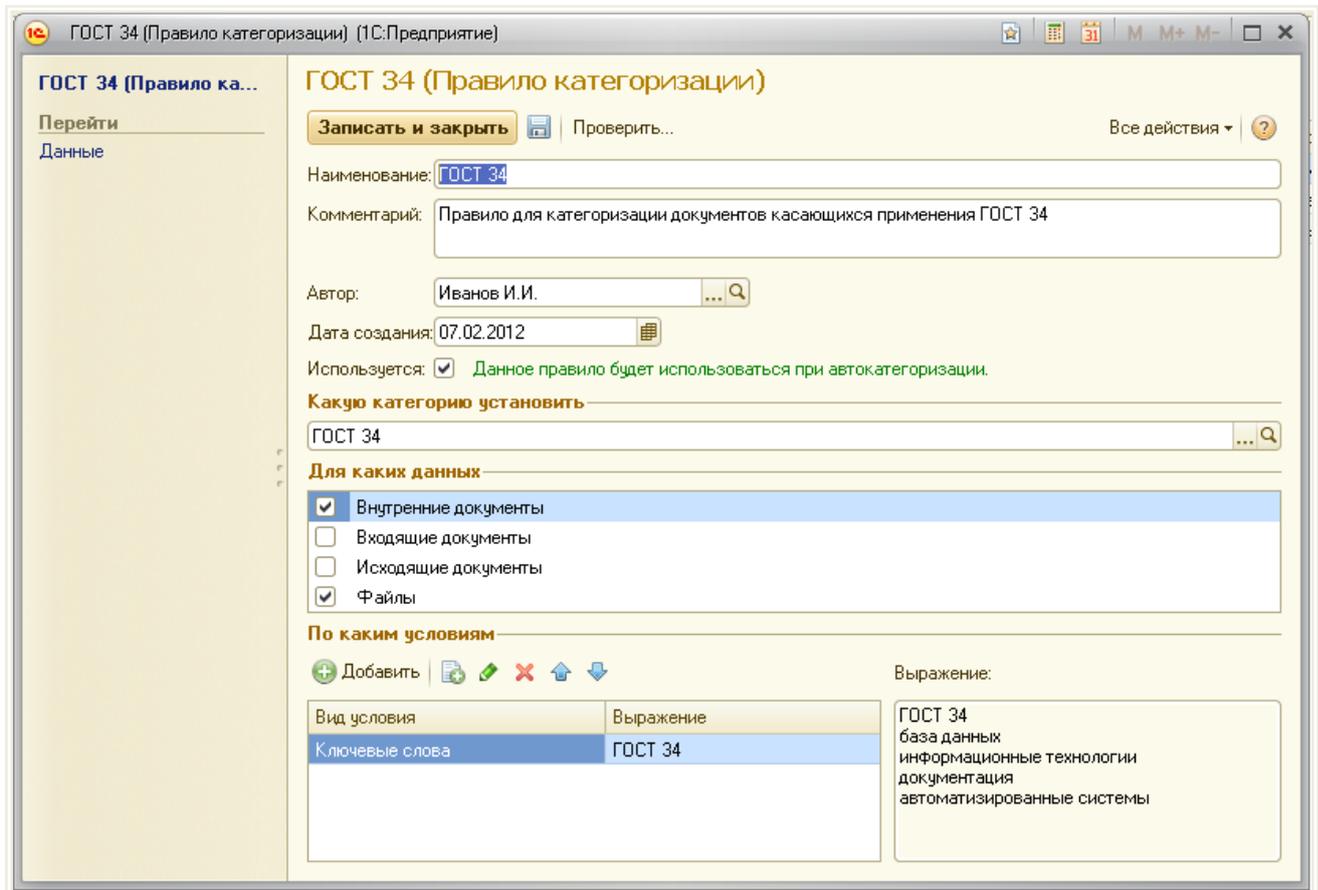


Рисунок 4.9 – Пример интерфейса ввода параметров

4.2 Обоснование структуры информационно-программных средств для обеспечения интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла продукции

Компьютерная система информационной поддержки системы качества (КСМК) предназначена для применения при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения, российскими машиностроительными предприятиями оборонно-промышленного, авиастроительного, судостроительного, ракетно-космического и атомного комплексов. КСМК должна включать следующие основные элементы (рисунок 4.10):

- базовая оболочка (программные модули);
- база данных нормативных документов по менеджменту качества;
- эксплуатационная документация.

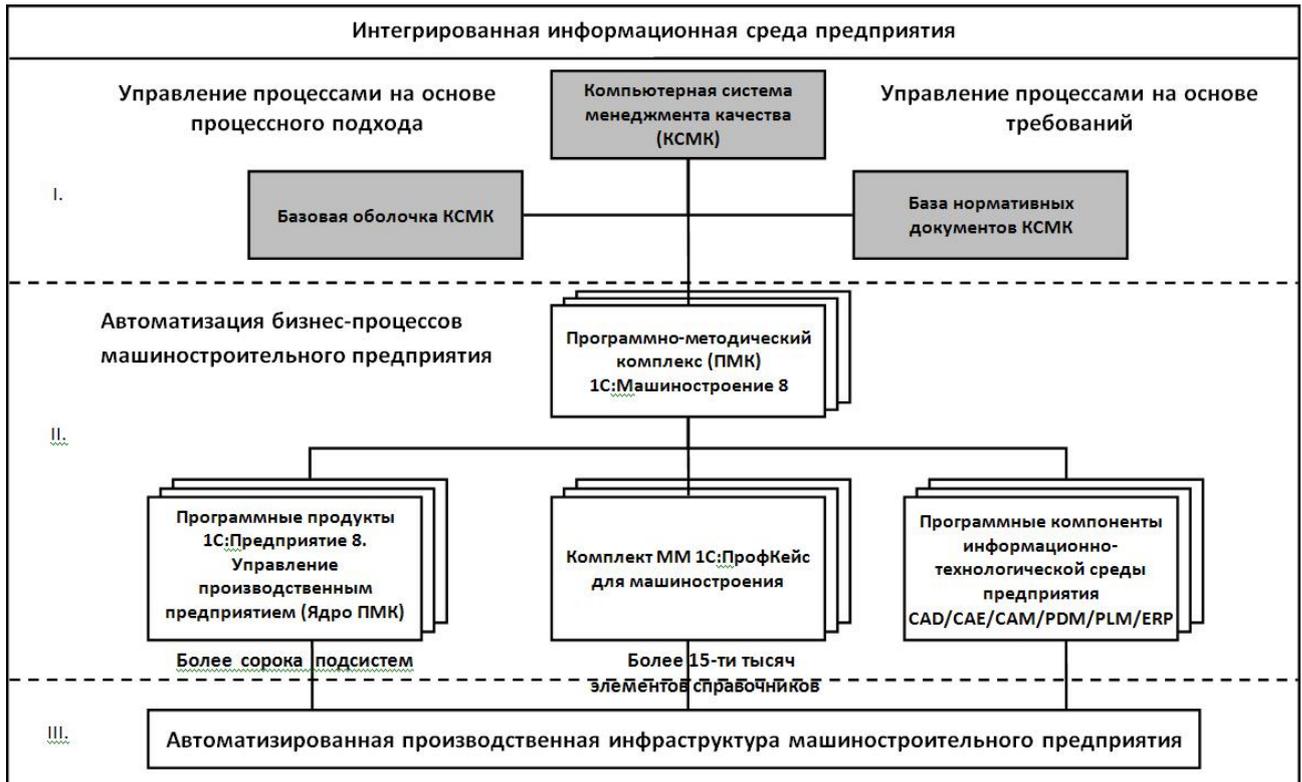


Рисунок 4.10 – Структурная модель компьютерной системы информационной поддержки системы менеджмента качества

Функциональное назначение:

1. Программная система должна обеспечивать информационную поддержку системы качества основных и вспомогательных процессов жизненного цикла сложных машиностроительных изделий в соответствии с требованиями национальных стандартов (рисунок 4.11):
 - по системам менеджмента качества серии ГОСТ Р ИСО 9000;
 - менеджмента качества при проектировании (ГОСТ Р ИСО 10006);
 - информационной поддержки жизненного цикла продукции (ГОСТ Р ИСО 10303);
 - основополагающих методов и средств контроля качества технологических процессов и продукции;
 - Единой системы программной документации (ЕСПД);
 - по качеству программной продукции (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126, ГОСТ Р

ИСО/МЭК 12119 – 12119-2000) по менеджменту информационной безопасности (ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000).

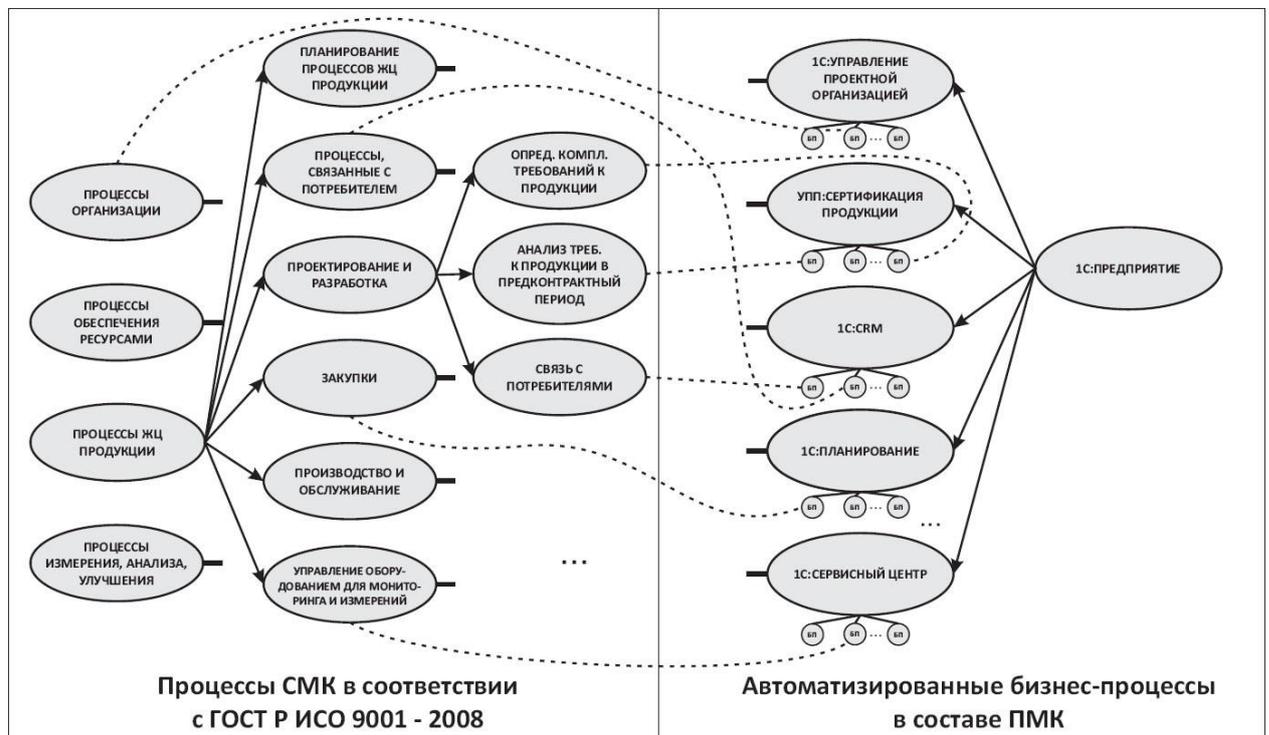


Рисунок 4.11 – Взаимосвязь процессов жизненного цикла и автоматизированных бизнес-процессов в составе комплекса программ «1С: Предприятие 8»

2. Программная система рассчитана на применение пользователями, прошедшими образовательную программу повышения квалификации, соответствующую по форме и содержанию:

- нормативным документам российских ведомств в области повышения квалификации;
- отраслевым требованиям в области повышения квалификации руководящего состава машиностроительных предприятий;
- требованиям по обеспечению обучения на основе дистанционных образовательных технологий (не менее 50% процесса обучения должно быть обеспечено в режиме удаленного доступа).

Входящие в состав Программной системы базы данных должны быть открытыми и иметь программный интерфейс для их пополнения пользователем.

Конфигурация спроектирована по типу конструктора и позволяет в пользовательском режиме вводить, обрабатывать и управлять данными системы менеджмента качества, позволяя реализовать шесть основных областей СМК:

- управление документацией;
- управление записями о качестве;
- управление несоответствующей продукцией;
- проведение внутренних аудитов;
- проведение корректирующих мероприятий;
- проведение предупреждающих мероприятий.

Разработка Программной системы выполнена в соответствии с требованиями основополагающих стандартов:

- ГОСТ 19.102-77 Единая система программной документации. Стадии разработки;
- ГОСТ Р ИСО 9000 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь;
- ГОСТ Р ИСО 10006 Системы менеджмента качества. Руководство по менеджменту качества при проектировании;
- ГОСТ Р ИСО 10303 Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными;
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению;
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119 - 2000 Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование;
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 27000 Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Общий обзор и терминология;
- ГОСТ Р ИСО 9241 Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDTs);

- ГОСТ Р 50923-96 Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;
- ГОСТ Р 52324-2005 Эргономические требования к работе с визуальными дисплеями, основанными на плоских панелях;
- ГОСТ 19.781-90 Единая система программной документации. Программное обеспечение систем обработки информации. Термины и определения;
- ГОСТ 19.101-77 Единая система программной документации. Виды программ и программных документов;
- ГОСТ 34.201-89 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем;
- ГОСТ Р ИСО 14598 Оценивание программного продукта.

Предлагаемые технические решения соответствуют лучшим мировым практикам и отечественным разработкам, что подтверждается результатами проведенных патентных исследований в области методов и средств компьютерного менеджмента качества и информационной поддержки процессов машиностроительного производства.

Отличительными особенностями создаваемой Программной системы по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами будет являться создание нового класса компьютерной системы информационной поддержки системы качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения. Разработанные средства информационной поддержки будут обеспечивать системный менеджмент качества продукции и процессов жизненного цикла машиностроительных предприятий.

Разрабатываемая Программная система отличается интероперабельностью относительно широкого класса продуктов «1С Машиностроение», успешно внедренных на сотнях отечественных промышленных предприятий.

В КСМК выделяются следующие функциональные блоки:

- составление карты контролируемого процесса (планирование СМК);
- проверка соответствия требованиям стандарта (исполнение и контроль качества);
- аналитические отчеты (анализ несоответствий).

Функциональный блок «Планирование СМК» состоит из следующих процессов:

- формирование карты процесса;
- указание контрольных точек;
- выбор стандартов, параметров проверки и диапазонов проверяемых значений;
- указание необязательных параметров для проверки;
- выбор фактического источника данных;
- задание периодичности получения данных;
- задание действий, запускаемых после проверки;
- составление планов обмена для получения данных;
- передача карты процесса в хранилище стандартов.

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 ходе исследования было произведено получение данных для анализа результативности СМК:

- результаты устранения несоответствий, выявленных при проведении предыдущих проверок;
- достаточность документов, обеспечивающих работу СМК подразделений и их соответствие требованиям внешних и внутренних нормативных документов;
- проверяется фактическое выполнение требований нормативных документов;
- анализируются поступившие претензии сотрудников подразделений;
- рассматриваются предложения по развитию и совершенствованию системы менеджмента качества.

Основу производственного оснащения предприятия, на базе которого проводилось исследование, составляет установка послойного синтеза EOS EOSINT P 396 (рисунок 4.12). Толщина слоя, обеспечиваемая установкой при аддитивном производстве деталей, составляет 120 мкм. Процессу непосредственного синтеза деталей предшествует прогрев рабочей камеры в течение 2 или 4 часов. Специфика технологии такова, что напечатанные изделия нуждаются в дополнительной очистке от порошка в специальной камере (рисунок 4.13).



Рисунок 4.12 – Установка послойного синтеза EOS EOSINT P 396



Рисунок 4.13 – Камера для пескоструйной очистки деталей, полученных методом послойного синтеза

В связи с небольшим распространением технологии 3D-печати на отечественных предприятиях по технологии SLS в открытых источниках информации практически отсутствует статистика по дефектности производственных процессов, видам и последствиям возникающих отказов. При этом применяемое производственное оборудование характеризуется высокой сложностью настройки, а производственный процесс зависит от таких условий как температура, чистота и влажность воздуха.

В отличие от традиционных индустриальных методов массового производства аддитивные технологии применяются на практике сравнительно недавно, и поэтому для них характерен невысокий уровень зрелости производственного процесса. Например, из 380 случаев запуска установки на выполнение послойного синтеза только 360 завершились успешно. Это свидетельствует о недостаточной изученности и слабой статистической управляемости производственного процесса аддитивным методом по технологии SLS. Накопленный на предприятии 4-х летний опыт позволил практическим путём определить оптимальные значения для некоторых параметров при технологической подготовке производства и, непосредственно, при изготовлении по технологии SLS. Вместе с тем зависимость технико-экономических показателей выполнения процессов от количественно определённых характеристик производства была описана аналитически на основе результатов анализа статистики. Для установления причин возникновения несоответствий также была проанализирована статистика по дефектам.

Предприятие осуществляет изготовление продукции по требованиям заказчика, который может предоставить необходимую для производства конструкторскую и технологическую документацию. В случае ее отсутствия у заказчика полный цикл проектирования и разработки выполняется непосредственно на самом предприятии. При этом необходимо также выполнять менеджмент качества процесса проектирования и разработки.

В системе были созданы электронные паспорта процессов, позволяющие систематизировать собранную на основе анализа статистики информацию по производству деталей «Корпус радара» (рисунки 4.14 и 4.15).

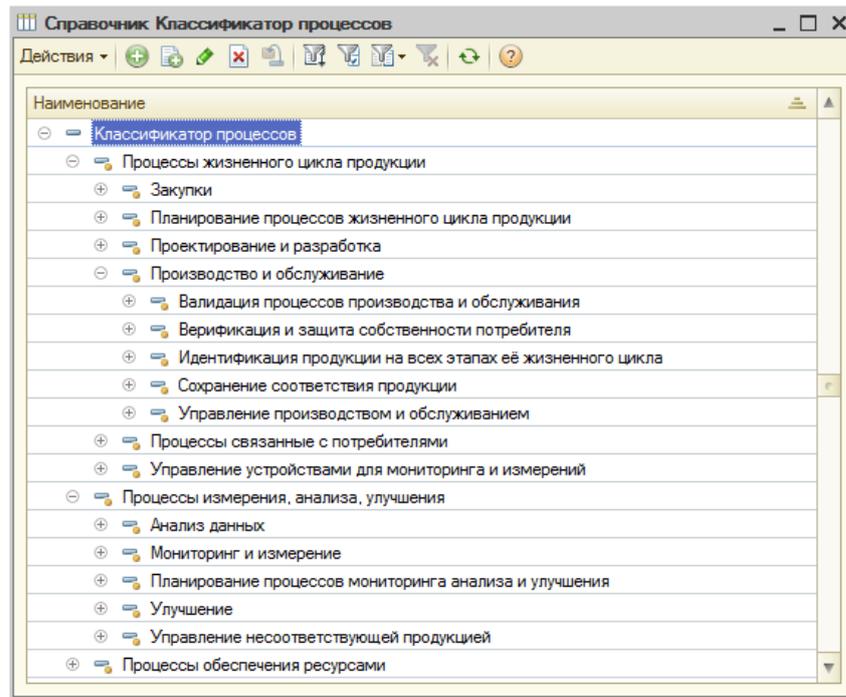


Рисунок 4.14 – Электронный банк данных процессов организации

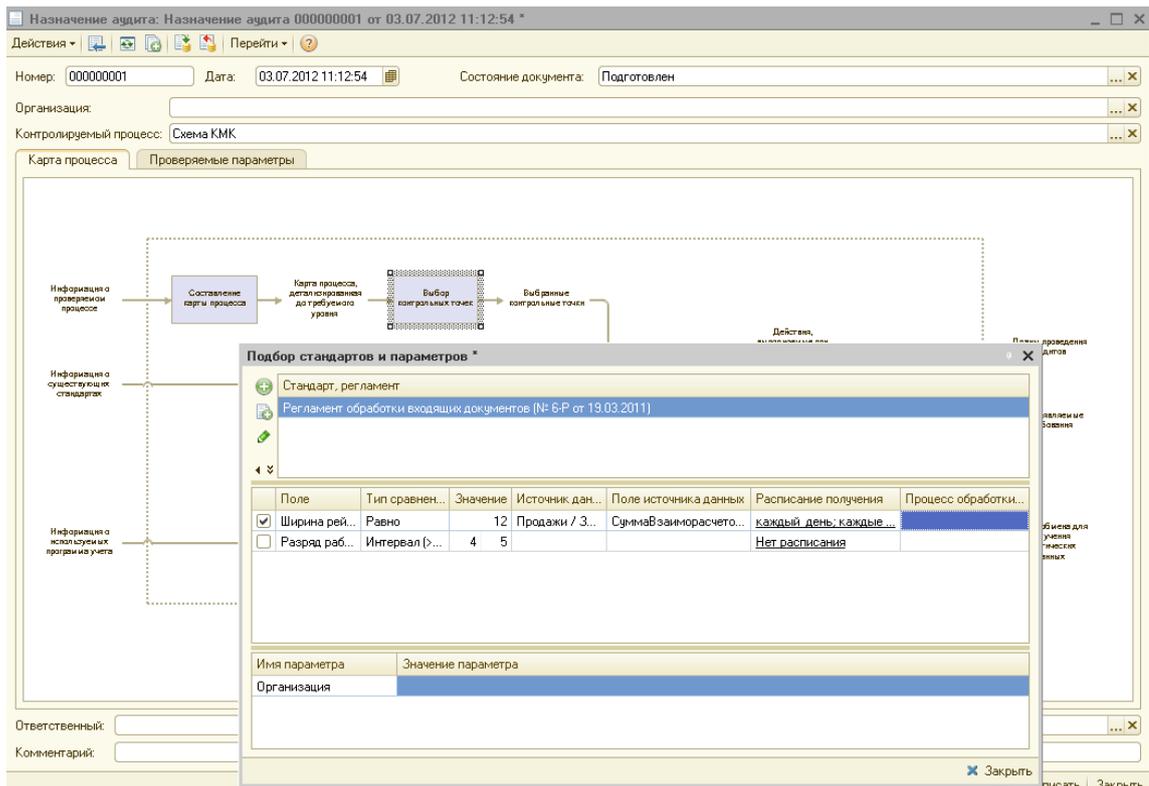


Рисунок 4.15 – Экранная форма функционального блока «Исполнение и контроль качества»

Для изготовления детали «Крышка радара» ее электронная модель была предоставлена заказчиком, также определены требования к точности и качеству поверхностей (рисунки 4.16 – 4.18).

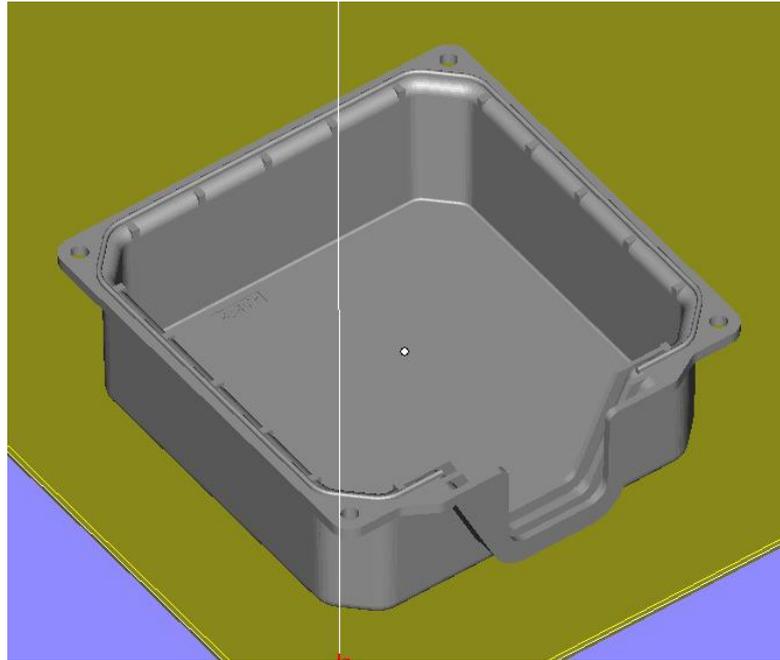


Рисунок 4.16 – Модель детали «Крышка радара»
(полигональная сеть содержит 9478 полигонов)

Требования Технических регламентов «О безопасности низковольтного оборудования» и «Об электромагнитной совместимости» являются обязательными при производстве изделий в радиоэлектронной промышленности. Кроме того, указанные регламенты обязывают соблюдать требования 1110 обеспечивающих стандартов.

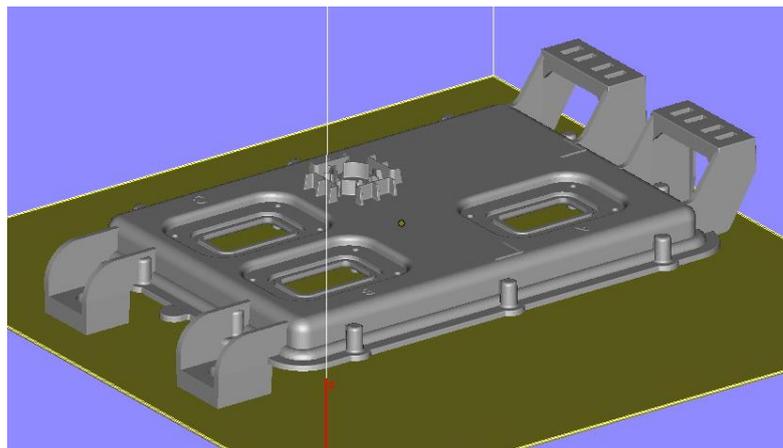


Рисунок 4.17 – Модель детали «Основание»
(полигональная сеть содержит 675392 полигонов)

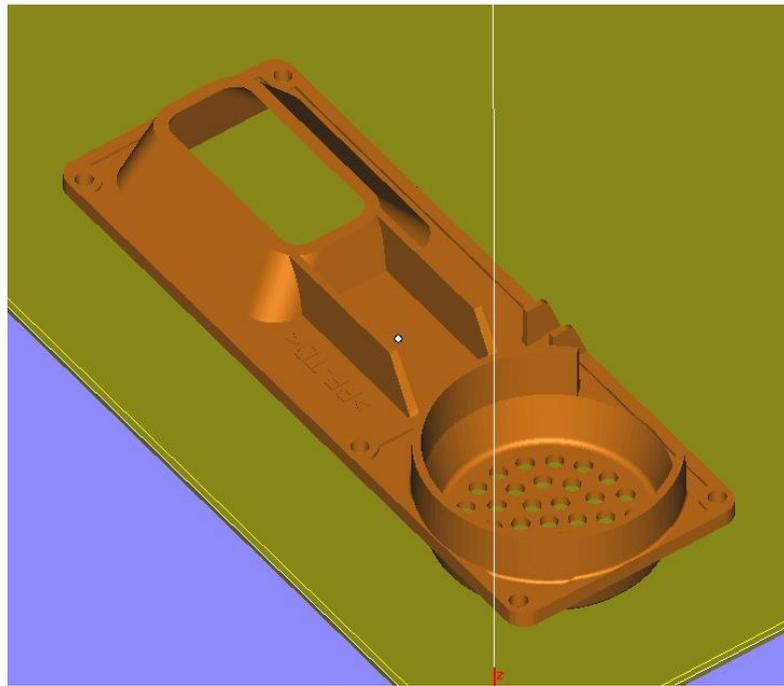


Рисунок 4.18 – Модель детали «Крышка»
(полигональная сеть содержит 20686 полигонов)

Паспортизация и исследование процессов СМК выполнены на примере организации производства изделия «Крышка радара». По условиям технического задания цикл проектирования и производства не должен был превышать 10 дней. Расходный материал (полиамид) закупается у одного поставщика, который продемонстрировал стабильность свойств материала.

Персонал состоял из 4 специалистов. Компетенции некоторых специалистов отличались, но также были компетенции, которыми владели все специалисты, так что для решения некоторых специальных задач специалисты были взаимозаменяемы.

После паспортизации процессов, а также на основе проанализированной статистики выполнения процессов, накопленной предприятием в течение 3 лет, система позволила систематизировать информацию о процессной модели СМК предприятия, сформировать системы ограничений и задать целевые функции управления. На основе сформированных систем ограничений и аналитического описания целевых функций были выполнены следующие виды оптимизации по симплекс-методу (таблицы 4.2 – 4.5):

- затраты времени на поиск нормативных требований;
- потребность в коллективном участии специалистов;
- соблюдение требований стандартов;
- финансовые затраты на разработку проектной документации.

Таблица 4.2 – Затраты времени на поиск нормативных требований

Изделие	Затраты времени на поиск нормативных требований			Время, предусмотренное ТЗ (час.)
	A ₁ – Эскизное проектирование	A ₂ – Техническое проектирование	A ₃ – Рабочая документация	
I Крышка радара	4	4	4	20
II Корпус	4	5	4	30
III Основание	4	6	4	40
Экономия времени на повторное проектирование	0,5	0,5	0,8	

$$f(x_1, x_2, x_3) = 0,5x_1 + 0,5x_2 + 0,8x_3 \rightarrow \max.$$

Таблица 4.3 – Потребность в коллективном участии специалистов

Изделие	Потребность в коллективном участии специалистов			Владельцы процесса (штат компетентных специалистов)
	A ₁ – Эскизное проектирование	A ₂ – Техническое проектирование	A ₃ – Рабочая документация	
I Крышка радара	1	1	2	2
II Корпус	1	2	2	4
III Основание	2	3	2	3
Передача опыта (чел.)	0	1	1	

$$f(x_1, x_2, x_3) = x_2 + x_3 \rightarrow \max.$$

Таблица 4.4 – Соблюдение требований стандартов

Изделие	Соблюдение требований стандартов			Количество стандартов
	A ₁ – Эскизное проектирование	A ₂ – Техническое проектирование	A ₃ – Рабочая документация	
I Крышка радара	0	0	200	1110
II Корпус	0	554	200	1420
III Основание	160	1200	200	3369
Пополнение экспертной базы	0,05	0,11	0,07	

$$f(x_1, x_2, x_3) = 0,05x_1 + 0,11x_2 + 0,07x_3 \rightarrow \max.$$

$$f(x_1, x_2, x_3) = 0,05x_1 + 0,11x_2 + 0,07x_3 \rightarrow \min.$$

Таблица 4.5 – Финансовые затраты на разработку проектной документации

Изделие	Финансовые затраты на разработку проектной документации			Бюджет
	A ₁ – Эскизное проектирование	A ₂ – Техническое проектирование	A ₃ – Рабочая документация	
I Крышка радара	1200	2400	1200	6000
II Корпус	1200	2400	2400	8000
III Основание	1200	4800	4800	16000
Совокупная стоимость разработанного решения (руб.)	2	3	1	

$$f(x_1, x_2, x_3) = 2x_1 + 3x_2 + x_3 \rightarrow \max.$$

Так как при постобработке тонкие элементы могут быть разрушены, желательно оптимизировать процесс таким образом, чтобы на постобработку таких деталей отводилось больше времени для аккуратного удаления порошка.

Примеры выполненных на основе симплекс-метода оптимизаций для процесса «Производство и обслуживание» представлены в таблицах (4.6 – 4.9).

Таблица 4.6 – Требования к точности (кавалитет)

Изделие	Требования к точности (кавалитет)			Время, предусмотренное планом
	I Прогрев	II Печать	III Пост-обработка	
Крышка (30 поз.)	2	8	4	16
Основание (10 поз.)	4	12	8	32
Качество поверхности (кавалитет)	0,5	0	0,5	

$$f(x_1, x_2, x_3) = 24 / (x_1 + x_2 + x_3) \rightarrow \min.$$

Таблица 4.7 – Устойчивость процесса (уровень сигма)

Изделие	Устойчивость процесса (уровень сигма)			Уровень σ
	I Прогрев	II Печать	III Пост-обработка	
Крышка (30 поз.)	3	3	4	4
Основание (10 поз.)	3	2	2	4
Совокупная возможность процессов	1	1	1	

$$f(x_1, x_2, x_3) = (x_1 + x_2 + x_3) / 3 \rightarrow \max.$$

Таблица 4.8 – КИМ на единицу продукции

Изделие	КИМ на единицу продукции			План затрат
	I Прогрев	II Печать	III Пост-обработка	
Крышка (30 поз.)	1 кВт	3 кВт	0,15 кВт	2000
Основание (10 поз.)	2 кВт	5 кВт	0,3 кВт	3000
Стоимость образцов	0	15000	1000	

$$f(x_1, x_2, x_3) = 15000 \times x_2 + 1000 \times x_3 \rightarrow \max.$$

Таблица 4.9 – Количество операторов оборудования

Изделие	Количество операторов оборудования			Бюджет проекта
	I Прогрев	II Печать	III Пост-обработка	
Крышка (30 поз.)	1	1	2	25000
Основание (10 поз.)	1	2	2	25000
Качество поверхности (кавалитет)	1000	5000	2500	

$$f(x_1, x_2, x_3) = 1000 \times x_1 + 5000 \times x_2 + 2500 \times x_3 \rightarrow \max.$$

Результаты с промежуточными опорными планами на каждой итерации процесса оптимизации по симплекс-методу представлены в Приложении Б.

Обработка карт процессов.

Входные данные: Утвержденная карта процесса, Действующие внутренние НРД, Фактические данные.

При поступлении в систему информации о начале какого-либо процесса, происходит последовательно: Создание карты процесса, Согласование и утверждение карты процесса, Проверка на соответствие, Обработка результатов проверки на соответствие, Обмен данными с локальной базой стандартов. Для каждого последовательного действия в рамках идентифицированного процесса определены входы, выходы и исполнители (таблицы 4.10 – 4.14).

Таблица 4.10 – Создание карты процесса

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
1.1.	Составление схемы карты процесса	Действующие внутренние НРД	Схема процесса	Модуль управления картами процессов
1.2.	Указание контрольных точек	Схема процесса	Схема процесса с ТК	Модуль управления картами процессов
1.3.	Ввод параметров для ТК	Схема процесса с ТК	Схема процесса с ТК, параметрами проверки	Модуль управления картами процессов

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
		Действующие внутренние НРД		
1.4.	Указание источников фактических данных	Схема процесса с ТК, параметрами проверки	Схема процесса с ТК, параметрами проверки, источниками фактических данных	Модуль управления картами процессов
1.5.	Задание периодичности получения фактических данных	Схема процесса с ТК, параметрами проверки, источниками фактических данных	Схема процесса с ТК, параметрами проверки, источниками фактических данных, периодичностью их получения	Модуль управления картами процессов
1.6.	Задание для каждой ТК действий по результату проверки	Схема процесса с ТК, параметрами проверки, источниками фактических данных, периодичностью их получения	Сохраненная в программе карта процесса	Модуль управления картами процессов

Таблица 4.11 – Согласование и утверждение карты процесса

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
2.1.	Передача сохраненной в программе карты процесса для согласования	Сохраненная в программе карта процесса	Утвержденная карта процесса Несо согласованная карта процесса Отмененная карта процесса	Модуль управления картами процессов
2.2.	Хранение произвольного количества разработанных и утвержденных карт процессов (рабочих)	Утвержденная карта процесса	Утвержденная карта процесса	БД карт процессов
2.3.	Хранение разработанных и неутвержденных карт для целей возможной	Несо согласованная карта процесса	Несо согласованная карта процесса	БД карт процессов

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
	дальнейшей работы с ними			
2.4.	Хранение ранее рабочих карт, но отмененных другими утвержденными картами процессов	Отмененная карта процесса	Отмененная карта процесса	БД карт процессов

Таблица 4.12 – Проверка на соответствие

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
3.1.	Получение фактических данных	Утвержденная карта процесса	Фактические данные	Модуль сбора данных
3.2.	Проверка имеющихся данных на соответствие	Фактические данные Утвержденная карта процесса	Запись в журнале проведения аудитов Запись в журнале выявленных несоответствий	Модуль оценки соответствия и регистрации результатов проверки

Таблица 4.13 – Обработка результатов проверки на соответствие

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
4.1.	Выполнение запланированных действий при обнаружении несоответствий	Запись в журнале выявленных несоответствий	Утвержденная карта процесса (корректирующего или предупреждающего действия)	Модуль обработки данных
4.2.	Анализ выявленных несоответствий для предупреждающих действий	Запись в журнале выявленных несоответствий	Группа отчетов по несоответствию	Модуль обработки данных

Таблица 4.14. Обмен данными с локальной базой стандартов

№	Процесс	Вход	Выход	Исполнитель
5.1.	Загрузка данных о внутренних НРД	Внутренние НРД	Данные о наличии, классификации, проверяемых параметрах внутренних НРД	Модуль формирования карт процессов на основании регламентов
5.2.	Выгрузка карт процессов	Утвержденная карта процесса	Внутренняя НРД	Модуль формирования регламентов выполнения и контроля процессов

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. Информационная поддержка реализуется в виде выгруженной карты процесса.

Выводы по четвертой главе

В четвертой главе, посвященной разработке средств информационной поддержки интегрированного управления качеством процессов жизненного цикла машиностроительной продукции, получены следующие результаты.

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 комплекс программных 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 программных средств является учет специфики и требований процессного подхода в управлении качеством.

На основе предложенного комплекса программных средств разработаны типовые технологические процессы производства изделия по аддитивной технологии, которые прошли апробацию на профильном предприятии и приняты к промышленной реализации.

Разработанные методы и средства информационной поддержки и компоненты систем автоматизированного проектирования апробированы при выполнении

НИОКР «Разработка лицензируемой отечественной компьютерной системы информационной поддержки системы качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения» по Государственному контракту № 11411.1003704.05.065 от 31 октября 2011 г. в рамках ФЦП «Национальная технологическая база» (Подпрограмма «Развитие отечественного станкостроения и инструментальной промышленности» на 2011-2016 годы), что подтверждается документами о внедрении и отражено в отчетах о выполнении указанной НИОКР.

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 методик 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 компь-

ютерной 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, 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.

Разработанные методы и средства информационной поддержки и компоненты систем автоматизированного проектирования апробированы при выполнении НИОКР «Разработка лицензируемой отечественной компьютерной системы информационной поддержки системы качества при производстве сложных изделий, характерных для высокотехнологичных отраслей машиностроения» по Государственному контракту № 11411.1003704.05.065 от 31 октября 2011 г. в рамках ФЦП «Национальная технологическая база» (Подпрограмма «Развитие отечественного станкостроения и инструментальной промышленности» на 2011-2016 годы), что подтверждается документами о внедрении и отражено в отчетах о выполнении указанной НИОКР.

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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- ARIS – Architecture of Integrated Information Systems (методология и тиражируемый программный продукт для моделирования бизнес-процессов организаций);
- Batch Control – Системы последовательного управления;
- CAD – Computing Aided Design (автоматизированные системы проектирования – САПР);
- CAE – Computing Aided Engineering (автоматизированные системы инженерного проектирования – САПР);
- CALS – Continuous Acquisition and Lifecycle Support (непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий);
- CAM – Computing Aided Manufacturing (автоматизированные системы поддержки производства);
- CAPP – Computer Aided Process Planning (автоматизированная система технологической подготовки производства);
- CASE – Computer Aided Software Engineering (система автоматизированной разработки программного обеспечения);
- CIM – Computer-Integrated Manufacturing (компьютерно-интегрированное производство);
- CMM – Capability Maturity Model (модель зрелости возможностей создания программного обеспечения);
- CMMI – Capability Maturity Model Integration (набор моделей (методологий) совершенствования процессов в организациях разных размеров и видов деятельности);
- CRM – Customer Relationship Management (системы управления взаимоотношениями с клиентами);

CRP	– Capacity Resource Planning (система планирования производственных мощностей);
DCS	– Distributed Control Systems (распределенные системы управления);
DFD	– Data Flow Diagrams (диаграммы потоков данных);
DMAIC	– акроним от англ. Define, Measure, Analyze, Improve, Control (определение, измерение, анализ, совершенствование, контроль);
EDIFACT	– Electronic Data Interchange For Administration, Commerce and Transport (электронный обмен данными в сфере управления, торговли и транспорта);
ERP	– Enterprise Resource Planning (Планирование Ресурсов Предприятия);
EAM	– Enterprise Asset Management (управления фондами и активами предприятия);
FMEA	– Failure Mode and Effects Analysis (анализ видов и последствий отказов);
IDEF	– методологии семейства ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing – компьютерно-интегрированного и автоматизированного производства) для решения задач моделирования сложных систем;
IRP	– Intelligent Resource Planning (системами интеллектуального планирования);
ITSM	– IT Service Management (автоматизированная система сервиса информационных технологий);
KPI	– Key Performance Indicators (ключевые показатели эффективности);
LEAN	– Low-Income Energy Affordability Network (Бережливое производство);

MANDATE	– Manufacturing Management Data Exchange (обмен данными по управлению производством);
MES	– Manufacturing Execution Systems (системы управления производством);
MRP	– Material Requirements Planning (системы планирования потребностей в материалах);
MRP II	– Manufacturing Resource Planning (системы планирования ресурсов производства);
PDCA	– акроним от англ. Plan, Do, Check and Act (планируй, делай, проверяй, действуй);
PDM	– Product Data Management (автоматизированные системы управления данными);
P-LIB	– Parts Library (библиотека деталей);
PLM	– Product Lifecycle Management (автоматизированная система управления жизненным циклом продукции);
RUP	– Rational Unified Process (методология разработки программного обеспечения, созданная компанией Rational Software);
SADT	– акроним от англ. Structured Analysis and Design Technique (методология структурного анализа и проектирования);
SCADA	– Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерский контроль и накопление данных);
SLS	– Selective Laser Sintering (технология аддитивного производства, основанная на послойном спекании порошковых материалов (полиамиды, пластик) с помощью луча лазера);
STEP	– акроним от англ. STandard for Exchange of Product model data (стандарт обмена данными модели изделия);
TQM	– Total Quality Management (всеобщее управление качеством);
UML	– Unified Modeling Language (унифицированный язык моделирования);

ABC	– Activity Based Costing (функционально-стоимостной анализ);
АСУ ТП	– Автоматизированные системы управления технологическими процессами;
АСУП	– Автоматизированные системы управления производством;
ВТО	– Всемирная торговая организация;
ГПС	– Гибкая производственная система;
КСМК	– Компьютерная система менеджмента качества;
САПР	– Система автоматизированного проектирования;
СМК	– Система менеджмента качества;
ФСА	– Функционально-стоимостный анализ;
ЧПУ	– Числовое программное управление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лютов, А.Г., Загидуллин, Р.Р., Схиртладзе, А.Г., Огородов, В.А., Рябов, Ю.В., Чугунова, О.И. Компьютерные системы управления качеством для автоматизированных производств: учебник. – М.: Машиностроение, 2010. – 717 с.
2. Андреев, Г.И. Основы управления предприятием: Современные тенденции и управления / Г.И. Андреев, В.А. Тихомиров // М.: Финансы и статистика, 2005. – 400 с.
3. Митрофанов, В.Г., Соломенцев, Ю.М., Шептунов, С.А. Разработка модели интегрированного управления производством на базе CALS-технологии // Проблемы CALS-технологий. Сб. научн. тр. -М. Изд: «Янус-к», 1998. – С.13–22.
4. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков - М.: Наука, 2003. – 292 с.
5. Kalpakjian, Serope; Schmid, Steven (2006), Manufacturing engineering and technology (5th ed.), Prentice Hall, 2006. – P. 1192.
6. Rehg, James A. Computer-Integrated Manufacturing / James A. Rehg, Henry W. Kraebber. New Jersey: Prentice Hall, 2004. – 592 p.
7. Громаков, Е.И. Проектирование систем управления для гибких автоматизированных производств [Электронный ресурс]: учебное пособие / Е.И. Громаков, А.Г. Каранкевич; Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 1.9 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m100.pdf>.
8. Технологические основы гибких производственных систем [Текст]: учеб. для машиностроит. спец. вузов / В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. - 2-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2000. – 255 с.: ил.
9. Мусаев, А. А. Интеграция автоматизированных систем управления крупных промышленных предприятий: принципы, проблемы, решения / А.А. Мусаев, Ю.М. Шерстюк // Автоматизация в промышленности. – М.: 2003.– №10. – С. 40–45.

10. Основы автоматизации машиностроительного производства [Текст]: учеб. для машиностроит. спец. вузов / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под ред. Ю.М. Соломенцева. - 2-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 1999. – 312 с.
11. Современные процессы модернизации экономики зарубежных стран: [монография] / Ин-т мировой экономики и междунар. отношений РАН; Отв.ред. В.Б. Кондратьев. – М.: ИМЭМО РАН, 2012. – 364 с.
12. Кулябов, Д.С., Королькова, А.В. Введение в формальные методы описания бизнес-процессов: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 202 с.: ил.
13. Основы технологий информационной поддержки изделий машиностроения: учеб. пособие / В. В. Морозов [и др.]; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 252 с.
14. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартиформ, 2015. – 29 с.
15. Кане, М.М., Иванов, Б.В., Корешков, В.Н., Схиртладзе, А.Г. Системы, методы и инструменты менеджмента качества: Учебное пособие. – СПб: Питер, 2008. – 560 с.: ил. – (Серия «Учебное пособие»).
16. Соломенцев, Ю.М., Загидуллин, Р.Б., Фролов, Е.Б. Планирование в современных системах управления производством // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2010. № 4. – С.77–87.
17. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, А.В. Рыбаков – М.: Наука, 2003. – 292 с.
18. Схиртладзе, А.Г. Проектирование единого информационного пространства виртуальных предприятий: Учебник / А.Г. Схиртладзе, А.В. Скворцов, Д.А. Чмырь. – М.: Абрис, 2012. – 615 с.: ил.
19. Компьютерные системы управления качеством для автоматизированных производств: учебник / А.Г. Лютов, Р.Р. Загидуллин, А.Г. Схиртладзе, В.А. Огородов, Ю.В. Рябов, О.И. Чугунова. – М.: Машиностроение, 2010. – 717 с.

20. 10 biggest recalls of the century // «Automotive News», 10/28/2013, Vol. 88, Issue 6592, p. 18.
21. Румянцева, Е.Л., Слюсарь, В.В. Информационные технологии: учебное пособие / Под ред. Л.Г. Гагариной. - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. – 256 с.
22. ГОСТ Р 52611-2006 Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Средства информационной поддержки жизненного цикла продукции. Безопасность информации. Основные положения и общие требования [Текст]: стандарт. – Введ. с 2007.07.01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 6 с.
23. Гудков, Д. Информационная поддержка изделия на всех этапах жизненного цикла (CALS «Continuous Acquisition And Life-Cycle Support») [Электронный ресурс] / Д. Гудков // Режим доступа: http://www.espotec.ru/art_info.htm (дата обращения: 06.12.11).
24. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем [Текст]: стандарт. – Введ. 2007-01-01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 53 с.
25. ГОСТ РВ 15.004-2004. Система разработки и постановки продукции на производство. Военная техника. Стадии жизненного цикла изделий и материалов [Текст]: стандарт. – Введ. 01.01.2006. – М.: Стандартинформ, 2005. – 23 с.
26. Р 50.1.031-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции [Текст]: Рекомендации по стандартизации. – Введ. 01.07.2002. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 27 с.
27. Р 50-605-80 93. Система разработки и постановки на производство (СРПП). Термины и определения. [Текст]: Рекомендации по стандартизации. – Введ. 09.07.1993. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1994. – 45 с.
28. Пономарев, С.В., Мищенко, С.В., Белобрагин, В.Я. Управление качеством продукции. Введение в системы менеджмента качества: Учебное пособие. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. – 248 с.
29. Костогрызлов, А.И., Степанов, П.В. Инновационное управление качеством и рисками в жизненном цикле систем – М.: ВПК, 2008. – 404 с.

30. Соколов, А. Использование CALS-технологий при создании систем качества по МС ИСО серии 9000 // Стандарты и качество, №5, 2002.
31. Барабанов, В.В., Ковалева, Е.Н., Свирин, В.И., Судов, Е.В. Применение CALS-технологий для создания средств информационной поддержки процессов обеспечения качества продукции // Проблемы продвижения продукции и технологий на внешний рынок. – 1997. – С. 38–40.
32. Deming, W. E. Quality, productivity, and competitive position. -Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, 1982. -373 p.
33. Davenport T. H. Process innovation: reengineering work through information technology. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1993. -337 p.
34. Davenport T. H., Short J. E. The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign. // Sloan Management Review, 1990, P. 11-27.
35. Ericsson Quality Institute. Business Process Management. Gothenburg: Ericsson, 1993. - 153p.
36. Авондо-Бодино Дж. Применение в экономике теории графов. Пер. с англ. 1966. 160 с.
37. Александров С. Л. Процессы организаций при выполнении требований ГОСТ Р ИСО 9001 // Методы менеджмента качества. 2009. - № 1. - С. 340.
38. Александров С. Л. Процессы, необходимые для СМК: критика выделения в целях сертификации // Методы менеджмента качества. 2010. -№ 1 .- С. 4-9.
39. Акофф Р. О менеджменте: пер. с англ./ Р. Акофф; под ред. Л.А. Волковой. СПб.: Питер, 2008. - 448 с.
40. Андерсен Б. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования: пер. с англ. С. В. Ариничева / Науч. Ред. Ю. П. Адлер. М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. - 272 с.
41. Панфилова, Ольга Степановна. Процессный подход к развитию системы менеджмента качества организации на базе информационных технологий : авто-

- реферат дис. кандидата экономических наук : 08.00.05 / Панфилова Ольга Степановна; [Место защиты: Морд. гос. ун-т им. Н.П. Огарева]. - Саранск, 2012. - 19 с.
42. Елистратова, Ирина Борисовна. Применение теории графов для совершенствования метрологического обеспечения производства с учётом стандартов серии ИСО 9000 : автореферат дис. кандидата технических наук : 05.11.15 / Елистратова Ирина Борисовна; [Место защиты: Сиб. гос. геодез. акад.]. - Новосибирск, 2011. - 18 с.
43. Хохлова, Елена Борисовна. Управление организацией на основе построения системы менеджмента качества : на примере полиграфической деятельности : автореферат дис. кандидата экономических наук : 08.00.05 / Хохлова Елена Борисовна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т печати им. Ивана Федорова]. - Москва, 2011. - 25 с.
44. Марцынковский, Дмитрий Александрович. Разработка методов интеграции систем менеджмента на основе стандартов ISO, принципов управления качеством и рисками : диссертация кандидата экономических наук : 08.00.05 / Марцынковский Дмитрий Александрович; [Место защиты: Иркут. гос. техн. ун-т]. - Иркутск, 2010. - 216 с. : ил.
45. Огрызков, Станислав Анатольевич. Исследование и разработка интегрированной системы управления (ИСУ) производства листового стекла : диссертация кандидата технических наук : 05.13.01. - Владимир, 2007. - 153 с. : ил.
46. Баранов А. С. Развитие системы менеджмента качества промышленного предприятия: автореф. дис. канд. экон. наук.: 08.00.05 -Саратов, Саратовской государственной социально-экономическом университет 2008.-20с.
47. Бабинцев В. Проектирование и контроллинг бизнес-процессов Электронный ресурс.: статья /В.Бабинцев; Режим доступа: <http://pcweek.ru> -Загл. с экрана.
48. Беккер Й. Менеджмент процессов: пер. с нем./ Под ред. Й. Беккера, Я Вилкова, В. Таратухина, М. Кугелера, М. Роземанна. М. : Эксмо, 2007 - 384 с.

49. Бережливое производство + 6 сигм: Комбинируя качество шесть сигм со скоростью бережливого производства: пер. с англ. / М.Л Джордж. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. - 360 с.
50. Бережливое производство: синергетический подход к сокращению потерь: пер. с англ. / У. Левинсон, Р. Рерик. М.: РИА «Стандарты и качество», 2007. - 272 с.
51. Джордж С. Всеобщее управление качеством: стратегии и технологии, применяемые сегодня в самых «успешных компаниях. (TQM). / С. Джордж.
52. Зайцев В. А. К вопросу оценки результативности СМК / В. А. Зайцев, Т. С. Баллуева, В. Ю. Волынский, Г. А. Цветков // Проблемы экономики, финансов и управления производством: сбор. науч. тр. России. 2009. -Вып.25. - С.176 - 179.
53. Зворыкин Н. М. Реализация процессного подхода на промышленном предприятии // Методы менеджмента качества. 2004. - № 1. - С. 350.
54. Злобин В. П. Цели и преимущества процессно-ориентированной СМК // Методы менеджмента качества. 2009. - № 1. - С. 9 - 16.
55. Зиндер Е. 3. Новое системное проектирование: информационные технологии и бизнес-реинжиниринг / Е. 3. Зиндер // Системы управления базами данных. 1996- №1- С.55-67.
56. Ивлев В.А. Процессная организация деятельности: методы и средства / В. А. Ивлев, Т. В. Попова // Консалтинговая компания «ВИП Анатех». Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.iteam.ru/publications/quality/section57/article750/> (15.08.10).
57. Индивидуальная сбалансированная система показателей. Путь к личному счастью, гармоничному развитию и эффективности организации: пер. с англ. / К. Рамперсад Хьюберт. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. 176 с.
58. Качалов В.А. Какие процессы «необходимы для СМК» // Методы менеджмента качества. -2010. -№ 1. С. 34 -35.
59. Калашян А. Н. Структурные модели бизнеса: DFD технологии / А. Н. Калашян, Г.Н. Калянов; под ред. Г.Н. Калянов. - М.: Прик. Информ. Технологии, 2003 - 256 с.

60. Кайдзен: ключ к успеху японских компаний: пер. с англ. / Масааки Имаи М.: «Альпина Бизнес Букс». - 2005. -274 с.
61. Качалов В. А. Что такое «постоянное повышение результативности СМК» / В.А. Качалов // Методы менеджмента качества. 2007. - №1. - С. 17-19.
62. Ковалев А.И. Измерение деятельности в системах менеджмента качества // Методы менеджмента качества. 2009. - № 1. - С. 16-21.
63. Ковалев А.И. Составные и динамические процессы менеджмента // Стандарты и качество. -2010. - № 2. С. 72-73.
64. Кондратьев, В.В. Показываем бизнес процессы (на спирали) /В.В.Кондратьев, М.Н.Кузнецов. - М.: Эксмо, 2008. - 480 с.
65. Кондриков В.А. Результативность и эффективность СМК предприятия / В. А. Кондриков, И. В. Плотникова // Методы менеджмента качества. 2006. -№10. С.27 - 31.
66. Копнов В. Измеряем эффективность СМК // Стандарты и качество. -2008.- №3. с. 69-73.
67. Колочева В. В. Оценка результативности интегрированной системы менеджмента / В.В. Колочева // Стандарты и качество. 2008. - №8. - С. 95.
68. Костяков С. Стратегия информационной поддержки систем качества Электронный ресурс.: статья / С.Костяков; Режим доступа: <http://www.hr-portal.ru> Загл. с экрана
69. Краснова В. М. Техника подхода к разработке системы менеджмента качества по требованиям стандарта ИСО 9001:2000Электронный ресурс. / В.М. Краснова// Режим доступа: <http://www.jmk.kz/publication/6/54> Загл. с экрана
70. Криницкий Н. А. Автоматизированные информационные системы / Н. А. Криницкий, Г. А. Миронов, Г. Д. Фролов. М.: Наука, 1982. - 374 с.
71. Ксенчук Е.В. Процессный подход в управлении / Е. В Ксенчук. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://quality.eup.ru/DOCUM2/presentofkas.html>. (14.09.10).
72. Кулаков С. СМК в Мордовии: проблемы и перспективы // Стандарты и качество. -2010. -№3.-С. 12-13.

73. Кутелев П.В. Организационный менеджмент. Технология реинжиниринга бизнеса / Ростов-на-Дону: Феникс, 2003г.- 430 с.
74. Кембелл Э. Стратегический синергизм / Э.Кембелл, К.С. Ланч.-2-е изд., СПб.,: Питер, 2004. - 414 с.
75. Кулопулос Томас М. Необходимость Workflow. Решения для реального бизнеса: пер. с англ./ Томас М. Кулопулос. М.: Весть-Метатехнология , 2000. 384с.
76. Лапшин В.С. Управление процессами: учебное пособие / В.С.Лапшин.- Саранск: тип. «Крас.Окт.», 2006. - 208 с.
77. Маклаков С.В. BPwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. - 304 с.
78. Маслова Н. П. Развитие современных подходов к исследованию «качества организации»: статистический аспект / Н. П. Маслова, К. Ф. Механцева Экономика Статистика Информатика ,2010 -№5 С. 104 -110
79. Маянский В. Д. Оценка результативности СМК промышленных предприятий // Методы менеджмента качества. 2009. - № 4. - С. 25 - 30.
80. Методология функционального моделирования IDEFO. Руководящий документ. Введ. 2000- 06- 18. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. - 85с.
81. Методика «Разработка СМК»: Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.businessstudio.ru/procedures/iso/developsmk/>. - Загл. с экрана.
82. Менеджмент процессов: пер с нем. / Й. Бейкер, J1. Вилков, В. Таратухин и др. М. : Эксмо, 2007. - 384 с.
83. Меняев М.Ф. Информационные технологии управления: учеб. пособие в 3 кн. Кн.3. Системы управления организацией / М. Ф. Меняев М.: Омега-Л, 2003. - 464с.
84. Моделирование бизнес-процессов: пер. с англ. / А.-В. Шеер; под ред. Каменнова М.С. 2-е изд. -М.: Весть-МетаТехнология, 2000. - 172 с.
85. Окулесский В. А. Функциональное моделирование -методологическая основа реализации процессного подхода. М.: Наука, 2001. -С. 353.
86. Новиков М. В. Моделирование бизнес-процессов управления Электронный ресурс. статья / М.В. Новиков; Режим доступа: <http://www.intalev.ru> Загл. с экрана.

87. Никитин В. А. Оценивание результативности и эффективности корректирующих и предупреждающих действий / В. А. Никитин // Методы менеджмента качества. 2003. - № 7. - С. 49 - 52.
88. Ойхман Е. Г. Реинжининг бизнеса: реинжининг организаций и информационные технологии / Е. Г. Ойхман, Э.М. Попов. М.: Финансы и статистика, 1997. - 333 с.
89. Оптимизация бизнес-процессов. Документирование, анализ управление, оптимизация: пер. с англ. / Дж. Харрингтон, К.С. Эсселинг Харм, В. Нимвеген. СПб.: «Азбука», 2002. - 305 с.
90. Панфилова О. С. Алгоритмы мониторинга системы качества организации / О. С. Панфилова, Ю. В. Сажин // Научное издание «Вестник Самарского государственного экономического университета». Самара, 2010. — № 3(65). - С. 79-84.; Р. 36-39.
91. Панфилова О. С. Анализ взаимодействия процессов системы менеджмента качества организации / О. С. Панфилова // Научно-практический и аналитический журнал «Региональная экономика: теория и практика». Москва, 2011, - №8 (191). - С. 48-52.
92. Панфилова О. С. Анализ эффективности использования ресурсов в процессах системы менеджмента качества / О. С. Панфилова // Научно-технический журнал «Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии». Астрахань, 2011. - №1 (13). - С.90-96.
93. Панфилова О.С. Информационная поддержка управления бизнес-процессами / «Регионология». Саранск, 2011 №2 С. 64-69.
94. Панфилова О.С. Пакет программ для информационной поддержки бизнес-процессов организации / О. С. Панфилова, В. М. Каликанов, С. А. Панфилов, Ю. А. Фомин // «Ползуновский вестник». Барнаул, 2011. -№3/1 С.218-220.
95. Планирование будущего корпорации: пер. с англ. / Р. Акофф. М.: «Прогресс», 1985. -325 с.

96. Планирование и контроль: концепция контролинга: пер с нем ./ Д. Хан; под ред. А. А. Тургака, Л. Г. Половага, М. Л. Лукашевича М.: Финансы и статистика, 1997. - 800 с.
97. Портер М. И. Как информация повышает вашу конкурентоспособность / М. Портер, В. И. Миллар. ("How Information Gives You Competitive Advantage", Michael E. Porter and Victor E. Millar,). // Harvard Business Review, 1985, С. 149 160.
98. Производственный и операционный менеджмент: пер. с англ./ Р. Чейз, Н. Эквилайн, Р. Якобе; 8-е издание - М.: Издательский дом «Вильяме», 2001. -704с.
99. Прикладная общая теория систем: пер. с англ./ Дж. Ван Гиг, М.: Мир, 1981. - 733 с.
100. Пинаев Д. А. Busines Studio: обеспечение эффективной командной работы при разработке СМК // Методы менеджмента качества. 2008. - №11,- С. 32-35.
101. Р 50-601-46-2004. Методика менеджмента процессов в системе качества. Рекомендации. М.: ВНИИС Госстандарта России, 2004. - 37 с.
102. Разработка сбалансированной системы показателей. Практическое руководство с примерами. / под ред. А.М. Гершуна, Ю. С. Нефедьевой. М.: ЗАО «Олимп Бизнес», 2007. - 128 с.
103. Разу М.Л. Управление проектом. Основы проектного управления: учебник / кол. автор.; под ред. М. Л. Разу. М.: КНОРУС, 2006. - 768 с.
104. Рахлин К. М. Оценивание результативности системы менеджмента качества / К. М. Рахлин. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://quality.eur.ru/DOCUM4/valuesmk.htm>. (09.04.10)
105. Революция на фабрике процессов /инф. Л. А. Анисимова. // Методы менеджмента качества. 2004. -№7.- С. 60-61.
106. Репин В. В. Процессный подход к управлению: Моделирование Бизнес-процессов / В.В. Репин, В.Г. Елиферов. М.: РИА «Стандарты и качество», 2004. - 240с.
107. Репин В. В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация. / В. В. Елиферов. М. : РИА «Стандарты и качество», 2007. - 240с.

108. Робсон М. Реинжинг бизнес-процессов / М. Робсон, Ф. Уллах.- М.: ЮНИТИ, «2003, 280 с.
109. Рубцов С.В. Уточнение понятия «бизнес-процессов» / С.В. Рубцов. // Менеджмент в России и за рубежом, 2001. -№6. - С.26 - 33.
110. Рубцов С.В. Исследование операций. Что такое современный научный менеджмент / С.В. Рубцов. // Бизнес, организации, стратегии, системы,- 2000. №11 - С.29 - 34.
111. Руководство по компетенциям: пер. с англ./ С. Уиддет, С. Холлифорд.- М.: ИПРО, 2008. 240 с.
112. Салимова Т. А. Управление качеством: учеб. / Т. А. Салимова. М.: Омега-Л, 2007. - 401с.
113. Самогородская М.И. Оценка результативности и эффективности функционирования процессов системы менеджмента качества на предприятии / М. И. Самогородская / Организатор производства. 2009. - №1. - С. 59 - 63.
114. Сажин Ю. В., Басова В. А. Егорова Г. В. Статистические методы анализа и контроля качества продукции / Ю. В. Сажин, В. А. Басова, Г. В. Егорова // Тольятинский государственный институт сервиса, 2003. 246 с.
115. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию: пер. с англ. / Р. Каплан, Д. Нортон. 2-е изд., испр. и доп./ М.: ЗАО «Олимп Бизнес», 2008. -320 с.
116. Сухов С.В. Методология управления промышленным предприятием: теоретический и организационно экономические аспекты / С. В. Сухов, С. М. Смолякова, В. Д. Сухов // Монография - Ярославль: МУБиНТ, 2002. - 156 с.
117. Система управления проектами и ERP система в корпорации (электронный ресурс). - Режим доступа: <http://www.projectmanagement.ru> -Загл. с экрана
118. Стратегические карты. Трансформация нематериальных активов в материальные результаты пер. с англ./ Р. Каплан, Д. Нортон. М.: ЗАО «Олимп Бизнес», 2007. - 512с.

119. Терещенко Н. В. Модель комплексной оценки результативности СМК / Н В. Терещенко, Н С. Яшин // Методы менеджмента качества 2006. - №4. - С. 12 - 17
120. Титова В. А. Оценка результативности интегрированной системы менеджмента / В. А. Титова, В. В. Колочева // Методы менеджмента качества. -2009.- №3. - С. 20-25.
121. Управление знаниями: пер. с англ. М.: «Альпина Бизнес Букс», 2006. - 208 с.
122. Управление знаниями что это такое: пер.с англ. / Т. Кулопулос, К.Фраппаоло. -М.: ЗАО «Документум Сервисиз», 2001 - 120 с.
123. Управление изменениями: пер с англ. / М. Грин, Э. Камерон М.: Добрая книга, 2006 - 360 с.
124. Учись видеть бизнес-процессы. Практика построения карт потоков создания ценности: пер. с англ./ Майк Ротер, Джон Шук М.: Альпина Бизнес Букс: CBSD, Центр развития деловых навыков, 2005 - 144 с.
125. Фролов Е. Б. «Прозрачность производства»: зачем она нужна, и как ее обеспечить средствами ERP и MES систем? / Е. Б Фролов, В.В. Крюков, Д.В. Тимофеев // Главный механик 2010. - №8;9. - С. 18-26.
126. Хаммер М. Реинжиниринг корпорации: Манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, пер. с англ. М. Хаммер, Дж. Чампи. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2000. – 332 с.
127. Харрингтон Дж. Оптимизация бизнес-процессов: документирование, анализ, управление, оптимизация / Дж. Харингтон, К.С. Эсселинг, Х. Ван Нимвеген. СПб.: «Азбука» «Б Микро», 2002.-328 с.
128. ISO 10005:2005. «Quality management systems ~ Guidelines for quality plans»;
129. Ogryzkov S. A. Research and Development of Integrated Management System of an Enterprise. / Informatics, Mathematical Modeling and Design in Technics, Controlling and Education (IMMD 2004): Proceedings of International Scientific Conference. Vladimir: Vladimir State University, 2004. - 240 p., il. - pp. 60-62.
130. ARIS Help. IDS Scheer AG, 2001.

131. Хлебников Д. Матричная модель предприятия / Хлебников Д., Яцына А., Са-
вушкин Л. [http:// www.executive.ru](http://www.executive.ru) Загл. с экрана.
132. Черемных С.В. Моделирование и анализ систем. IDEF0- технологии: практи-
кум / С.В. Черемных, И.О. Семенов, В.С. Ручкин М.: Финансы и статистика,
2006. - 192 с.
133. Черемных О.С. Стратегический корпоративный реинжиниринг: процессо-
стоимостной подход к управлению бизнесом / О.С. Черемных, С.В. Черемных
М.: Финансы и статистика, 2005. - 736 с.
134. Черемных С. В. Структурный анализ систем: IDEF-технологии: Производ-
ственное изд. / С. В. Черемных, И. О. Семенов, В.С. Ручкин. М.: Финансы и
статистика, 2001. - 207 с.
135. Швец В. Е. К вопросу определения результативности и эффективности СМК /
В.Е. Швец // Методы менеджмента качества. 2004. -№6. - С.4 - 8.
136. Шеер А. В. Моделирование бизнес-процессов: Пер. с англ. М.: Весть-Мета
Технология, 2000. - 205 с.
137. Юрченко А. И. Мониторинг и измерение процессов СМК / А. И. Юрченко, Н.
И. Горошко // Методы менеджмента качества. 2006. - №10. - С. 20-24.
138. NB 240-2004, Guidelines for managing risk in outsourcing utilizing the AS/NZS
4360:2004 process, Standards Australia / Standards New Zealand;
139. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных
производственных объектов». Утверждены постановлением Госгортехнадзора
РФ от 10.07.2001 г., N 30.
140. NB 221-2204, Business continuity management, Standards Australia / Standards
New Zealand;
141. OHSAS 18001, OSHA and BS8800 Health and Safety Information. -OSHA-
BS8800-OHSAS-18001-Health-and-Safety.com, 2002.
142. The Health and Safety & OHSAS Guide. OHSAS 18001 Occupational Health and
Safety Zone, 2002.
143. The (Degree, Diameter) Problem for Graphs. / World Combinatorics Exchange.
South Carolina: Clemson University, 2006. - 3 p.

144. Dijkstra E. W. Graphs of Modest Diameter and Degrees. / Dijkstra Archive, #1003. Austin: University of Texas, 1987. - 5 p., il.
145. OHSAS 18001:1999. General Requirements for Occupational Health and Safety Management in Organization. London: BSI, 1999.
146. Makarov R. I., Khorosheva E. R., S. A. Ogryzkov, et al. Quality Management System of the Batch Preparation Division. / Glass and Ceramics, Vol. 63, Nos. 5-6. New York: Springer, 2006. - 72 p., il. - Pp. 139.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.
Патент на полезную модель

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 126858

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ СИСТЕМЫ
КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСТРУКЦИОННО
СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Патентообладатель(ли): *Овчинников Павел Евгеньевич (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012126481

Приоритет полезной модели **26 июня 2012 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации **10 апреля 2013 г.**

Срок действия патента истекает **26 июня 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU (11)126858

(13)U1



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК

G06F19/00 (2011.01)

(12) ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

Статус: по данным на 17.04.2013 - действует
Пошлина: учтена за 1 год с 26.06.2012 по 26.06.2013

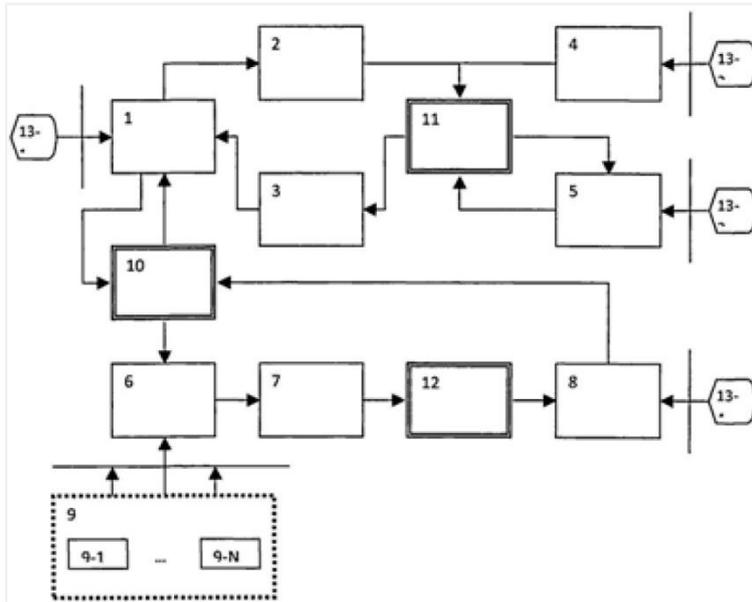
- (21), (22) Заявка: **2012126481/08, 26.06.2012**
- (24) Дата начала отсчета срока действия патента: **26.06.2012**
- Приоритет(ы):
- (22) Дата подачи заявки: **26.06.2012**
- (45) Опубликовано: [10.04.2013](#)
- Адрес для переписки:
129226, Москва, пр-кт Мира, 171, кв.19, Н.Ф. Давиденко
- (72) Автор(ы):
**Атякшев Александр Сергеевич (RU),
Бушуева Анна Николаевна (RU),
Голиков Григорий Александрович (RU),
Дубровин Антон Викторович (RU),
Овчинников Павел Евгеньевич (RU),
Позднеев Борис Михайлович (RU),
Решетов Михаил Евгеньевич (RU),
Рожнев Сергей Владимирович (RU)**
- (73) Патентообладатель(и):
Овчинников Павел Евгеньевич (RU)

(54) АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОНСТРУКЦИОННО СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Формула полезной модели

Автоматизированная система информационной поддержки системы качества при производстве конструкционно сложных изделий, содержащая автоматизированные рабочие места операторов с первого по четвертое и блок обработки данных, отличающаяся тем, что введены блок управления картами процессов, первый вход которого соединен с выходом первого автоматизированного рабочего места, блок формирования регламентов выполнения и контроля процессов, первый вход которого соединен с первым выходом блока управления картами процессов, блок формирования карт процессов на основании регламентов, выход которого соединен со вторым входом блока управления картами процессов, блок обработки нормативно-распорядительных документов, вход которого соединен с выходом второго автоматизированного рабочего места оператора, а выход - соединен со вторым входом блока формирования регламентов выполнения и контроля процессов, блок согласования и утверждения регламентов, первый вход которого соединен с выходом третьего автоматизированного рабочего места оператора, блок сбора данных с мест контроля процессов, блок оценки соответствия и регистрации, вход которого соединен с выходом блока сбора данных с мест контроля процессов, группа адаптеров мест контроля, выходы которых соединены с группой входов блока сбора данных с мест контроля процессов, база данных карт процессов, первый вход которой соединен со вторым выходом блока управления картами процессов, первый выход соединен с третьим входом блока управления картами процессов, второй выход соединен со входом блока сбора данных с мест контроля процессов, а второй вход соединен с выходом блока обработки данных, первый вход которого соединен с выходом четвертого автоматизированного рабочего места оператора, база данных нормативно-распорядительных документов, первый выход которой соединен со входом блока формирования карт процессов на основании регламентов, второй выход соединен со вторым входом блока согласования и утверждения регламентов, выход которого соединен с первым входом базы данных нормативно-

распорядительных документов, второй вход которой соединен с выходом блока обработки нормативно-распорядительных документов, и база данных записей качества, вход которой соединен с выходом блока оценки соответствия и регистрации, а выход соединен со вторым входом блока обработки данных.



ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013616176

**Лицензируемая отечественная компьютерная система
информационной поддержки системы качества при
производстве сложных изделий, характерных для
высокотехнологичных отраслей машиностроения**

Правообладатель: *Российская Федерация, от имени которой
выступает Министерство промышленности и торговли
Российской Федерации (RU)*

Авторы: *Позднеев Борис Михайлович (RU), Дубровин Антон
Викторович (RU), Овчинников Павел Евгеньевич (RU)*

Заявка № 2013613948

Дата поступления 07 мая 2013 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 27 июня 2013 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

ПРИЛОЖЕНИЕ В.

Свидетельство о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2013620919

**База данных нормативных документов по менеджменту
качества**

Правообладатель: *Российская Федерация, от имени которой
выступает Министерство промышленности и торговли
Российской Федерации (RU)*

Авторы: *Позднеев Борис Михайлович (RU), Дубровин Антон
Викторович (RU), Иванова Татьяна Васильевна (RU)*

Заявка № 2013620397

Дата поступления 25 апреля 2013 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 13 августа 2013 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



ПРИЛОЖЕНИЕ Г.

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

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

Указанный листинг представляет собой выгруженную средствами платформы «1С: Предприятие 8.2» информацию о полях и типах данных.

В приведенном фрагменте листинга выгружена информация об объектах и их атрибутах, касающихся:

1. Нормативных и справочных данных:
 - ‘Общероссийский классификатор продукции’;
 - ‘Проверяемые стандартами параметры’;
 - ‘Значения свойств стандартов’;
 - ‘Вид документа’;
 - ‘Стандарт’.
2. Данных обработки:
 - ‘Связи элементов схемы’;
 - ‘Шаблоны карт процессов’;
 - ‘Карты процессов’;
 - ‘Классификатор процессов’;
 - ‘Классификаторы процессов’;
 - ‘Подразделения’;
 - ‘Входящие материалы’.
3. Данных аудита:
 - ‘Проверяемые изделия’;
 - ‘Проверяемые параметры’;
 - ‘Вид сравнения’;
 - ‘Действия при несоответствиях’;
 - ‘причины несоответствий’;
 - ‘Назначение аудита’;
 - ‘Результат проведения аудита’.

4. Информации о процессах:

- ‘Ответственный’;
- ‘Вид процесса’;
- ‘Шаги процесса’;
- ‘Функция’;
- ‘Вход’;
- ‘Выход’;
- ‘Управление’;
- ‘Исполнитель’.

5. Информации об источниках данных:

- ‘Информационные базы’;
- ‘Хранилище дополнительной информации’.

6. Пользователей.

```

<xs:schema xmlns:ent="http://v8.1c.ru/8.1/data/enterprise"
xmlns:tns="http://v8.1c.ru/8.1/data/enterprise/current-config"
xmlns:v8="http://v8.1c.ru/8.1/data/core"
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" targetNames-
pace="http://v8.1c.ru/8.1/data/enterprise/current-config" at-
tributeFormDe-fault="unqualified" elementFormDefault="qualified">
  <xs:import namespace="http://v8.1c.ru/8.1/data/core"/>
  <xs:import namespace="http://v8.1c.ru/8.1/data/enterprise"/>
  <xs:complexType name="CatalogObject.ВнешниеОбработки">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IsFolder" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.ВнешниеОбработки"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Parent" type="tns:Cata-
logRef.ВнешниеОбработки"/>
      <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ХранилищеВнешнейОбработки"
type="v8:ValueStorage" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="ВидОбработки" type="tns:Enum-
Ref.ВидыДополнительныхВнешнихОбработок" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="КомментарийКФайлуИсточнику"
type="xs:string" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Принадлежность" type="tns:Catalog-
TabularSectionRow.ВнешниеОбработки.Принадлежность" minOccurs="0"
maxOccurs="99999"/>

```

```

        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:complexType name="CatalogObject.ДействияПриНесоответствиях">
        <xs:sequence>
            <xs:element name="IsFolder" type="xs:boolean"/>
            <xs:element name="Ref" type="tns:CatalogRef.ДействияПриНесоответствиях"/>
            <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
            <xs:element name="Parent" type="tns:CatalogRef.ДействияПриНесоответствиях"/>
            <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Ответственный" type="tns:CatalogRef.Пользователи"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:complexType name="CatalogObject.ДетализацияЗагруженныхДанных">
        <xs:sequence>
            <xs:element name="Ref" type="tns:CatalogRef.ДетализацияЗагруженныхДанных"/>
            <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
            <xs:element name="Owner" type="ent:AnyRef"/>
            <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Идентификатор" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Ответственный" type="tns:CatalogRef.Пользователи"/>
            <xs:element name="СтруктураДетализации" type="tns:CatalogTabularSectionRow.ДетализацияЗагруженныхДанных.СтруктураДетализации" minOccurs="0" maxOccurs="99999"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:complexType name="CatalogObject.ЗначенияСвойствСтандартов">
        <xs:sequence>
            <xs:element name="Ref" type="tns:CatalogRef.ЗначенияСвойствСтандартов"/>
            <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
            <xs:element name="Owner" type="ent:AnyRef"/>
            <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
            <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
            <xs:element name="СсылкаВоВнешнейИБ" type="tns:CatalogRef.СсылкиНаВнешниеОбъекты"/>
        </xs:sequence>
    </xs:complexType>
    <xs:complexType name="CatalogObject.ИнформационныеБазы">
        <xs:sequence>

```

```

        <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.ИнформационныеБазы"/>
        <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
        <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ИмяИБ" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ИмяСервера" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Пароль" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ПлатформалС" type="xs:boolean"/>
        <xs:element name="ВерсияПлатформы_8x" type="xs:bool-
ean"/>
        <xs:element name="Пользователь" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ПутьКИБ" type="xs:string"/>
        <xs:element name="СервернаяИБ" type="xs:boolean"/>
        <xs:element name="СтрокаПодключения"
type="xs:string"/>
        <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
        <xs:element name="ПараметрыРаботыСБазой"
type="tns:CatalogTabularSec-
tionRow.ИнформационныеБазы.ПараметрыРаботыСБазой" minOccurs="0" max-
Occurs="99999"/>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="CatalogOb-
ject.ИсточникиФактическихДанных">
    <xs:sequence>
        <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.ИсточникиФактическихДанных"/>
        <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
        <xs:element name="Owner" type="ent:AnyRef"/>
        <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ИмяРегистра" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ПланОбмена" type="v8:ValueStorage"/>
        <xs:element name="ПредставлениеРегистра"
type="xs:string"/>
        <xs:element name="ПроизвольныйЗапрос" type="xs:bool-
ean"/>
        <xs:element name="ТекстЗапроса" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ПараметрыВСтроках" type="xs:bool-
ean"/>
        <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
        <xs:element name="Параметры" type="tns:CatalogTabular-
SectionRow.ИсточникиФактическихДанных.Параметры" minOc-
curs="0" maxOccurs="99999"/>
        <xs:element name="Показатели" type="tns:CatalogTabu-
larSectionRow.ИсточникиФактическихДанных.Показатели" mi-
nOccurs="0" maxOccurs="99999"/>

```

```

    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:complexType name="CatalogObject.КартыПроцессов">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="IsFolder" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.КартыПроцессов"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Parent" type="tns:Cata-
logRef.КартыПроцессов"/>
      <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="ВидОперации" type="tns:Enum-
Ref.ВидыОперацийКонтролируемыхпроцессов" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="КонечнаяФункция" type="xs:boolean"
minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Описание" type="xs:string" minOc-
curs="0"/>
      <xs:element name="СсылкаВоВнешнейИБ" type="tns:Cata-
logRef.СсылкиНаВнешниеОбъекты" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="ХранилищеСхемы" type="v8:ValueStor-
age" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="ВидПроцесса" type="tns:Enum-
Ref.ВидыПроцессов" minOccurs="0"/>
      <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
      <xs:element name="ШагиПроцесса" type="tns:CatalogTabu-
larSectionRow.КартыПроцессов.ШагиПроцесса" minOccurs="0" max-
Occurs="99999"/>
      <xs:element name="СвязиЭлементовСхемы" type="tns:Cata-
logTabularSectionRow.КартыПроцессов.СвязиЭлементовСхемы" minOc-
curs="0" maxOccurs="99999"/>
      <xs:element name="НоменклатураНаВходеПроцесса"
type="tns:CatalogTabularSec-
tionRow.КартыПроцессов.НоменклатураНаВходеПроцесса" minOccurs="0"
maxOccurs="99999"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:complexType name="CatalogObject.КлассификаторПроцессов">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.КлассификаторПроцессов"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Parent" type="tns:Cata-
logRef.КлассификаторПроцессов"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:complexType name="CatalogOb-
ject.ОбщероссийскийКлассификаторПродукции">

```

```

    <xs:sequence>
      <xs:element name="IsFolder" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.ОбщероссийскийКлассификаторПродукции"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Parent" type="tns:Cata-
logRef.ОбщероссийскийКлассификаторПродукции"/>
      <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="КонтрольноеЧисло" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:complexType name="CatalogObject.ОписанияПолей">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.ОписанияПолей"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:complexType name="CatalogObject.Организации">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.Организации"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="СсылкаНаВнешнийОбъект"
type="tns:CatalogRef.СсылкиНаВнешниеОбъекты"/>
      <xs:element name="ИНН" type="xs:string"/>
      <xs:element name="КПП" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
    </xs:sequence>
  </xs:complexType>
  <xs:complexType name="CatalogObject.Подразделения">
    <xs:sequence>
      <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.Подразделения"/>
      <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
      <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
      <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
      <xs:element name="СсылкаВоВнешнейИБ" type="tns:Cata-
logRef.СсылкиНаВнешниеОбъекты"/>

```

```

        <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Ответственный" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="CatalogObject.Пользователи">
    <xs:sequence>
        <xs:element name="Ref" type="tns:Cata-
logRef.Пользователи"/>
        <xs:element name="DeletionMark" type="xs:boolean"/>
        <xs:element name="Code" type="xs:string"/>
        <xs:element name="Description" type="xs:string"/>
        <xs:element name="ФизЛицо" type="tns:Cata-
logRef.ФизическиеЛица"/>
        <xs:element name="ИдентификаторПользователяИБ"
type="v8:UUID"/>
        <xs:element name="Комментарий" type="xs:string"/>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
<xs:complexType name="InformationRegisterRecord-
Set.ФактическиеДанные">
    <xs:sequence>
        <xs:element name="Filter" type="ent:Filter"/>
        <xs:element name="Record" type="tns:InformationRegis-
terRecord.ФактическиеДанные" minOccurs="0" maxOc-
curs="999999999"/>
    </xs:sequence>
</xs:complexType>
</xs:schema>

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д.

Результаты оптимизации процесса по симплекс-методу
с промежуточными опорными планами на каждой итерации

Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$\frac{05}{10} \cdot x_1 + \frac{05}{10} \cdot x_2 + \frac{08}{10} \cdot x_3 \rightarrow \max$$

$$4 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 \leq 20$$

$$4 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 \leq 30$$

$$4 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 \leq 40$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$\frac{05}{10} \cdot x_1 + \frac{05}{10} \cdot x_2 + \frac{08}{10} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \rightarrow \max$$

$$4 \cdot x_1 + 4 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 20$$

$$4 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 30$$

$$4 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 4 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 = 40$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

4	4	4	1	0	0
4	5	4	0	1	0
4	6	4	0	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

20
30
40

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция, умноженная на -1 :

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	20	4	4	4	1	0	0
x_5	30	4	5	4	0	1	0
x_6	40	4	6	4	0	0	1
	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{4}{5}$	0	0	0

Базисные векторы x_4, x_5, x_6 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5, x_6 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	20	4	4	4	1	0	0
x_5	30	4	5	4	0	1	0
x_6	40	4	6	4	0	0	1
	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{4}{5}$	0	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 20 \quad 30 \quad 40$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{05}{10} \cdot 0 + \frac{05}{10} \cdot 0 + \frac{08}{10} \cdot 0 + 0 \cdot 20 + 0 \cdot 30 + 0 \cdot 40 = 0$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент $(-4/5)$, следовательно в базис входит вектор x_3 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,3})$, при $a_{i,3} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(20:4, 30:4, 40:4) = 5$ соответствует строке 1. Из базиса выходит вектор x_4 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_3 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 1. Обнулیم все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 2, 3, 4 со строкой 1, умноженной на $-1, -1, 1/5$, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	5	1	1	1	$\frac{1}{4}$	0	0
x_5	10	0	1	0	-1	1	0
x_6	20	0	2	0	-1	0	1
	4	$\frac{3}{10}$	$\frac{3}{10}$	0	$\frac{1}{5}$	0	0

Шаг 2

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 5 \quad 0 \quad 10 \quad 20$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{05}{10} \cdot 0 + \frac{05}{10} \cdot 0 + \frac{08}{10} \cdot 5 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 10 + 0 \cdot 20 = \frac{40}{10}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 5$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{05}{10} \cdot 0 + \frac{05}{10} \cdot 0 + \frac{08}{10} \cdot 5 = \frac{40}{10}$$

Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$0 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 \rightarrow \max$$

$$1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 \leq 2$$

$$1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 \leq 4$$

$$2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 \leq 3$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$0 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \rightarrow \max$$

$$1 \cdot x_1 + 1 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 2$$

$$1 \cdot x_1 + 2 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 4$$

$$2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 2 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 = 3$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

1	1	2	1	0	0
1	2	2	0	1	0
2	3	2	0	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

2
4
3

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция, умноженная на -1 :

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	2	1	1	2	1	0	0
x_5	4	1	2	2	0	1	0
x_6	3	2	3	2	0	0	1
	0	0	-1	-1	0	0	0

Базисные векторы x_4, x_5, x_6 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5, x_6 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	2	1	1	2	1	0	0
x_5	4	1	2	2	0	1	0
x_6	3	2	3	2	0	0	1
	0	0	-1	-1	0	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 2 \quad 4 \quad 3$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 3 = 0$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-1), следовательно в базис входит вектор x_2 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,2})$, при $a_{i,2} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(2:1, 4:2, 3:3)=1$ соответствует строке 3. Из базиса выходит вектор x_6 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_2 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 3. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 1, 2, 4 со строкой 3, умноженной на $-1/3, -2/3, 1/3$, соответственно. Далее делим строку 3 ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{4}{3}$	1	0	$-\frac{1}{3}$
x_5	2	$-\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	0	1	$-\frac{2}{3}$
x_2	1	$\frac{2}{3}$	1	$\frac{2}{3}$	0	0	$\frac{1}{3}$
	1	$\frac{2}{3}$	0	$-\frac{1}{3}$	0	0	$\frac{1}{3}$

Шаг 2

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 2 \quad 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 0 \cdot 0 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 2 + 0 \cdot 0 = 1$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент ($-1/3$), следовательно в базис входит вектор x_3 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,3})$, при $a_{i,3} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(1:4/3, 2:2/3, 1:2/3)=3/4$ соответствует строке 1. Из базиса выходит вектор x_4 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_3 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 1. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 2, 3, 4 со строкой 1, умноженной на $-1/2, -1/2, 1/4$, соответственно. Далее делим строку 3 ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$	0	1	$\frac{3}{4}$	0	$-\frac{1}{4}$
x_5	$\frac{3}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	$-\frac{1}{2}$	1	$-\frac{1}{2}$
x_2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$
	$\frac{5}{4}$	$\frac{3}{4}$	0	0	$\frac{1}{4}$	0	$\frac{1}{4}$

Шаг 3

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad \frac{1}{2} \quad \frac{3}{4} \quad 0 \quad \frac{3}{2} \quad 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F=0 \cdot 0 + 1 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{3}{4} + 0 \cdot 0 + 0 \cdot \frac{3}{2} + 0 \cdot 0 = \frac{5}{4}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1=0, \quad x_2=\frac{1}{2}, \quad x_3=\frac{3}{4}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F=0 \cdot 0 + 1 \cdot \frac{1}{2} + 1 \cdot \frac{3}{4} = \frac{5}{4}$$

Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$\frac{005}{100} \cdot x_1 + \frac{011}{100} \cdot x_2 + \frac{007}{100} \cdot x_3 \rightarrow \max$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 \leq 1110$$

$$0 \cdot x_1 + 554 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 \leq 1420$$

$$160 \cdot x_1 + 1200 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 \leq 3369$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$\frac{005}{100} \cdot x_1 + \frac{011}{100} \cdot x_2 + \frac{007}{100} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \rightarrow \max$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 1110$$

$$0 \cdot x_1 + 554 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 1420$$

$$160 \cdot x_1 + 1200 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 = 3369$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

0	0	200	1	0	0
0	554	200	0	1	0
160	1200	200	0	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

1110
1420
3369

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция, умноженная на -1 :

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1110	0	0	200	1	0	0
x_5	1420	0	554	200	0	1	0
x_6	3369	160	1200	200	0	0	1
	0	$-\frac{1}{20}$	$-\frac{11}{100}$	$-\frac{7}{100}$	0	0	0

Базисные векторы x_4, x_5, x_6 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5, x_6 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1110	0	0	200	1	0	0
x_5	1420	0	554	200	0	1	0
x_6	3369	160	1200	200	0	0	1
	0	$-\frac{1}{20}$	$-\frac{11}{100}$	$-\frac{7}{100}$	0	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1110 \quad 1420 \quad 3369$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005}{100} \cdot 0 + \frac{011}{100} \cdot 0 + \frac{007}{100} \cdot 0 + 0 \cdot 1110 + 0 \cdot 1420 + 0 \cdot 3369 = 0$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент $(-11/100)$, следовательно в базис входит вектор x_2 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,2})$, при $a_{i,2} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(1420:554, 3369:1200) = 710/277$ соответствует строке 2. Из базиса выходит вектор x_5 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_2 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 2. Обнулیم все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 3, 4 со строкой 2, умноженной на $-600/277, 11/55400$, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1110	0	0	200	1	0	0
x_2	$\frac{710}{277}$	0	1	$\frac{100}{277}$	0	$\frac{1}{554}$	0
x_6	$\frac{81213}{277}$	160	0	$-\frac{64600}{277}$	0	$-\frac{600}{277}$	1
	$\frac{781}{2770}$	$-\frac{1}{20}$	0	$-\frac{839}{27700}$	0	$\frac{11}{55400}$	0

Шаг 2

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad \frac{710}{277} \quad 0 \quad 1110 \quad 0 \quad \frac{81213}{277}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005}{100} \cdot 0 + \frac{011}{100} \cdot \frac{710}{277} + \frac{007}{100} \cdot 0 + 0 \cdot 1110 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot \frac{81213}{277} = \frac{7810}{27700}$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент $(-1/20)$, следовательно в базис входит вектор x_1 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,1})$, при $a_{i,1} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(81213/277:160) = 81213/44320$ соответствует строке 3. Из базиса выходит вектор x_6 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_1 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 3. Обнулیم все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строку 4 со строкой 3, умноженной на $1/3200$. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1110	0	0	200	1	0	0
x_2	$\frac{710}{277}$	0	1	$\frac{100}{277}$	0	$\frac{1}{554}$	0
x_1	$\frac{81213}{44320}$	1	0	$-\frac{1615}{1108}$	0	$-\frac{15}{1108}$	$\frac{1}{160}$
	$\frac{331133}{886400}$	0	0	$-\frac{11431}{110800}$	0	$-\frac{53}{110800}$	$\frac{1}{3200}$

Шаг 3

Запишем текущий опорный план:

$$X = \begin{matrix} 81213 & 710 & 0 & 1110 & 0 & 0 \\ 44320 & 277 & & & & \end{matrix}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005 \cdot 81213}{100 \cdot 44320} + \frac{011 \cdot 710}{100 \cdot 277} + \frac{007}{100} \cdot 0 + 0 \cdot 1110 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = \frac{331133}{886400}$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-11431/110800), следовательно в базис входит вектор x_3 . Определяем, какой вектор выходит из базиса.

Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,3})$, при $a_{i,3} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(1110:200, 710:277:100/277) = 111/20$

соответствует строке 1. Из базиса выходит вектор x_4 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_3 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 1. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 2, 3, 4 со строкой 1, умноженной на -1/554, 323/44320, 11431/22160000, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	$\frac{111}{20}$	0	0	1	$\frac{1}{200}$	0	0
x_2	$\frac{155}{277}$	0	1	0	$-\frac{1}{554}$	$\frac{1}{554}$	0
x_1	$\frac{439743}{44320}$	1	0	0	$\frac{323}{44320}$	$-\frac{15}{1108}$	$\frac{1}{160}$
	$\frac{4193347}{4432000}$	0	0	0	$\frac{11431}{22160000}$	$-\frac{53}{110800}$	$\frac{1}{3200}$

Шаг 4

Запишем текущий опорный план:

$$X = \begin{matrix} 439743 & 155 & 111 & 0 & 0 & 0 \\ 44320 & 277 & 20 & & & \end{matrix}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005 \cdot 439743}{100 \cdot 44320} + \frac{011 \cdot 155}{100 \cdot 277} + \frac{007 \cdot 111}{100 \cdot 20} + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = \frac{4193347}{4432000}$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-53/110800), следовательно в базис входит вектор x_5 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для

этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,5})$, при $a_{i,5} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(155:277:1/554) = 310$ соответствует строке 2. Из базиса выходит вектор x_2 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_5 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 2. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 3, 4 со строкой 2, умноженной на 15/2, 53/200, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_3	$\frac{111}{20}$	0	0	1	$\frac{1}{200}$	0	0
x_5	310	0	554	0	-1	1	0
x_1	$\frac{2259}{160}$	1	$\frac{15}{2}$	0	$-\frac{1}{160}$	0	$\frac{1}{160}$
	$\frac{17511}{16000}$	0	$\frac{53}{200}$	0	$\frac{3}{80000}$	0	$\frac{1}{3200}$

Шаг 5

Запишем текущий опорный план:

$$X = \frac{2259}{160} \quad 0 \quad \frac{111}{20} \quad 0 \quad 310 \quad 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005}{100} \cdot \frac{2259}{160} + \frac{011}{100} \cdot 0 + \frac{007}{100} \cdot \frac{111}{20} + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 310 + 0 \cdot 0 = \frac{17511}{16000}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1 = \frac{2259}{160}, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = \frac{111}{20}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005}{100} \cdot \frac{2259}{160} + \frac{011}{100} \cdot 0 + \frac{007}{100} \cdot \frac{111}{20} = \frac{17511}{16000}$$

Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$\frac{005}{100} \cdot x_1 + \frac{011}{100} \cdot x_2 + \frac{007}{100} \cdot x_3 \rightarrow \min$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 \leq 1110$$

$$0 \cdot x_1 + 554 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 \leq 1420$$

$$160 \cdot x_1 + 1200 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 \leq 3369$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$\frac{005}{100} \cdot x_1 + \frac{011}{100} \cdot x_2 + \frac{007}{100} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \rightarrow \min$$

$$0 \cdot x_1 + 0 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 1110$$

$$0 \cdot x_1 + 554 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 1420$$

$$160 \cdot x_1 + 1200 \cdot x_2 + 200 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 = 3369$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

0	0	200	1	0	0
0	554	200	0	1	0
160	1200	200	0	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

1110
1420
3369

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция.:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1110	0	0	200	1	0	0
x_5	1420	0	554	200	0	1	0
x_6	3369	160	1200	200	0	0	1
	0	$\frac{1}{20}$	$\frac{11}{100}$	$\frac{7}{100}$	0	0	0

Базисные векторы x_4, x_5, x_6 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5, x_6 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	1110	0	0	200	1	0	0
x_5	1420	0	554	200	0	1	0
x_6	3369	160	1200	200	0	0	1
	0	$\frac{1}{20}$	$\frac{11}{100}$	$\frac{7}{100}$	0	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$\bar{X} = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1110 \quad 1420 \quad 3369$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005}{100} \cdot 0 + \frac{011}{100} \cdot 0 + \frac{007}{100} \cdot 0 + 0 \cdot 1110 + 0 \cdot 1420 + 0 \cdot 3369 = 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{005}{100} \cdot 0 + \frac{011}{100} \cdot 0 + \frac{007}{100} \cdot 0 = 0$$



Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 \rightarrow \max$$

$$1200 \cdot x_1 + 2400 \cdot x_2 + 1200 \cdot x_3 \leq 6000$$

$$1200 \cdot x_1 + 2400 \cdot x_2 + 2400 \cdot x_3 \leq 8000$$

$$1200 \cdot x_1 + 4800 \cdot x_2 + 4800 \cdot x_3 \leq 16000$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$2 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + 1 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 \rightarrow \max$$

$$1200 \cdot x_1 + 2400 \cdot x_2 + 1200 \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 6000$$

$$1200 \cdot x_1 + 2400 \cdot x_2 + 2400 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 + 0 \cdot x_6 = 8000$$

$$1200 \cdot x_1 + 4800 \cdot x_2 + 4800 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 + 1 \cdot x_6 = 16000$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

1200	2400	1200	1	0	0
1200	2400	2400	0	1	0
1200	4800	4800	0	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

6000
8000
16000

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция, умноженная на -1 :

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	6000	1200	2400	1200	1	0	0
x_5	8000	1200	2400	2400	0	1	0
x_6	16000	1200	4800	4800	0	0	1
	0	-2	-3	-1	0	0	0

Базисные векторы x_4, x_5, x_6 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5, x_6 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_4	6000	1200	2400	1200	1	0	0
x_5	8000	1200	2400	2400	0	1	0
x_6	16000	1200	4800	4800	0	0	1
	0	-2	-3	-1	0	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 6000 \quad 8000 \quad 16000$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 6000 + 0 \cdot 8000 + 0 \cdot 16000 = 0$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-3), следовательно в базис входит вектор x_2 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,2})$, при $a_{i,2} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(6000:2400, 8000:2400, 16000:4800)=5/2$ соответствует строке 1. Из базиса выходит вектор x_4 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_2 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 1. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 2, 3, 4 со строкой 1, умноженной на -1, -2, 1/800, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_2	$\frac{5}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2400}$	0	0
x_5	2000	0	0	1200	-1	1	0
x_6	4000	-1200	0	2400	-2	0	1
	$\frac{15}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{800}$	0	0

Шаг 2

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad \frac{5}{2} \quad 0 \quad 0 \quad 2000 \quad 4000$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 2 \cdot 0 + 3 \cdot \frac{5}{2} + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 2000 + 0 \cdot 4000 = \frac{15}{2}$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 4 и столбцов $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-1/2), следовательно в базис входит вектор x_1 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0} / a_{i,1})$, при $a_{i,1} > 0, i=1, \dots, 3$. $\min(5/2:1/2)=5$ соответствует строке 1. Из базиса выходит вектор x_2 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_1 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 1. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 3, 4 со строкой 1, умноженной на 2400, 1, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	5	1	2	1	$\frac{1}{1200}$	0	0
x_5	2000	0	0	1200	-1	1	0
x_6	10000	0	2400	3600	-1	0	1
	10	0	1	1	$\frac{1}{600}$	0	0

Шаг 3

Запишем текущий опорный план:

$$X = 5 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 2000 \quad 10000$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 2 \cdot 5 + 3 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 2000 + 0 \cdot 10000 = 10$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1=5, x_2=0, x_3=0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F=2 \cdot 5 + 3 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 10$$



Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$\frac{1}{3}x_1 + \frac{1}{3}x_2 + \frac{1}{3}x_3 \rightarrow \max$$

$$3x_1 + 3x_2 + 4x_3 \leq 4$$

$$3x_1 + 2x_2 + 2x_3 \leq 4$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$\frac{1}{3}x_1 + \frac{1}{3}x_2 + \frac{1}{3}x_3 + 0x_4 + 0x_5 \rightarrow \max$$

$$3x_1 + 3x_2 + 4x_3 + 1x_4 + 0x_5 = 4$$

$$3x_1 + 2x_2 + 2x_3 + 0x_4 + 1x_5 = 4$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

3	3	4	1	0
3	2	2	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

4
4

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция, умноженная на -1 :

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_4	4	3	3	4	1	0
x_5	4	3	2	2	0	1
	0	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	0

Базисные векторы x_4, x_5 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_4	4	3	3	4	1	0
x_5	4	3	2	2	0	1
	0	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 4 \quad 4$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{1}{3} \cdot 0 + \frac{1}{3} \cdot 0 + \frac{1}{3} \cdot 0 + 0 \cdot 4 + 0 \cdot 4 = 0$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 3 и столбцов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент ($-1/3$), следовательно в базис входит вектор x_1 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого

вычисляем $\min(a_{i,0}/a_{i,1})$, при $a_{i,1} > 0, i=1, \dots, 2$. $\min(4:3, 4:3)=4/3$ соответствует строке 1. Из базиса выходит вектор x_4 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_1 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 1. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 2, 3 со строкой 1, умноженной на $-1, 1/9$, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1	$\frac{4}{3}$	1	1	$\frac{4}{3}$	$\frac{1}{3}$	0
x_5	0	0	-1	-2	-1	1
	$\frac{4}{9}$	0	0	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	0

Шаг 2

Запишем текущий опорный план:

$$X = \frac{4}{3} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{1}{3} \cdot \frac{4}{3} + \frac{1}{3} \cdot 0 + \frac{1}{3} \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = \frac{4}{9}$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1 = \frac{4}{3}, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = \frac{1}{3} \cdot \frac{4}{3} + \frac{1}{3} \cdot 0 + \frac{1}{3} \cdot 0 = \frac{4}{9}$$

Нахождение оптимального плана задачи линейного программирования симплекс методом:

$$0 \cdot x_1 + 15000 \cdot x_2 + 1000 \cdot x_3 \rightarrow \max$$

$$1 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + \frac{015}{100} \cdot x_3 \leq 2000$$

$$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + \frac{03}{10} \cdot x_3 \leq 3000$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Преобразуем неравенства в равенства добавлением неотрицательных переменных:

$$0 \cdot x_1 + 15000 \cdot x_2 + 1000 \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 \rightarrow \max$$

$$1 \cdot x_1 + 3 \cdot x_2 + \frac{015}{100} \cdot x_3 + 1 \cdot x_4 + 0 \cdot x_5 = 2000$$

$$2 \cdot x_1 + 5 \cdot x_2 + \frac{03}{10} \cdot x_3 + 0 \cdot x_4 + 1 \cdot x_5 = 3000$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0$$

Матрица коэффициентов $A = \|a_{ij}\|$ системы уравнений имеет вид:

1	3	$\frac{3}{20}$	1	0
2	5	$\frac{3}{10}$	0	1

Правая часть ограничений системы уравнений имеет вид:

2000
3000

Составляем симплексную таблицу. В столбец x_0 записывается правая часть ограничений. С правой стороны записывается матрица коэффициентов A . Последняя строка - это целевая функция, умноженная на -1 :

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_4	2000	1	3	$\frac{3}{20}$	1	0
x_5	3000	2	5	$\frac{3}{10}$	0	1
	0	0	-15000	-1000	0	0

Базисные векторы x_4, x_5 , следовательно, все элементы в столбцах x_4, x_5 , ниже горизонтальной линии должны быть нулевыми.

Симплекс таблица примет вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_4	2000	1	3	$\frac{3}{20}$	1	0
x_5	3000	2	5	$\frac{3}{10}$	0	1
	0	0	-15000	-1000	0	0

Шаг 1

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 0 \quad 2000 \quad 3000$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 0 \cdot 0 + 15000 \cdot 0 + 1000 \cdot 0 + 0 \cdot 2000 + 0 \cdot 3000 = 0$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 3 и столбцов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-15000), следовательно в базис входит вектор x_2 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0}/a_{i,2})$, при $a_{i,2} > 0, i=1, \dots, 2$. $\min(2000:3, 3000:5)=600$ соответствует строке 2. Из базиса выходит вектор x_5 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_2 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 2. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 1, 3 со строкой 2, умноженной на $-3/5, 3000$, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_4	200	$-\frac{1}{5}$	0	$-\frac{3}{100}$	1	$-\frac{3}{5}$
x_2	600	$\frac{2}{5}$	1	$\frac{3}{50}$	0	$\frac{1}{5}$
	9000000	6000	0	-100	0	3000

Шаг 2

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 600 \quad 0 \quad 200 \quad 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 0 \cdot 0 + 15000 \cdot 600 + 1000 \cdot 0 + 0 \cdot 200 + 0 \cdot 0 = 9000000$$

Данный опорный план не является оптимальным, так как в пересечении строки 3 и столбцов x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 есть отрицательные элементы. Самый большой по модулю отрицательный элемент (-100), следовательно в базис входит вектор x_3 . Определяем, какой вектор выходит из базиса. Для этого вычисляем $\min(a_{i,0}/a_{i,3})$, при $a_{i,3} > 0, i=1, \dots, 2$. $\min(600:3/50)=10000$ соответствует строке 2. Из базиса выходит вектор x_2 . Сделаем исключение Гаусса для столбца x_3 , учитывая, что ведущий элемент соответствует строке 2. Обнулим все элементы этого столбца, кроме ведущего элемента. Для этого сложим строки 1, 3 со строкой 2, умноженной на $1/2, 5000/3$, соответственно. Далее делим строку с ведущим элементом на ведущий элемент.

Симплекс таблица примет следующий вид:

Базис	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_4	500	0	$\frac{1}{2}$	0	1	$-\frac{1}{2}$
x_3	10000	$\frac{20}{3}$	$\frac{50}{3}$	1	0	$\frac{10}{3}$
	10000000	$\frac{20000}{3}$	$\frac{5000}{3}$	0	0	$\frac{10000}{3}$

Шаг 3

Запишем текущий опорный план:

$$X = 0 \quad 0 \quad 10000 \quad 500 \quad 0$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 0 \cdot 0 + 15000 \cdot 0 + 1000 \cdot 10000 + 0 \cdot 500 + 0 \cdot 0 = 10000000$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 10000$$

Значение целевой функции в данной точке:

$$F = 0 \cdot 0 + 15000 \cdot 0 + 1000 \cdot 10000 = 10000000$$