

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



На правах рукописи

Юрин Дмитрий Сергеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ РАБОЧЕЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ
ДОКУМЕНТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ**

2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация.
Организация производства

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
Денискина Антонина Робертовна
кандидат технических наук,
доцент

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА КОНСТРУКТОРСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ	14
1.1 Структура научно-технического обеспечения производства летальных аппаратов	14
1.2 Методология индивидуализации (кастомизации) машиностроительной продукции	17
1.3 Проблематика качества рабочей конструкторской документации в машиностроительном производстве	22
1.4 Методы контроля качества рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения.....	26
1.4.1 Нормоконтроль рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения.....	27
1.4.2 Метрологическая экспертиза и надзор рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения.....	28
1.4.3 Обеспечение технологичности изделия и технологический контроль конструкторской документации	30
1.4.4 Технический контроль конструкторской документации.....	32
1.4.5 Показатели качества конструкторской документации и процесса ее разработки	33
1.5 Проблемы и задачи обеспечения качества конструкторской документации авиационной техники	38
1.6 Выводы по первой главе	41
2 КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ	43

2.1	Анализ среды разработки конструкторской документации на предприятии.....	43
2.2	Анализ несоответствий в рабочей конструкторской документации	47
2.2.1	Несоответствия, выявленные по результатам внутреннего контроля.....	49
2.2.2	Несоответствия, выявленные предприятиями-изготовителями авиационной техники	56
2.3	Основные направления концепции совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации	58
2.4	Комплексный показатель качества процесса разработки конструкторской документации	60
2.4.1	Количество ошибок на один конструкторский документ	62
2.4.2	Сдача конструкторской документации с первого предъявления	64
2.4.3	Внешнее качество КД.....	64
2.4.4	Своевременность реагирования на устранение замечаний	66
2.5	Назначение целевых значений показателей качества процесса разработки конструкторской документации	66
2.6	Выводы по второй главе.....	75
3	ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОЧЕЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ.....	77
3.1	Разработка требований к реализации основных мероприятий по обеспечению качества конструкторской документации.....	77
3.1.1	Выявление ошибок и несоответствий путем проверки формальных требований	77
3.1.2	Требования по созданию надежной внешней обратной связи.....	78
3.1.3	Требования по созданию механизма анализа корневых причин, проведению анализа причин и выработке корректирующих мероприятий	80
3.1.4	Требования по введению ключевых показателей эффективности и визуализации результатов контроля и применения КД	80

3.1.5	Требования по стандартизации процедур.....	81
3.1.6	Требования по управлению квалификацией исполнителей.....	82
3.2	Систематизация и классификация соответствий рабочей КД АТ установленным требованиям	83
3.2.1	Содержание направлений контроля качества рабочей конструкторской документации.....	83
3.2.2	Систематизация групп проверяемых параметров и свойств изделий, присутствующих в КД.....	86
3.3	Инструменты обеспечения качества рабочей конструкторской документации	93
3.3.1	Механизм обратной связи между внутренними и внешними потребителями.....	93
3.3.2	Матрица применимых требований	95
3.3.3	Чек-листы проверки конструкторской документации и памятки (инструкции) для конструктора	97
3.3.4	Механизм внешней обратной связи.....	104
3.4	Организация процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации	109
3.4.1	Блок-схема процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации.....	109
3.4.2	Оценка процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации.....	113
3.5	Выводы по третьей главе	117
4	ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	119
4.1	Методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации	119
4.2	Информационная система мониторинга показателей качества конструкторской документации	120

4.3 Система руководящих документов для исполнителей процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники	124
4.4 Результаты практического применения методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации на предприятии, выпускающем авиационную технику	126
4.5 Выводы по четвертой главе	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	137
Приложение А Акт о внедрении результатов диссертационного исследования .	150
Приложение Б Акт о внедрении результатов диссертационного исследования..	151
Приложение В Акт о внедрении результатов диссертационного исследования..	152

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. В настоящее время действует Комплексная программа развития авиатранспортной отрасли до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации 25 июня 2022 г. № 1693-р, которая предусматривает выпуск и поставку авиакомпаниям 1036 самолетов и 764 вертолета с быстрой локализацией производства авиационных агрегатов, ранее не производившихся в Российской Федерации. Причем с выходом Федеральных авиационных правил «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей. Часть 21» появились новые гармонизированные с международными требованиями к производителям авиационной техники (АТ), которые обязаны иметь систему обеспечения качества АТ. Для осуществления поставленных задач предприятия авиационной промышленности проходят этап технического перевооружения, внедрения новых технологий и методов проектирования АТ с применением различных систем автоматизированного проектирования (САПР). При этом постоянно и существенно меняется среда разработки конструкторской документации (КД), что в значительной степени повышает риск возникновения ошибок в КД, связанных с качеством работы конструкторов.

Кроме того, существует проблема, связанная с разрывом передачи опыта и знаний между поколениями конструкторов на предприятиях, вследствие «вымывания» кадров до начала 2000 годов. В частности, критически не хватает конструкторов среднего возраста, как связки между молодым поколением и более опытными специалистами конструкторских бюро.

Стадия проектирования и разработки конструкторской документации при создании АТ является ключевой стадией, на которой закладываются технические решения нового воздушного судна (ВС), формируется себестоимость его изготовления, эксплуатации, обслуживания, задаются критерии надежности и безопасности.

Одним из основных параметров КД является уровень ее качества. Известно, что стоимость устранения ошибки, совершенной на стадии разработки воздушного судна и выявленной при эксплуатации, в сотни раз превышает стоимость ее устранения на стадии разработки, что требует совершенствования системы менеджмента качества разработчика АТ. Реализация такой системы проектирования новой продукции позволит проектировать опытные образцы ВС с первого раза в полном соответствии с применяемыми к воздушному судну требованиями. Проблемы качества, возникающие при проектировании КД, число которых для ВС может исчисляться тысячами, а особенно выявление и устранение их на стадии изготовления, ведут к серьезным финансовым потерям и увеличивают сроки постановки изделия на производство.

Особые требования к качеству проектирования ВС накладывает работа современных производителей АТ в условиях индивидуализации или массовой кастомизации, предусматривающих производство ВС по индивидуальным заказам с индивидуальными конфигурациями для удовлетворения индивидуальных потребностей клиента с эффективностью массового производства, что особенно характерно для производства АТ.

Анализ действующих российских и международных стандартов в области систем менеджмента качества показывает недостаточно полное описание требований к процессам разработки КД и требований к системе менеджмента качества разработчика, направленной на безошибочное проектирование. Развитие систем проектирования исходя из повышения уровня полноты и детализации процессов проектирования позволяет значительно снизить непроизводительные затраты предприятий на изменение КД и сокращение сроков на изготовление опытных образцов, завершение отработки конструкции после изготовления 1-го образца. Поэтому необходимо разрабатывать инструменты и методики предотвращения ошибок, которые в совокупности с контролем приведут к обеспечению качества КД.

Таким образом, актуальной является научная задача совершенствования инструментария обеспечения и улучшения качества рабочей конструкторской

документации авиационной техники в совокупности с ее контролем в условиях индивидуализированного производства. Решению данной задачи и посвящено выполненное диссертационное исследование.

Степень разработанности темы. В настоящее время имеется достаточно большое количество научных исследований, посвященных проблематике совершенствования качества продукции и процессов ее проектирования и производства. Работы в данном направлении проводили многочисленные отечественные и зарубежные исследователи: Айдаров Д.В., Амиров Ю.Д., Антипов Д.В., Анцев В.Ю., Благовещенский Д.И., Бойцов Б.В., Васильев В.А., Васин С.А., Глудкин О.П., Григорьева Н.С., Козловский В.Н., Круглов М.Г., Окрепилов В.В., Пантюхин О.В., Плахотникова Е.В., Трушин Н.Н., Французова Ю.В., Taguchi, G. и другие. Проблематике свойств и принципов организации индивидуализированного производства в различных отраслях промышленности, в том числе и на отечественных авиастроительных предприятиях, посвятили свои работы Вапнярская О.И., Всякий М.А., Жаринов И.О., Жилкин О.Н., Сергиенко Е.Н., Стрижанов И.А., Тихомирова О.Г. и другие. Однако аспект совершенствования методик и инструментария обеспечения и повышения качества рабочей конструкторской документации авиационной техники в условиях индивидуализированного производства оказался практически не затронут. Поэтому представленная научная задача не нашла окончательного решения и является актуальной до настоящего времени.

Целью исследования является обеспечение качества процесса проектирования авиационной техники за счет разработки и реализации комплексных инструментов контроля и управления.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие **задачи исследования:**

- 1) проведен научно-технический обзор и анализ проблемы качества конструкторской документации авиационной техники и методов его совершенствования;
- 2) предложены концепция и инструментарий совершенствования качества

процесса разработки конструкторской документации авиационной техники;

3) разработана комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации;

4) создана информационная система мониторинга показателей качества конструкторской документации;

5) осуществлена комплексная апробация предложенных научно-технических и организационных решений на авиастроительном предприятии.

Объект исследования – процесс разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники.

Предмет исследования – совершенствование методик и инструментария повышения качества разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники.

Соответствие паспорту специальности – содержание диссертации соответствует п. 3 «Научные основы и совершенствование методов стандартизации и менеджмента качества (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование качества) объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции» паспорта научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Научная новизна результатов исследования заключается в разработке комплексных научно-технических методик и инструментария, обеспечивающих повышение качества процесса разработки конструкторской документации в условиях индивидуализированного производства авиационной техники. Содержание научной новизны представлено следующими научными результатами:

1. Создана комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники, позволяющая снизить ресурсоемкость проектирования авиационной техники, которая отличается от известных введением внутренней и внешней обратных связей между предприятием-разработчиком и предприятиями-изготовителями авиационной техники, работающими в условиях индивидуализированного производства.

2. Предложен комплексный показатель качества конструкторской документации авиационной техники, используемый в качестве критерия в инструментарии для установления и мониторинга достижения целей в области качества процесса разработки конструкторской документации, который отличается от известных учетом количества ошибок в конструкторской документации, удельного веса конструкторской документации сданной с первого предъявления, требований предприятий-изготовителей авиационной техники и ритмичности реализации запросов предприятий-изготовителей на изменение конструкторской документации для индивидуализации производства авиационной техники.

3. Предложена комплексная методика повышения оперативности работ по контролю качества конструкторской документации авиационной техники (метрологическая экспертиза, технологический контроль, нормоконтроль), отличающаяся от известных введением инструментария чек-листов, интегрированных в информационную систему управления процессом разработки конструкторской документации предприятия-разработчика авиационной техники для ее индивидуализированного производства.

Теоретическое значение результатов работы заключается в том, что разработана концепция и инструментарий совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники, которая углубляет и конкретизирует область применения управления качеством продукции, стандартизации, организации производства, как области науки и техники, в сфере решения задач создания авиационной техники в условиях индивидуализированного производства.

Практическое значение результатов работы заключается в разработке комплекса научно-прикладных решений, обеспечивающих повышение качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники, включающего информационную систему мониторинга показателей качества конструкторской документации, реализующую концепцию и инструментарий совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники, а также систему руководящих документов для исполнителей

процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники, изготавливаемой в условиях индивидуализированного производства.

Реализация работы. Результаты проведенных исследований внедрены в виде методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации и реализующей ее системы информационной поддержки в АО «НЦВ Миль и Камов» и АО «Туполев», используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Управление качеством» и «Авиастроение», подготовке аспирантов по научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Методология и методы диссертационного исследования. При выполнении работы использовались научные положения всеобщего управления качеством, организации производства, методы регрессионного анализа, математической логики и статистики, апробированных методов анализа корневых причин и причинно-следственного анализа, а также обобщение опыта создания авиационной техники на ряде предприятий авиационной промышленности Российской Федерации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники.
2. Комплексный показатель качества конструкторской документации авиационной техники.
3. Комплексная методика повышения оперативности работ по контролю качества конструкторской документации авиационной техники (метрологическая экспертиза, технологический контроль, нормоконтроль).
4. Результаты комплексной апробации предложенных научно-технических решений.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов обусловлена использованием фундаментальных теоретических

положений, адекватностью разработанных математических моделей реальным процессам, экспериментальным подтверждением разработанных методик в производственной практике, положительными результатами практической реализации, разработанными корпоративными стандартами организации и методиками по результатам реализуемого в холдинге «Вертолеты России» приоритетного проекта «Система гарантии качества проектирования» и внедрением нормативной документации в АО «НЦВ Миль и Камов», разработкой проекта предварительного национального стандарта «Система гарантии качества проектирования. Общие требования», включенного в программу национальной стандартизации на 2023 г.

Апробация результатов. По теме диссертации автором опубликованы 8 работ (из них 5 статей в периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 статья в издании, индексируемом в информационно-аналитической системе научного цитирования Scopus).

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Технологическое проектирование и управление качеством» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (2022, 2023 гг.); конференции «Содействие развитию систем управления качеством организаций ОПК» (г. Сочи, 2021 г.); Втором научно-практическом форуме «Вопросы качества продукции военного и гражданского назначения организаций оборонно-промышленного комплекса» («Качество ОПК – 2022») (г. Самара, 2022 г.); Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития автоматизации технологических процессов» (г. Тула, 2023 г.).

Личный вклад соискателя заключается в разработке комплексной методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники; в разработке комплексного показателя качества конструкторской документации авиационной техники; в разработке комплексной методики повышения оперативности работ по контролю качества конструкторской документации авиационной техники (метрологическая

экспертиза, технологический контроль, нормоконтроль); в разработке информационной системы мониторинга показателей качества конструкторской документации, в создании системы руководящих документов для исполнителей процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники; апробации результатов исследования; подготовке публикаций по выполненной диссертационной работе.

Личный вклад соискателя в работы, опубликованные в соавторстве: [119] – разработан механизм обратной связи между внутренними и внешними потребителями; [117] – разработан инструментарий чек-листов, интегрированных в информационную систему управления процессом разработки конструкторской документации предприятия-разработчика авиационной техники; [77] – разработана комплексная методика повышения оперативности работ по контролю качества конструкторской документации авиационной техники; [118] – разработаны алгоритм совершенствования качества процесса разработки КД и механизм получения общей интегральной оценки уровня его зрелости; [121] – разработан механизм визуализации результатов контроля и применения КД с обеспечением наглядности показателей и динамики их изменения; [78] – разработан подход к корпоративному управлению процессом проектирования в условиях индивидуализированного производства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений, содержит 106 страниц машинописного текста, 16 таблиц, 24 рисунка, список литературы из 121 наименования и приложения на 3 страницах. Общий объем диссертации составляет 152 страницы.

1 АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА КОНСТРУКТОРСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

1.1 Структура научно-технического обеспечения производства летальных аппаратов

Одной из характерных тенденций развития промышленного производства является неуклонный рост сложности технических изделий. Необходимое условие эффективного функционирования сложной техники, в том числе и авиационной, – это реализация эффективной системы взаимосвязанных видов научно-технического обеспечения производства АТ: конструкторского, математического, технологического, информационного, организационно-экономического [2, 109, 100].

25 июня 2022 г. Правительство РФ распоряжением 1693-р утвердило Комплексную программу развития авиатранспортной отрасли до 2030 г. Цели Программы – обеспечение авиатранспортной связанности регионов Российской Федерации и мобильности населения; поддержание необходимого уровня безопасности полетов; обеспечение технологического суверенитета в авиатранспортной отрасли Российской Федерации. Программой планируется выпустить и поставить авиакомпаниям 1036 самолетов и 764 вертолета. При этом в части вертолетостроения Программой предполагается, что акцент будет сделан на производство вертолетов «Ансат» (201 единица), Ми-8 в различных модификациях (276 единиц) и Ми-171 в различных модификациях (115 единиц), поскольку они наиболее востребованы на рынке. (источник – <http://government.ru/docs/45834/>). При этом 24 мая 2023 г. издание «Известия» сообщило, что Минпромторг РФ предлагает до 2030 г. увеличить на треть поставки вертолетов, для чего подготовлен проект изменений в Программу

(<https://iz.ru/1517162/>). Этот факт лишний раз свидетельствует о важности развития отечественного вертолетостроения.

7 августа 2023 г. глава Госкорпорации Ростех С.В. Чемезов на встрече с президентом РФ В.В. Путиным сообщил, что заводы холдинга «Вертолеты России», который входит в Ростех, произвели в 2022 г. 296 вертолетов. В 2021 г. холдинг произвел 134 вертолета. Рост производства вертолетов связан, прежде всего, с увеличением государственного оборонного заказа (источник – <http://kremlin.ru/events/president/news/copy/71993>).

Осуществление поставленных Правительством РФ задач в области авиатранспорта должно происходить в условиях быстрой локализации производства авиационных агрегатов, ранее не производившихся в РФ. А для этого необходима интенсивная работа инженерных коллективов авиастроительных предприятий.

Роль инженера-конструктора в развитии современного материального мира чрезвычайно велика. В машиностроение порядка 80-85 % затрат предопределяется техническими решениями, которые формируются в процессе создания конструкторских решений и разработки технологических процессов. Повышение эффективности конструирования и обеспечение высокого качества конструкций является одной из актуальных задач мирового машиностроения [21, 28, 105].

Содержанием конструкторского обеспечения является создание новых конструкций и модернизация эксплуатируемых ЛА с разработкой рабочей конструкторской документации (КД). Конструкторская документация неизменно сопровождает изделие на всех этапах его жизненного цикла (ЖЦ) – от проектирования до утилизации. Без КД невозможно создание и изготовление изделия, его использования по назначению. КД является первичным и, следовательно, наиболее полным и точным носителем информации о техническом уровне и качестве продукции, тенденциях ее развития. В связи с этим от качества КД зависят правильная подготовка и организация производства изделий стабильного качества, объективность и достоверность всесторонней оценки изделия, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт изделий [13, 23, 53].

Организация и направления совершенствования процесса проектирования ЛА в современных условиях рассмотрены, например, в [38, 84, 90, 89]. Проектирование ЛА – это сложный многоуровневый иерархический процесс, требующий огромного объема вычислений, графических работ и разного рода исследований, который осуществляет определенный круг лиц (организаций или подразделений), ответственных за решение поставленных проектных задач.

Среди других изделий машиностроения ЛА как объекты производства обладают рядом специфических особенностей: большая номенклатура и многодетальность планера или фюзеляжа; большая номенклатура используемых конструкционных материалов; необходимость применения дорогостоящих специальных материалов и разработки новых конструкционных материалов с направленными свойствами; сложность пространственных форм; широкий диапазон размеров деталей; большое число разнообразных разъемных и неразъемных соединений; глубокое насыщение конструкции электротехническими и электронными компонентами; высокие требования к прочности и жесткости конструкции; высокие требования к качеству как к ЛА в целом так и к его отдельным элементам; высокие требования к эксплуатационной надежности; широкое кооперирование производства; частая смена объектов авиационного производства; большой объем работ по подготовке производства ЛА, исчисляемый сотнями тысяч человеко-часов [105, 106].

Организация конструкторской подготовки производства машин и приборов на отечественных предприятиях осуществляется на основе развивающейся системы стандартов ЕСКД, которые регламентируют правила выполнения проектно-конструкторских работ, номенклатуру КД, нормы оформления чертежей на различных видах носителей [1, 12, 51, 57, 58, 110]. Другой методологической основой проектирования и конструирования ЛА являются фундаментальные разработки, а фактически – базы знаний, в области проектирования и конструирования механизмов, машин, приборов [21, 22, 70, 71, 76, 82, 83].

Математическое обеспечение процессов проектирования АТ также является неотъемлемым и исключительно важным аспектом научно-технической

подготовки производства ЛА, поскольку сами ЛА являются чрезвычайно наукоемкими объектами. Проектирование ЛА производится на основе большого количества сложных математических моделей и сопровождается при этом многочисленными ресурсоемкими инженерными расчетами, различного рода экспериментами и испытаниями. Математическое обеспечение тесно связано с конструкторской подготовкой, причем в настоящее время в связи с глубокой цифровизацией производственных процессов эта связь стала еще более тесной в рамках универсальных и специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР) [16, 22, 72, 87, 91].

Технологическая подготовка производства АТ связана с разработкой технологической документации (ТД), отражающей технологические процессы изготовления и сборки элементов ЛА. Разработка ТД осуществляется на основе комплекта рабочей КД, объем и качество которой во-многом предопределяет содержание и качество технологических процессов изготовления ЛА. Полный комплект рабочей ТД образует технологический проект изготовления ЛА [7].

Информационное обеспечение подготовки производства АТ содержит необходимые библиографические, нормативные, патентные и иные материалы, требующиеся для проведения проектно-конструкторских работ, технологического проектирования, технико-экономических расчетов, а также для осуществления организационных мероприятий. В современных условиях информационное обеспечение осуществляется с помощью распределенных компьютерных систем, связанных локальными и глобальными коммуникационными сетями.

1.2 Методология индивидуализации (кастомизации) машиностроительной продукции

Результаты деятельности машиностроительных предприятий в нестабильной экономической среде показали, что роль организационного и экономического обеспечения производства машин и приборов в условиях рыночной экономики стала еще более значимой. Поэтому разработка новых подходов и методик научно-

технической подготовки производства ЛА, рациональной организации производственного процесса, оценки его эффективности стала производится на основе парадигмы индивидуализированного, или кастомного (от англ. *to customize* – настраивать, изменять) производства, что представляет собой актуальную задачу для отечественной промышленности [69].

В работах [23, 60, 95] и ряде других рассмотрены исторические и терминологические аспекты, связанные с кастомизацией производства. В 1970-х гг. американский социолог и футуролог Элвин Тоффлер предложил инновационную идею, которая может удовлетворить заданные запросы клиентов по стоимости, близкой к стоимости стандартизированного производства. Позже в 1987 г. Стэн Дэвис назвал предлагаемый режим производства массовой кастомизацией в своей работе «Future Perfect». Дэвис определял «массовую кастомизацию» как способность увеличения количества покупателей в экономике массового производства, с учетом индивидуальных потребностей каждого клиента к продукту предприятия [95].

В работе [95] также отмечается, что в результате эволюции понятия «кастомизация» на сегодняшний момент большинство ученых понимают это явление как стратегию, базирующееся на трех главных идеях. Во-первых, новое гибкое производство и информационные технологии позволяют системам производства поставлять более высокое разнообразие товаров по более низкой цене. Во-вторых, есть растущий спрос на разнообразные кастомизированные, или индивидуализированные, продукты. В-третьих, сокращение жизненного цикла продукта и расширение промышленной конкуренции привели к разбивке многих массовых отраслей, увеличив потребность в производственных стратегиях, сфокусированных на отдельных клиентах, что позволяет утверждать, что индивидуализация выходит за пределы производства. Стратегию и тактику индивидуализации внедряют в различные аспекты деятельности современные компании различного профиля.

Результатом методологии индивидуализации является переход массового и крупносерийного производства на изготовление индивидуальных или малых серий

модифицированных продуктов, адаптированных к конкретным требованиям потребителей. Парадигма индивидуализации является сегодня императивом для предприятий многих отраслей при создании продуктов наиболее высоких ценовых сегментов, стала важным компонентом выживаемости предприятий в условиях сегментированных и высококонкурентных рынков технически сложной и наукоемкой продукции, какими являются рынки АТ [60, 65].

Методология индивидуализированного производства развивается в мировой экономике благодаря интенсивным и глубоким проникновением цифровых информационных технологий и компьютерной техники практически во сферы человеческой производственной и непроизводственной деятельности. Проблематика такого производства, его свойства и особенности рассмотрены, в частности, в работах [36, 59, 60, 61, 107, 108, 113].

Цифровизация информации и связанных с ней процессов в современном промышленном производстве, в том числе и в авиационном машиностроении, решает довольно большое количество разнородных задач, которые связаны с более эффективной организацией и совершенствованием производственных процессов и систем [4, 78, 79, 111]. В результате индивидуализированное производство предлагает потребителю (покупателю ЛА) создать продукт под свои особые потребности. Процесс этот предполагает использование существующей технологии производства. В зависимости от требований заказчика изменения в продукт закладываются либо уже на проектно-конструкторской стадии, либо на самой последней стадии производственного процесса – сборке изделия, внося относительно небольшие конструктивные изменения в продукт. Так, например, в рамках одного проекта вертолета могут быть созданы пассажирские, транспортные, поисково-спасательные, медицинские варианты и другие специальные его исполнения. В СССР такой подход к конструированию и производству вертолетной техники уже был реализован в конце 1960-х гг. в вертолете Ка-26 (годы серийного выпуска – 1969-1985), который благодаря своей оригинальной конструкции получил наименование «летающее шасси» [9]. В

настоящее время преемником вертолета Ка-26 является более совершенная модель Ка-226 [31].

Другим примером индивидуализации продукции, массово изготавливаемой в гражданском сегменте экономики и оборонно-промышленного комплекса, является рассмотренный в работах [59, 60] кейс компании Boeing, внедрившей в свои бизнес-процессы вариантное исполнение воздушных судов. Аналогичный подход к индивидуализации продукции нашли свое отражение бизнес-проекты компании Airbus, в автомобильной промышленности и др. По различным оценкам, основанным на данных организации Aircraft Commerce (<https://www.aircraft-commerce.com/>), доля оборудования, рассматриваемого как опционально комплектующее в воздушном судне, составляет от 2-5 % до 8-12 % всего оборудования воздушного судна. В бизнес-модели индивидуализации, таким образом, одновременно реализуются две маркетинговые стратегии: продукт по предложению изготовителя и продукт по требованию потребителя [59]. В РФ концепция индивидуализации производства новых ЛА имеет три цели: 1) вывод отечественной авиапромышленности на мировые рынки высокотехнологичной продукции; 2) замещение морально и физически устаревших самолетов и вертолетов; 3) импортозамещение существующего парка гражданских воздушных судов зарубежного производства [59].

Массовая индивидуализация производства означает также использование гибких автоматизированных технологических систем, которые позволяют создать гибкий выпуск продукции с индивидуальными характеристиками, а также сочетать низкие издержки и гибкость индивидуальной настройки [17, 25, 26]. Динамика спроса показывает, что все больший спрос предъявляется на продукты с индивидуальными конфигурациями. В работе [23] отмечено, что если в 2006 г. доля спроса на такие продукты была 28,8 %, то в 2008 г. – уже 51,6 %.

Основными свойствами индивидуализированного производства в рамках перехода от поточно-конвейерного серийного производства к гибкому автоматизированному производству являются:

- постоянное совершенствование систем автоматизированного управления, накопления и передачи информации, овладение новыми методами обработки сырья и материалов [74, 103];

- рассредоточение производственных мощностей и совершенствование транспортных и коммуникационных систем [69];

- повышенная безопасность как комплексное свойство человеко-машинных систем в единстве его технических, социально-психологических и культурно-нравственных аспектов [73, 79];

- новый подход к проектированию технических систем, повышение их эффективности, гибкости и срока службы, разрешение противоречия между моральным и физическим износом путем постоянной модернизации и перенацеливания изделий, возможность чего закладывается уже на этапе конструирования (т. н. «планирование модификаций») [102].

Однако, с другой стороны, индивидуализация проектирования и изготовления продукции неизбежно оказывает воздействия на все процессы научно-технической подготовки производства, исследовательские, экспериментальные и опытно-конструкторские работы [20]. В анализированных работах исследователи подчеркивают, что индивидуализация в наиболее полной мере может быть осуществлена на основе широкой интеграции цифровых технологий в производственный процесс предприятия. Цифровые технологии дают возможность сформировать единое информационно-технологическое пространство для коммуникации и взаимодействия практически всех заинтересованных сторон, к которым с точки зрения данной диссертационной относятся в первую очередь инженеры-конструкторы и инженеры-исследователи [5, 18, 63]. Индивидуализация требует формирования новой системы управления, в которой проектирование и реализация управленческих решений отражает стремление к максимально полному учету требований конкретного потребителя при проектировании, производстве, сбыте и эксплуатации продукта. По существу, каждый экземпляр продукции, выполненной по индивидуальным заказам, представляет собой инновационный продукт [102].

1.3 Проблематика качества рабочей конструкторской документации в машиностроительном производстве

Предприятия авиационной промышленности постоянно проходят этапы технического перевооружения, внедрения новых технологий и методов проектирования АТ с применением различных методик и САПР [8, 72]. Практика работы авиастроительных предприятий показывает, что в процессе проектирования АТ по каким-либо объективным и субъективным причинам существенно меняется среда разработки КД, что приводит к появлению несоответствий и ошибок в КД. На приведение КД к требованиям стандартов требуются различные виды ресурсов, что негативно сказывается на сроках освоения новой продукции и ее себестоимости.

Вопросы обеспечения качества КД и влияние этого качества на свойства конечного изделия в течение многих лет исследовались многочисленными учеными и практиками как в нашей стране, так и за рубежом [27, 29, 30, 33, 56, 99]. Несмотря на большое количество методик и рекомендаций по обеспечению качества КД, проблематика обеспечения качества КД остаётся актуальной и в эпоху всеобщей автоматизации и цифровизации. Поэтому поиск новых решений задач совершенствования проектно-конструкторских работ и обеспечения качества всех видов технической документации также является актуальной задачей в области организации машиностроительного производства.

Кроме собственно технического аспекта (соответствие КД формальным и нормативным требованиям) проблематика обеспечения качества КД имеет и экономический аспект. Высокое качество КД уменьшает непроизводительные затраты предприятий на изменение и корректировку КД, не соответствующей установленным требованиям, что особенно важно на стадии постановки изделия на производство. На предприятии часто возникает необходимость срочного внесения изменений в подлинники и копии КД, изменение технологической документации, производственных и технологических процессов на предприятии-изготовителе или у эксплуатанта изделия. Это усугубляется еще и тем, что часто, разработчик и

изготовитель – разные предприятия. Плюс еще большое количество разработчиков и поставщиков комплектующих изделий. Если изменения происходят в период предварительных или сертификационных испытаний, то необходимость проведения дополнительных испытаний или полетов многократно увеличивает издержки.

По данным [75] две трети работников, занятых в материальном производстве, принимают участие в устранении ошибок, появившихся на стадиях научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских (ОКР). В связи с этим вопросам качества КД следует уделять особое внимание на всех стадиях разработки изделия и последующих стадиях его жизненного цикла.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [45] качество (quality) – это степень соответствия совокупности присущих характеристик объекта требованиям. Продолжающий действовать стандарт ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» [44] определяет качество продукции как совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Качество конструкторской документации – это степень соответствия требованиям совокупности присущих характеристик этой документации. Исходя из проведенного анализа публикаций в области организации проектно-конструкторских работ можно считать КД продукцией, так как у нее есть не только внутренний, но и внешний потребитель.

Авторы [75], на которых ссылаются и многие другие работы [13, 93], обосновывают, что качество КД определяют три его основных аспекта: качество технического содержания, качество информативного содержания и качество физического состояния.

Техническое содержание КД определяет состав, структуру, внутренние и внешние связи функциональных частей и принцип работы изделия; содержит требования к техническому уровню и качеству продукции.

Информативное содержание КД заключается в приведении сведений о принятом конструктивно-техническом решении, техническом уровне и качестве

продукции единым техническим языком. Единый технический язык при разработке КД регламентирован стандартами ЕСКД. Поэтому качество информативного содержания КД зависит от соблюдения и правильного применения требований стандартов ЕСКД.

Физическое состояние КД определяется пригодностью ее для хранения и обращения, четкостью приведенных сведений, отсутствием прорывов, подклеек, протертых мест и т. п., а для бумажных подлинников и дубликатов - еще и пригодностью для многократного снятия с них копий. Качество физического состояния КД обеспечивается соблюдением требований стандартов ЕСКД по оформлению, хранению и внесению изменений, а также аккуратным обращением с документацией в производстве. Для электронной КД это совместимость версий программного обеспечения, а также возможность чтения с компьютеров низкой производительности.

В настоящее время все машиностроительные предприятия ведут проектно-конструкторские работы в цифровых средах САЕ-систем (Computer Aided Engineering – система автоматизации инженерных расчётов), поэтому физическое состояние КД становится менее актуальным по причине перехода производственных процессов на принципы безбумажной информатики.

Авторы работ [75, 93] и другие справедливо отмечают, что качество конструкторской документации в конечном определяет и качество создаваемой техники, ее технический уровень и эффективность. Однако существует принципиальное различие в оценке качества собственно изделия и качества разработанной КД. КД конечно отражает технический уровень и функционал изделия (заложенные конструктором изделия), но не определяет их и не влияет на них. То есть КД вторична по отношению к техническому уровню изделия и не может на его влиять. Технический уровень – это свойство изделия, а не КД и не является присущей характеристикой КД, как объекта требованиям, предъявляемым к ней. Поэтому не надо отождествлять понятия «качество КД» и «качество изделия». КД – это источник информации об изделии, и она в принципе не может влиять на технический уровень или функции, заложенные конструктором [53].

В диссертации [53] «качество конструкторской документации» определяется как степень соответствия виртуальной модели изделия требованиям, предъявляемым к проектируемому объекту, позволяющее разделить собственно несоответствия в КД и несоответствия, возникающие на более поздних этапах ЖЦ проектного решения. В этой работе КД рассматривается как продукт чертежной работы, как набор исходных данных для изготовления изделия (ЛА), его монтажа и эксплуатации без учета технического уровня самого изделия. С этой точки зрения качество КД рассматривается как степень соответствия совокупности свойств, обуславливающих пригодность КД удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении. С точки зрения технического содержания КД необходимо рассматривать требования, которые определяют состав, структуру, технологичность, надежность, внутренние и внешние связи функциональных частей, принцип работы изделия и требования к качеству изделия [54].

Комплекс требований по информативному содержанию КД заключается в приведении сведений об изделии единым техническим языком. Единый технический язык при разработке КД и требования по ее содержанию регламентированы стандартами ЕСКД. Поэтому качество информативного содержания КД (соответствие требованиям) зависит от соблюдения и правильного применения требований стандартов ЕСКД.

Требования и свойства по физическому состоянию КД определяются пригодностью ее для использования, доступности, хранения, копирования и обращения, четкостью приведенных сведений. В настоящее время КД в основном выполняется по безбумажным технологиям, обеспечивающим указанные выше требования использованием различных автоматизированных систем. Такие требования должны применяться к системам, а их соблюдение должно контролироваться в процессе разработки и использования КД.

1.4 Методы контроля качества рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения

Рассмотрим основные мероприятия и инструменты, направленные на обеспечение и улучшение качества КД в машиностроительном производстве. В настоящее время в целях обеспечения соответствия КД различным требованиям ЕСКД и другим нормативным документам предусмотрены различные виды контроля:

- технический (конструкторский) контроль КД на предмет соответствия типовым техническим решениям;
- технологический контроль в соответствии с требованиями ГОСТ 14.206-73 «Технологический конструкторской документации» [43];
- нормоконтроль в соответствии с ГОСТ 2.111-2013 «Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль» [41];
- метрологические экспертиза и надзор в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58931-2020 «Система обеспечения единства измерений на предприятиях авиационной промышленности. Метрологическая экспертиза технических заданий, конструкторской и технологической документации. Организация и порядок проведения» [49].

Результаты контроля являются основанием для утверждения КД с целью передачи ее на последующие этапы производственного цикла (при отсутствии замечаний) либо для разработки корректирующих действий при обнаружении дефектов с целью их ликвидации.

На проведение технического контроля КД нет однозначных требований специальных стандартов, но существуют соответствующие методические рекомендации, учебные и справочные пособия, например, [1, 10, 12, 13, 38, 51, 57, 70, 71, 75, 82, 83, 96, 110]. Особенности организации и подготовки индивидуализированного производства АТ на базе широко автоматизированной КИС требует модернизации организации процесса и методик контроля качества КД.

Рассмотрим далее основное содержание и характеристики каждого этапа контроля КД в машиностроительном производстве.

1.4.1 Нормоконтроль рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения

Согласно ГОСТ 2.111-2013 [41] в целях обеспечения однозначности применения КД и установленных в ней требований, правил и норм на всех стадиях жизненного цикла изделия проводят нормоконтроль. Нормоконтроль – контроль выполнения конструкторской документации на изделия (детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты) в соответствии с требованиями, правилами и нормами (далее – требования), установленными нормативными документами (НД). Основные общие задачи нормоконтроля – это проверки:

- соблюдения в КД требований, правил и норм, установленных в стандартах ЕСКД и в других НД, указанных в проверяемой документации;
- достижения в разрабатываемых изделиях необходимого высокого уровня унификации и стандартизации на основе широкого использования ранее спроектированных, освоенных в производстве и стандартизованных изделий, типовых конструкторских и схемных решений;
- рационального применения ограничительных номенклатур покупных и стандартизованных изделий и их документов, норм (типоразмеров, степеней точности, условных графических обозначений и др.), марок материалов, полуфабрикатов и т.п.;
- достижения единообразия в оформлении, учете, хранении, изменении КД;
- соблюдения нормативных требований при выпуске бумажных и электронных КД.

Нормоконтроль, как правило, является завершающим этапом разработки КД. В соответствии с этим его рекомендуется проводить в два этапа, что обусловлено массовым переходом проектно-конструкторских работ от бумажных на электронные носители информации [52].

Совершенствованию нормоконтроля электронной КД и его автоматизации посвящены работы [34, 52, 53, 75, 101, 104, 114] и других авторов. Они рассматривают формирование требований к автоматизированным (компьютерным) системам, предлагают различные методы выполнения контроля и исправления найденных ошибок в КД и другой технической документации, а также методы разработки технической документации с целью снижения трудоемкости контроля, обеспечения требуемого высокого качества КД.

В работе [53] излагается решение задачи повышения качества и сокращения сроков разработки КД на изделия машиностроения, достижение обоснованного уровня стандартизации и обеспечения однозначности применения КД и установленных в ней норм, требований и правил на всех стадиях ЖЦ продукции за счет обоснованного выбора стратегии нормоконтроля в конкретных производственных условиях. В указанной работе раскрыта сущность стратегии нормоконтроля, как целесообразной последовательности действий и способов профессионального взаимодействия участников процесса, способствующих разрешению объективно обусловленного конфликта противоположных интересов взаимодействующих субъектов. В работе [53] также обосновано, что одним из основных инструментов обеспечения качества КД является стратегия проведения нормоконтроля для конкретного проекта с учетом применения средств информационной поддержки процесса и автоматизации проектирования.

1.4.2 Метрологическая экспертиза и надзор рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения

Метрологическая экспертиза (МЭ) проводится в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58931-2020. Метрологическая экспертиза технической документации, в том числе и конструкторской, – это анализ и оценивание правильности применения метрологических требований, правил и норм, связанных с обеспечением единства измерений [49].

Метрологическая экспертиза применительно к конструкторской и

технологической документации – это анализ и оценка технических решений по установлению и/или подтверждению требований к количественным характеристикам свойств изделия или процесса, а также возможности проверки соответствия установленным требованиям, с учетом заданных норм точности имеющихся или планируемых к приобретению или разработке методик и систем измерения (СИ), инструментального контроля, испытаний, а также предполагаемых условий их применения [64, 80, 97].

МЭ проводят с целью обеспечения требуемого качества измерительной информации, а также исключения возможности или снижения степени возникновения метрологических рисков негативных ситуаций в авиационной деятельности согласно ГОСТ Р 56116-2014 «Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Метрологические риски. Основные положения» [47].

При проведении МЭ технических заданий (ТЗ), конструкторской и технологической документации на изделия необходимо также руководствоваться основными задачами, регламентированными рекомендациями по межгосударственной стандартизации РМГ 63-2003 «Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации» [98].

Планирование и проведение МЭ на предприятии, разрабатывающем техническую документацию, возлагается на метрологическую службу или иное (-ые) подразделение (-ия), на которое (-ые) возложены соответствующие функции МЭ. Экспертиза осуществляется применительно:

– к техническому заданию – до его согласования, в том числе перед заключением контракта на разработку изделия АТ;

– к конструкторской документации – на стадиях разработки эскизного (технического) проекта, рабочей конструкторской документации, опытного образца (опытной партии), установленных ГОСТ 2.103-2013 «Единая система конструкторской документации. Стадии разработки» [40];

– технологической документации – при разработке директивного, временного и серийного технологических процессов.

МЭ подвергается конструкторская и технологическая документация на все разрабатываемые и модернизируемые изделия. По результатам проведения МЭ составляют перечень замечаний и предложений по документации. Конструкторскую и технологическую документацию, прошедшую МЭ, корректирует разработчик в соответствии с представленным перечнем замечаний и предложений [49].

1.4.3 Обеспечение технологичности изделия и технологический контроль конструкторской документации

Общие требования к обеспечению технологичности конструкции изделия регламентированы ГОСТ 14.201-83 «Обеспечение технологичности изделия. Общие требования» [42]. Обеспечение технологичности конструкции изделия по ГОСТ 14.201-83 – это функция подготовки производства, предусматривающая взаимосвязанное решение конструкторских и технологических задач, направленных на повышение производительности труда, достижение оптимальных трудовых и материальных затрат и сокращение времени на производство, в том числе и монтаж вне предприятия-изготовителя, техническое обслуживание и ремонт изделия [2, 3].

Технологичность изделия закладывается в техническом задании и формируется в ходе проектно-конструкторских работ. Обеспечение технологичности конструкции изделия включает:

- отработку конструкции изделий на технологичность на всех стадиях разработки изделия, при технологической подготовке производства и, в обоснованных случаях, при изготовлении изделия;
- количественную оценку технологичности конструкции изделий [11];
- технологический контроль КД;
- подготовку и внесение изменений в КД по результатам технологического

контроля, обеспечивающих достижение базовых значений показателей технологичности.

В соответствии с требованиями ГОСТ 14.206-73 технологический контроль КД должен быть направлен на:

– соблюдение в разрабатываемых изделиях установленных технологических норм и требований с учетом современного уровня развития данной отрасли техники и способов изготовления, эксплуатации и ремонта изделия;

– достижение в разрабатываемых изделиях заданных показателей технологичности;

– выявление наиболее рациональных способов изготовления изделий с учетом заданного объема выпуска, требования которого должны быть отражены в конструкторской документации.

Примерное содержание технологического контроля в зависимости от стадии разработки конструкторской документации приведено в ГОСТ 14.206-73. В зависимости от количества и содержания разрабатываемой КД технологический контроль может производиться одним универсальным контролером или контролерами, специализированными:

– по характеру данных, содержащихся в конструкторских документах;

– по видам документов. При этом контролеры могут быть специализированы на проверке отдельных видов документов, чертежей, схем, спецификаций и т.п.

При технологическом контроле КД руководствуются соответствующими стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП), Единой системы технологической документации (ЕСТД), действующими руководящими материалами и другими документами [58].

Сведения о соблюдении в КД норм и требований единой системы технологической подготовки производства систематизируются и представляются в конструкторское подразделение. Все замечания и предложения технологического контроля по проекту служат исходным материалом для оценки технологичности разрабатываемого изделия.

1.4.4 Технический контроль конструкторской документации

Задачами технического контроля являются проверка соответствия спроектированных конструкций своим функциональным назначениям, правильность исполнительных размеров сопряжений, достоверность информации, выбор и содержание принятых конструктивных материалов и технологических решений. Такой контроль осуществляется специально назначенными *конструкторами-контроллерами* [114]. Авторы работы [114] считают, что технический контроль не всегда используется на предприятиях в явном виде, поэтому наиболее актуальной и важной задачей для повышения качества КД является создание такой автоматизированной системы, например, программы на основе САПР КОМПАС ©АСКОН или аналогичной, которая будет проверять файлы на предмет направленного поиска недостатков конструкторской документации и, по возможности, их исправление. Место технического контроля в системе контроля качества конструкторской документации приведено на рисунке 1.1.

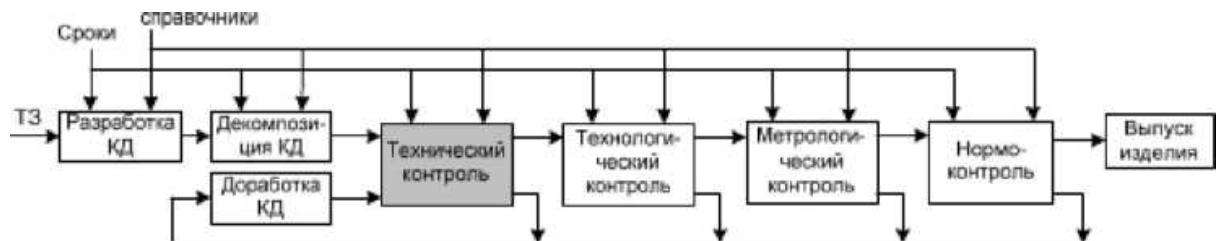


Рисунок 1.1 – Схема движения конструкторской документации

Авторы работы [114] также справедливо полагают, что САПР позволяют значительно снизить процент допускаемых конструктором ошибок, однако не могут полностью избавить от необходимости контроля КД. При этом работа конструктора с САПР может приводить к появлению новых видов ошибок, которые не характерны для традиционных методов разработки КД на бумажных носителях. Поэтому контроль КД будет тем более действенным и эффективным, чем больше критериев качества он будет охватывать. Тщательная разработка и

проведение контроля КД повышают ее качество.

Во времена СССР для обеспечения объективного контроля качества КД применялся специальный инспекторский контроль работы конструкторов [2, 3, 75, 93]. При этом осуществлялся систематический учет, регулярно проводился и анализ конструкторско-технологических ошибок и недоработок. Разработчики (и конструкторы, и технологи) систематически отчитывались о своей работе перед своими непосредственными руководителями. Предусматривались обязательные поузловые испытания на надежность и долговечность, изготовление и испытание контрольных партий до предъявления изделия приемным комиссиям [2, 3, 10, 13, 15, 50, 91, 111].

Такая, несомненно, полезная работа как инспекционный технический контроль, направленная на предупреждение возникновения несоответствий в КД и обеспечение тем самым ее качества, должна быть четко регламентирована в нормативных документах предприятия.

В проанализированных научных и технических публикациях вопросы обеспечения качества в основном сводятся к контролю КД и исправлению ошибок, но это явно недостаточно, так как сущность обеспечения качества КД состоит в разработке предупреждающих мероприятий на стадии планирования процесса разработки, постоянном и независимом мониторинге (контроле) процесса разработки КД и выполнении необходимых корректирующих действий по результатам мониторинга процесса и контроля КД.

1.4.5 Показатели качества конструкторской документации и процесса ее разработки

Наиболее сложным является вопрос трансформации требований к КД в показатели ее качества исходя из изменения характера проектно-конструкторских работ в связи с цифровизацией деятельности машиностроительных предприятий. Требования к качеству КД не снизилось, показателей качества тоже много.

Результаты контроля, описанные в предыдущих параграфах, а также

результаты работ по внесению изменений в КД по требованиям изготовителя изделия, можно и нужно использовать для оценки качества КД и работы конструкторов. Обработывая их с помощью методов математической статистики, можно получить различные показатели качества и много полезной информации, которая станет основой для разработки корректирующих действий.

В практической проектно-конструкторской работе нужен вполне конкретный, но ограниченный в количестве набор показателей, чтобы сбор и анализ показателей не стал более ресурсоемким, чем собственно разработка КД и ее контроль. Поэтому в сложившихся технико-экономических условиях машиностроительным предприятиям нужны наиболее интегральные, информативные и поддающиеся машинной обработке показатели.

Предложения по количественной оценке качества при разработке КД с применением CAD- и PDM-систем (Computer Aided Design – система автоматизированного проектирования, Product Data Management – система управления данными об изделии) и использование разработанных электронных чертежей через определение потребностей потребителей (внутренних и внешних) КД содержатся в работе [39]. Истинной потребностью потребителей КД авторы работы [39] считают не желание рассматривать нарисованные на экране или бумаге линии, а стремление быстро и эффективно получить исчерпывающее понимание конструкции спроектированного изделия. Ориентировочный состав потребителей КД на машиностроительном предприятии приведен в таблице 1.1 [39].

Исходя из вышеизложенного, авторы работы [39] предлагают следующие потенциально измеряемые свойства комбинации электронного чертежа и традиционного бумажного документа:

– дорабатываемость – способность быть дорабатываемым (модифицируемым), может быть оценена как трудоемкость внесения каких-то типовых изменений;

– разбираемость – способность к расчленению на смысловые части для последующего использования, может быть оценена на основе трудоемкости вычленения какой-либо типовой части чертежа и помещения на другой чертеж.

– понятность – может определяться либо временем, необходимым для того, чтобы понять чертеж (разобраться с конструкцией изделия, описанного КД), либо процентным количеством случаев неверного понимания чертежа и величиной издержек, возникших из-за типового случая неверного понимания;

Таблица 1.1 – Состав потребителей КД

Потребители КД	Использование КД
Конструкторы изделий	При внесении исправлений в КД При использовании ранее разработанных КД в качестве образцов
Технологи маршрутного бюро	При разработке маршрутно-материальных ведомостей
Технологи технологических бюро	При разработке технологических процессов, в том числе при разработке операционных эскизов
Конструкторы специальной технологической оснастки	При конструировании специальной технологической оснастки
Технологи-программисты станков с ЧПУ	При разработке управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ
Нормировщики	При нормировании технологических процессов
Мастера и рабочие цехов	При изготовлении деталей, при сборке готовых изделий

– выделяемость состава элементов в конструкции – может быть определена временем, необходимым для создания заготовки маршрутно-материальной ведомости, содержащей только информацию о составе сборки;

– разборчивость и безошибочность условных обозначений – может быть оценена либо процентным количеством неразборчиво или ошибочно написанных

(указанных) конструкторских, стандартных и прочих изделий, а также материалов, либо величиной издержек, возникших из-за типового случая ошибочного написания или типового случая неверного понимания неразборчивого написания.

– способствование разработке операционных эскизов – может определяться временем, необходимым для разработки операционного эскиза на основе КД;

– необходимость в перепроверке размерных цепей – может быть оценена временем, которое требуется для проверки соответствующим специалистом (технологом) размерных цепей, необходимых в целях собираемости сборок;

– способствование разработке маршрутных и операционных технологических процессов – может быть определено временем, необходимым технологу для разработки заготовки технологического процесса на основании КД;

– способствование разработке КД специальной технологической оснастки – может оцениваться временем, необходимым конструктору для разработки чертежей оснастки на основании КД изделия;

– способствование разработке программ для станков с ЧПУ- может быть оценено временем, необходимым для разработки ЧПУ-программы на основании КД.

Другой подход к количественной оценке качества разработки КД изложен в рекомендациях [96]. Согласно этому документу все обнаруженные в процессе нормоконтроля КД ошибки систематизируются и сортируются по категориям и записываются проверяющим в документ – карточку оценки качества работ по специальной форме. Нормоконтролер по обнаруженным ошибкам, по их количеству и категориям определяет коэффициент качества конструкторской документации.

Категории ошибок и коэффициенты их весомости представлены в соответствующем классификаторе, в котором все ошибки делятся на семь категорий. При этом каждая ошибка в зависимости от категории оценивается условно установленным коэффициентом весомости.

Для количественной оценки качества документов применяется обобщенный показатель – коэффициент качества, численное значение которого определяется

отношением количества ошибок к общему объему проверяемых документов с учетом коэффициента весомости и повторения одинаковых ошибок. Одним из условий внедрения системы бездефектного проектирования считается гласность результатов работ. Коэффициент качества труда входит в число основных показателей при подведении итогов работы подразделений.

В работе [92] утверждается, что качество КД определяют его основные показатели: экономические, эстетические, патентно-правовые, показатели стандартизации и унификации, показатели назначения, надежности и технологичности. Они представляются в виде иерархического дерева свойств. Список перечисленных показателей в целом соответствует показателям, рассматриваемых в работах по квалиметрии [14, 68, 112]. Для определения значений показателей качества КД использован социологический метод. Для этого разрабатывается система опроса и способы обработки результатов. Оценка удовлетворенности заказчика проводится после сдачи ему КД. На основе полученных данных проводится анализ выполненной работы и выявляются «слабые» места. Таким образом, оценка качества КД представляет собой различные операции, с помощью которых можно осуществлять выбор номенклатуры частных и комплексных показателей качества изделия и производить оценку количественного обобщенного показателя качества. В работе [92] представлен алгоритм оценки уровня качества КД.

Практические рекомендации по совершенствованию управления процессом разработки конструкторской документации на современном предприятии рассмотрены в [88]. Здесь предлагается контролировать показатели качества КД, оценивать стабильность протекания процесса разработки КД на основе статистических методов анализа. Оценку качества разработки КД на предприятии авторами работы [88] предлагается осуществлять по следующим показателям:

- соответствие параметров КД требованиям ТЗ;
- соответствие КД требованиям ЕСКД;
- выполнение требований технических регламентов, национальных и

отраслевых стандартов;

- технический уровень КД;
- выполнение требований к специальным характеристикам объекта проектирования;
- технологичность (удобство изготовления);
- доступность покупных комплектующих изделий;
- информативность КД;
- качество печати, комплектования и брошюрования высылаемых печатных экземпляров;
- форма и качество обратной связи;
- соблюдение сроков выполнения работ.

Также в работе [88] для оценки качества процесса разработки и проектирования с использованием квалиметрических методов экспертного оценивания выбран показатель – количество ошибок в КД. Потребители КД направляют разработчику КД контрольные карты. Анализ причинно-следственных связей возникновения несоответствий при разработке и проектировании продукции на предприятии показал, что наибольшее количество ошибок формируется именно по причине несоответствия КД требованиям нормативной документации. Следовательно, в целях снижения процента брака при планировании и организации производства необходимо уделить особое внимание подбору компетентного и квалифицированного персонала, в частности специалистов, инженеров по стандартизации, задачами которых станет решение проблем по применению нормативной документации [88].

1.5 Проблемы и задачи обеспечения качества конструкторской документации авиационной техники

Многие (если не большинство) авторы проанализированных научных работ используют термин «обеспечение качества», рассматривая при этом вопросы

контроля КД (например, нормоконтроль) и выполнения корректирующих действий по его результатам. Вопросы обеспечения качества в основном сводятся к контролю КД и исправлению ошибок, что явно недостаточно, поскольку цена этих ошибок применительно к авиационной технике может быть очень и очень велика.

Согласно ГОСТ Р ИСО 9000-2015 [45], менеджмент качества может включать разработку политики в области качества, целей в области качества и процессов для достижения этих целей в области качества посредством *планирования качества, обеспечения качества, управления качеством и улучшения качества*. Обеспечение качества (quality assurance) – это часть менеджмента качества, направленная на создание уверенности, что требования к качеству будут выполнены. Эта уверенность должна создаваться за счет выполнения определенного набора предупреждающих мероприятий по определенным правилам и с необходимой обратной связью. Обеспечение качества, в отличие от контроля качества, имеет предупредительный характер, поэтому отождествлять их нельзя. Также следует использовать термин «улучшение качества», а не «повышение качества». Таким образом, обеспечение качества – это процесс или результат формирования требуемых свойств и характеристик продукции по мере её создания, а также поддержание этих характеристик при хранении, транспортировании, производстве и эксплуатации продукции. Процесс планирования качества является составной частью процесса обеспечения качества.

Перефразируя требование Руководства Р-297 по разработке и сертификации интегрированной модульной авионики (2010 г.) по гарантии качества, необходимо отметить следующее: «В сложных изделиях (к которым, несомненно, относится АТ) и их системах, велика вероятность ошибок разработки и нежелательных непредусмотренных эффектов. В то же время практически невозможно разработать какой-либо конечный набор тестов для систем, которые бы убедительно подтвердили отсутствие ошибок разработки. Поскольку эти ошибки, в основном не поддаются измерению и отсутствуют численные методы для их описания, то должны использоваться другие качественные методы для установления факта соответствия системы (в нашем случае это КД) нормативным документам,

требованиям безопасности и функциональным требованиям с минимальной вероятностью наличия ошибок проектирования, способных вызвать нежелательные события. Таким образом, для сложных систем гарантия разработки зависит от того, насколько уменьшается вероятность ошибок в системе».

Упреждающий анализ проектных процессов жизненного цикла и результатов выполняется для гарантий того, что производимый продукт будет иметь желательное качество (руководство Р-297). Это утверждение касается безопасности изделия. Это в полной мере применимо к КД. Но предупредительный характер действий предпочтителен и с точки зрения экономики и организации работ, т. к. стоимость устранения ошибок в КД, особенно на стадии освоения производства, существенно возрастает, а разработчик КД и изготовитель изделия вынуждены отвлекать достаточно много персонала для устранения ошибок в срочном порядке.

Кроме того, рассматривая процесс обеспечения качества как систему, мы можем учитывать взаимное влияние на качество таких атрибутов, как: качество КД (объект управления системы), организационная структура, документированная информация, оборудование (инфраструктура), персонал и инструменты воздействия на систему.

Суть гарантии (обеспечения) качества состоит в выполнении определенного набора предупреждающих мероприятий по определенным правилам с необходимой обратной связью. Персонал, участвующий в процессе «гарантия (обеспечение) качества», несет ответственность за мониторинг разработки с целью обеспечения:

- следования утвержденным планам, стандартам, политикам и процедурам;
- получения соответствующих данных жизненного цикла;
- разработки и верификации итоговой реализованной системы (изделия) с использованием структурированных, тщательно выверенных процессов, соответствующих заданному уровню качества.

Результаты работ по обеспечению качества и независимого мониторинга должны быть доведены для всех участников процесса разработки КД (обратная

связь, внутренняя и внешняя), все проблемы должны фиксироваться и решаться по заранее определенному алгоритму. Кроме того, необходимо иметь систему ключевых показателей эффективности (КПЭ) по качеству, которые должны быть доведены до каждого инженера-конструктора, контролера и т. д.

Для улучшения качества работ необходимы стандартизация и управление знаниями, например, путем формирования базы знаний предприятия посредством формирования справочников и руководств для конструктора с лучшими техническими решениями. Важное значение имеет достижение необходимой квалификации персонала и другие инструменты, способствующие улучшению качества КД. Процесс обеспечения качества должен гарантировать, что мероприятия разработки и верификации выполняются в соответствии с одобренными планами, стандартами и процедурами.

1.6 Выводы по первой главе

1. На основе проведенного научно-технического обзора и анализа проблемы качества конструкторской документации авиационной техники и методов его совершенствования, установлено, что одними из основных факторов, отрицательно сказывающихся на качестве конструкторской документации авиационной техники, являются работа предприятий авиационной промышленности в условиях цифрового и индивидуализированного производства, обуславливающих частые смену и модификации объектов авиационного производства при постоянном ужесточении сроков, выделяемых на конструкторскую подготовку производства авиационной техники, учитывающей пожелания конкретного потребителя.

2. Рассмотрены общие проблемы управления качеством машиностроительной продукции, основные принципы информационного менеджмента в системах менеджмента качества, проблематика качества рабочей конструкторской документации в машиностроительном производстве, методы контроля качества рабочей конструкторской документации машиностроительного назначения, проблемы авиастроительных предприятий в области качества

продукции, проблемы и задачи обеспечения качества конструкторской документации авиационной техники.

3. Произведен анализ исследовательских работ, направленных на решение проблемы качества разработки конструкторской документации на различные виды продукции и показано, что в них практически не затронут вопрос совершенствования методик и инструментария обеспечения и повышения качества рабочей конструкторской документации авиационной техники в условиях индивидуализированного производства.

4. На основании вышеизложенного подтверждена актуальность и определена цель работы: обеспечение качества процесса проектирования авиационной техники за счет разработки и реализации комплексных инструментов контроля и управления.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1) провести научно-технический обзор и анализ проблемы качества конструкторской документации авиационной техники и методов его совершенствования;

2) разработать концепцию и инструментарий совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники;

3) разработать комплексную методику совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации;

4) создать информационную систему мониторинга показателей качества конструкторской документации;

5) осуществить комплексную апробацию предложенных научно-технических и организационных решений на авиастроительном предприятии.

2 КОНЦЕПЦИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

2.1 Анализ среды разработки конструкторской документации на предприятии

В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015 [46] организация должна определить, создать и поддерживать среду, необходимую для функционирования ее процессов и достижения соответствия требованиям к продукции и услугам.

Подходящая среда, как отмечается в ГОСТ Р 58338-2018 [48], может представлять собой сочетание человеческих и физических факторов. Организация должна осуществлять мониторинг и анализ информации об этих внешних и внутренних факторах. Рассматриваемые факторы или условия при этом могут быть положительными или отрицательными.

Анализ среды предприятия – это процесс определения критически важных элементов среды, которые оказывают влияние на способность предприятия в достижении свои целей. К основным факторам следует отнести: цели, кадры, организация управления, производство, разделение труда, управленческая структура, система коммуникаций и обмена информацией. Пониманию внутренней среды (внешняя среда в работе не рассматривается) может способствовать рассмотрение факторов, связанных с ценностями, культурой, знаниями и результатами работы организации [48].

Организационная структура процесса разработки КД представляет собой совокупность конструкторских подразделений (бюро) (КБ), имеющих разную специализацию, объединенных под общим руководством начальника КБ. В процессе разработки КД участвуют подразделения, осуществляющие различные виды контроля КД – технологический контроль, метрологическая экспертиза,

нормоконтроль, и подразделения, поставляющие ресурсы для проектирования.

Важным фактором внутренней среды являются применяемые технологии выполнения работ. Среда должна способствовать обеспечению качества КД. Например, организация должна стремиться к внедрению САПР и уходить от использования бумажных чертежей. Использование нормативной документации, различных справочников и перечней способствует улучшению качества КД.

Единая среда проектирования должна обеспечить коллективную работу конструкторских бюро (КБ) над проектом с разграничением прав доступа к его составным частям, надежное хранение и быстрый поиск информации в электронных архивах, максимальное использование в новых разработках отработанных и проверенных технических решений, хранящихся в архиве, а также исключение ошибок за счет устранения нескольких источников для хранения одной и той же информации [32].

Такая среда проектирования обеспечивает работу КБ и контрольных подразделений, начиная с планирования проводимых работ до сдачи разработанных документов в архив с учетом промежуточных этапов: выдачи производственных заданий, контроля процесса и КД, технического документооборота, проведения изменений КД и прочих процессов основной деятельности процесса разработки КД [32].

Специфика работы многих отечественных проектных организаций заключается в вынужденном использовании нескольких различных 2D- и 3D-САПР. При этом конечным продуктом является проектная документация, которая должна быть оформлена в соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации ЕСКД [32].

Очень важный фактор внутренней среды – это персонал. Он создает продукт, формирует корпоративную культуру предприятия, его внутренний климат. От него, в первую очередь, зависит качество разработанной КД.

В отношении персонала должны выполняться процессы:

- оценка наличия и квалификации, обучение и продвижение персонала;
- оценка результатов труда и мотивация персонала;

– создание и поддержание корпоративной культуры и т. п.

Персонал, который участвует в разработке изделий и КД, представляет основную ценность предприятия. Его квалификация, знания и опыт часто имеют решающее значение.

В работе [72] рассмотрены факторы, влияющие на среду процесса разработки КД в АО «НЦВ Миль и Камов» – представителе предприятий-разработчиков АТ.

По результатам анализа проблем среды машиностроительных предприятий можно сделать следующие выводы:

– предприятия отрасли находятся в стадии внедрения цифровых технологий и технического перевооружения, поэтому среда разработки КД постоянно меняется;

– культура проектирования в САПР еще окончательно не сложилась;

– вследствие «вымывания» кадров до начала 2000 годов, появился разрыв в передаче опыта и знаний между поколениями конструкторов, т. к. мало конструкторов среднего возраста, как связки между молодым поколением и более опытными специалистами КБ;

– много молодых, без опыта, но порой очень амбициозных, не любящих опеку и стремящихся к самостоятельности конструкторов;

– пожилые конструкторы испытывают трудности или предубеждения при работе с электронными моделями (ЭМ), привыкшие к работе по старинке, с бумажной КД;

– один сотрудник может параллельно участвовать в нескольких проектах и зачастую он не может сосредоточиться на чем-то одном;

– при разработке ЭМ нужна более детальная начальная проработка изделия (исходные данные для проектирования), чем при бумажной технологии;

– при формировании облика изделия АТ в соответствии с конкретными требованиями заказчика под договоры предприятий-изготовителей АО «НЦВ Миль и Камов» очень ограничено во времени разработки КД;

– несмотря на большое количество ГОСТ по разработке электронных моделей, они не закрывают потребности предприятия. Приходится многие аспекты проектирования нормировать с помощью внутренних стандартов [94]. Но чтобы их разработать, необходимо накопить определенный опыт;

– отсутствуют различные справочники по нормальям, метизам, стандартным изделиям и т. д.;

– отсутствие готовой базы моделей отечественных стандартных изделий;

– от многих поставщиков КД на комплектующие изделия поступают в бумажном виде, т. к. они не готовы к такой работе. При этом перевод бумажной КД в ЭМ в АО «НЦВ Миль и Камов» способствует внесению ошибок, да и поставщики не хотят передавать КД в АО «НЦВ Миль и Камов» [72]. Есть проблемы и при адаптации ЭМ, разработанных в разных САПР;

– не все предприятия-изготовители готовы работать по электронным моделям и для использования в работе переводят КД в бумажный вид, присваивая ей статус технологической документации, при этом возникают проблемы с выгрузкой и внесением изменений в КД;

– предприятия-изготовители находятся в стадии технического перевооружения и поэтому не все конструкторы обладают знаниями об их технологических возможностях;

– технический конструкторский контроль не нормирован в ГОСТ, в отличие от других видов контроля КД.

Одни проблемы, связанные с изменением среды, можно решить достаточно быстро, а для решения других требуется много времени и усилий. Поэтому требуется разработка комплекса мероприятий, которые хоть в какой-то степени компенсируют негативное влияние этих проблем, пока они не устранены. Это характерно для переходного периода изменения среды разработки КД на многих машиностроительных предприятиях.

Таким образом, среда разработки АТ, существенно влияющая на качество продукции, способствует внедрению передовых методов обеспечения качества КД,

но постоянно меняется и не лишена проблем, которые, вероятно, и приводят к ошибкам при разработке КД.

Для формирования такой среды разработки на предприятии АТ необходимо создание системы менеджмента качества, включающей следующие компоненты [115]:

- объект управления;
- организационная структура системы;
- персонал;
- инфраструктура;
- документированная информация;
- расходные компоненты.

2.2 Анализ несоответствий в рабочей конструкторской документации

Постоянно сталкиваясь с проблемами изменения среды разработки, конструктор может совершать ошибки. Ему надо помочь обходить проблемы при разработке КД или нивелировать их влияние на качество КД. Для определения необходимого набора предупреждающих действий обеспечения качества КД необходимо исследовать природу ошибок и причины их возникновения.

Любая система, в том числе система контроля качества КД [77], состоит из множества элементов и атрибутов, например, структуры, инфраструктуры, документированной информации, технологий и людей.

Работники сотрудничают между собой при выполнении работы в ходе процесса. Ряд действий описан в нормативных документах, а другие нет, и выполняются работниками исходя из их знаний и опыта.

По утверждению, приведенному в [67], человек – лишь один из строительных материалов системы. Но при этом самый уязвимый, поскольку обладает «недокументированными функциями»: работая с ним, мы никогда до конца не знаем, что управляет его поведением, и, следовательно, не можем его предсказать с достаточной точностью.

В условиях меняющейся среды или приходя на предприятие извне, человек не ориентируется в среде предприятия и без специальной подготовки может растеряться. Частью системы работника делают знания, навыки, поведенческие мотивы общие для всех участников системы, ее корпоративной культуры. Работник должен ее воспринять, ведь предприятие – это среда, где людей формирует их практическая деятельность [67]. Но для этого нужно время и усилия, как работника, так и предприятия.

Ошибка – это упущение или неверное действие персонала при выполнении какой-либо работы или несоответствие (ошибка) в технических требованиях, при разработке КД или ее применении. Все ошибки, при выполнении работы, например, при разработке КД, люди совершают осознанно или не осознанно.

Анализ ошибок в КД показывает, что в общем случае, осознанные ошибки совершаются по следующим основным причинам:

- самоуверенности, когда работник хочет что-то улучшить, но в силу своих недостаточного опыта или знаний не может просчитать все варианты;
- недобросовестности, когда не желает выполнить все, не существенные, по его мнению, требования при отсутствии действенной системы мотивации;
- равнодушного отношения к работе (случай достаточно редкий и в данной работе не рассматривается).

Основные причины не осознанных ошибок состоят в отсутствии достаточных знаний или опыта и не надлежащих условий (среды), при которых выполняется работа, например:

- неправильно понятая работником или сформулированная руководителем задача;
- недостаточность входных данных для проектирования;
- сжатые сроки на проектирование;
- незнание требований к качеству работы внутреннего и внешнего заказчика;
- сроки превалируют над качеством;

- отсутствие необходимых для работы средств, данных и инструментов;
- слабое документирование процессов;
- недостаточный контроль со стороны руководства, в том числе методов выполнения работы и промежуточных результатов;
- слабая осведомленность работника об ошибках (своих и чужих) и лучших практиках;
- отсутствие надлежащего анализа ошибок.
- ошибка – это изменение объекта управления, а руководитель должен правильно реагировать на изменение системы.

На рисунке 2.1 представлена диаграмма Исикавы основных причин несоответствий и степеней их влияния.

Для того, чтобы разработать результативные мероприятия по компенсации и предотвращению ошибок необходимо проанализировать природу ошибок и причины их возникновения. До проведения анализа ошибок необходимо оценить среду процесса разработки КД, как важнейший фактор влияния на качество КД и ошибки, совершаемые персоналом и выявить общие проблемы.

Анализ ошибок рекомендуется проводить по результатам каждой из двух фаз разработки КД:

- по результатам контроля КД, предшествующего утверждению КД для изготовления опытных образцов;
- по результатам изготовления опытных образцов и постановки изделия на производство.

2.2.1 Несоответствия, выявленные по результатам внутреннего контроля

Одним из показателей, отражающих внутреннее качество работы предприятия-разработчика АТ применяется показатель сдачи КД с 1-го предъявления. Чем выше данное значение, тем меньше времени конструктор тратит на непроизводственные потери и тем выше эффективность работы

конструкторского бюро. При значении показателя качества – 65 % сдачи КД 1-го предъявления КБ тратит более 50 000 нормо-часов на устранение ошибок, тем самым снижается общая мощность всего конструкторского бюро. Динамика изменения количества ошибок в КД на одном из предприятий-разработчиков АТ за три года представлена в таблице 2.1.

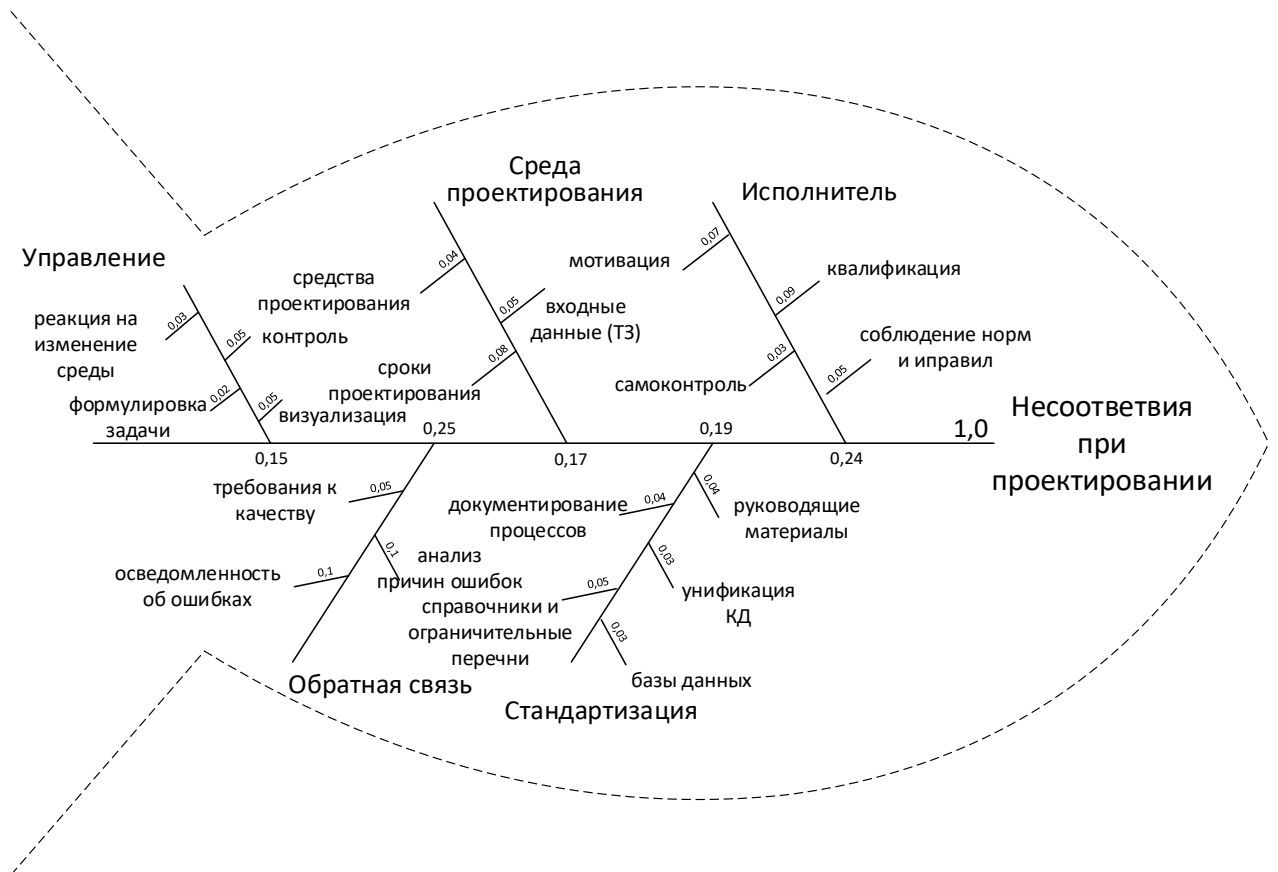


Рисунок 2.1 – Основные причины несоответствий и степени их влияния

Таблица 2.1 – Динамика изменения количества ошибок в КД

Количество, шт.:	Год проверки КД			Разница 2020-2021 гг.
	2019	2020	2021	
- сданных с 1 предъявления	61 %	76 %	93 %	17 %
- сданных со 2 предъявления	39 %	24 %	7 %	17%
- ошибок на документ	0,9	0,4	0,07	0,33

Характеристика основных ошибок, выявленных на предприятии-

разработчике АТ по результатам нормоконтроля в 2020 и 2021 годах, приведена в таблице 2.2. Классификация несоответствий, выявленных по результатам нормоконтроля в 2021 г., представлена на рисунке 2.2.

Таблица 2.2 – Основные ошибки, выявленные по результатам нормоконтроля

№	Требование	Нормативный документ	Кол-во ошибок	
			2020	2021
1	Требования к оформлению ЭМ	Локальный приказ	1848	385
2	Правила внесения изменений	ОСТ 1 00430	1162	26
3	Оформление в Teamcenter	Инструкция Teamcenter	1031	119
4	Общие требования к текстовым документам	ГОСТ Р 2.105	512	103
5	Основные надписи	ГОСТ 2.104	454	100
6	Текстовые документы	ГОСТ Р 2.106	389	94
7	Комплектность КД и наличие необходимых подписей	ГОСТ 2.111	293	180
8	Порядок внесения изменений	СТО 2.041	284	106
9	Порядок оформления конструкторской документации	СТО 2.039	262	16
10	Требования к содержанию рабочих частей электронных моделей деталей. Корректность дерева построения в среде NX	СТО 4.101	255	0
11	Основные требования к чертежам	ГОСТ 2.109	240	35
12	Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах. Сокращения	ГОСТ 2.316	253	115

№	Требование	Нормативный документ	Кол-во ошибок	
			2020	2021
13	Нанесение размеров и предельных отклонений	ГОСТ 2.307	211	95
14	Электронная структура изделия (конструктивная)	СТО 4.301	183	38
15	Правила внесения изменений	ГОСТ 2.503	177	137
16	Базы Imbase и Teamcenter	Базы Imbase и Teamcenter	172	61
17	Оформление извещений об изменении	СТО 2.046	164	126
18	Изображения — виды, разрезы, сечения	ГОСТ 2.305	112	35
19	Обозначения шероховатости поверхностей	ГОСТ 2.309	94	21
20	Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий	ГОСТ 2.314	86	7
21	Правила оформления электронных моделей деталей и сборочных единиц, разработанных в среде NX	СТО 4.150	81	24
22	Обозначение конструкторских документов	СТО 2.007	61	21
23	Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению	ГОСТ 2.701	52	0
24	Полуфабрикаты металлические, разрешенные для применения в разработках ОКБ	СТО 2.024	50	0

№	Требование	Нормативный документ	Кол-во ошибок	
			2020	2021
28	Требования к содержательной и реквизитной частям ДЭ, выполненных в форме ЭМ	СТО 4.151	23	124
29	Линии, Шрифты чертежные	ГОСТ 2.303, ГОСТ 2.304	42	7

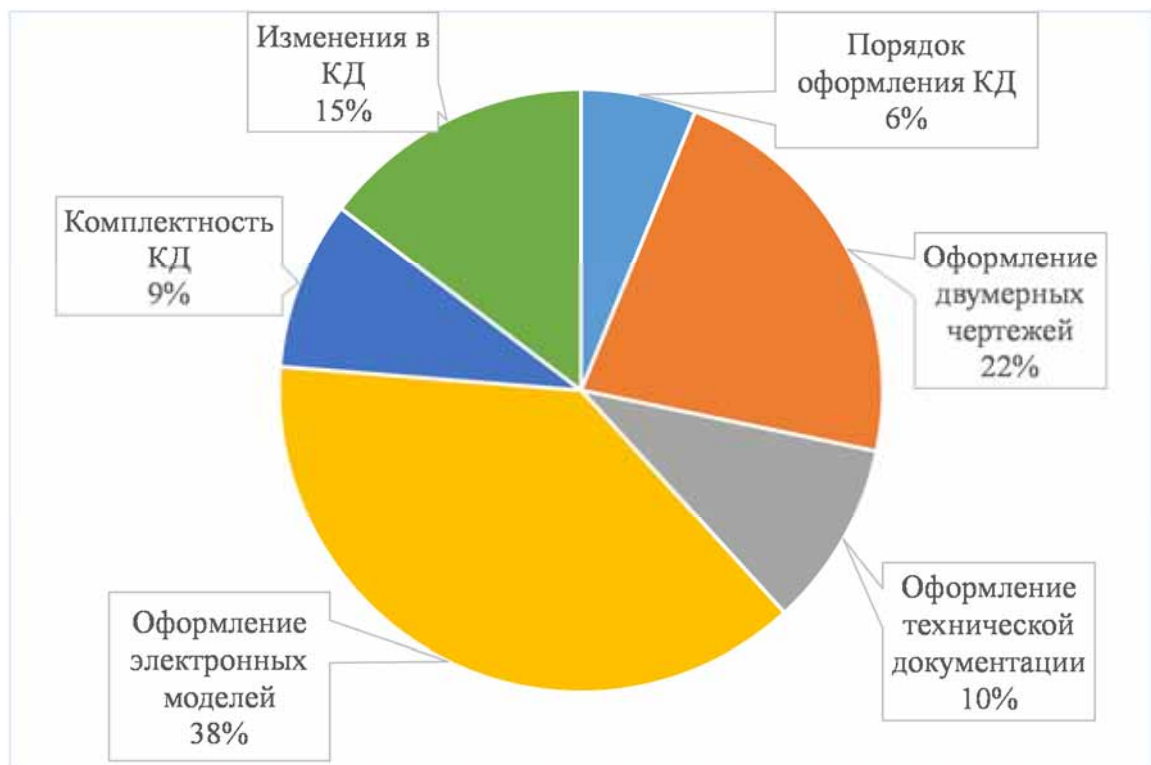


Рисунок 2.2 – Классификация несоответствий, выявленных по результатам нормоконтроля

К основным вероятным причинам ошибок, выявляемых при нормоконтроле КД, относятся:

- не знание или не понимание требований;
- отсутствие самоконтроля;
- ошибки заполнения реквизитной части связаны с переходом с системы проектирования CATIA © Dassault Systèmes на NX © Siemens PLM Software;

– невысокий уровень владения требованиями к электронным моделям разработчика КД;

– типовые ошибки регистрируются и не анализируются.

Характеристика основных ошибок, выявленных на предприятии-разработчике АТ, по результатам метрологической экспертизы КД приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные ошибки, выявленные по результатам метрологической экспертизы КД

Основные виды ошибок	Доля в общем количестве
Неверная запись предельных значений/значений параметра	0,268
Неправильный выбор/запись средств измерения	0,23
Нестандартная/неверная запись или отсутствие обозначения единиц физических величин	0,118
Отсутствие раздела МО и подписей	0,28
Некорректная терминология, несоответствующая РМГ 29-2013. Подмена понятий	0,06
Допуски/квалитеты	0,044

Основными вероятными причинами ошибок, выявляемых при МЭ КД, являются:

- недостаточная квалификация разработчиков КД в части метрологического обеспечения;
- нарушение ими правил работы со справочниками и НД;

- справочники и стандарты лучших и проверенных технических решений (руководства для конструктора) не содержат необходимой информации или сложны для понимания;
- разные базы данных поиска инструмента у конструктора и метролога;
- применение инструмента (устаревшего) из ранее выпущенной КД.

Характеристика основных ошибок, выявленных на предприятии-разработчике АТ по результатам технологического контроля КД в 2020 и 2021 годах, приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Основные ошибки, выявленные по результатам технологического контроля КД

Основные виды ошибок	Доля в общем количестве
Корректировка ТТ	0,32
Не проставлены/ошибка в размерах, шероховатостях и пр.	0,21
Покрытие	0,19
Группа контроля штамповки/поковки	0,09
Выбор материала/сортамент	0,11
Герметизация	0,03
Сварка	0,03
Маркировка	0,02

Основными вероятными причинами ошибок, выявляемых при технологическом контроле КД, являются:

- недостаточная квалификация разработчиков КД в части требований по обеспечению технологичности;
- отсутствуют справочники по технологическим ограничениям на предприятиях-изготовителях (применяемый режущий инструмент,

- размеры гальванических ванн, печь для термообработки, трубогибочное оборудование);
- отсутствует стандарт по оформлению технических требований к чертежам;
 - отсутствуют руководящие указания по проектированию для обеспечения технологичности конструкции;
 - отсутствуют руководящие указания по выбору покрытия;
 - типовые ошибки, выявляемые при технологической подготовке производства и изготовлении, не доводятся до исполнителя, не анализируются и не документируются, в следствие чего встречаются повторяющиеся замечания;
 - справочники и стандарты лучших и проверенных технических решений (руководства для конструктора) не содержат необходимой информации или сложны для понимания.

2.2.2 Несоответствия, выявленные предприятиями-изготовителями авиационной техники

Характеристика основных ошибок, выявленных при изготовлении опытных образцов АТ, приведена в таблице 2.5. Классификация несоответствий, выявленных предприятиями-изготовителями АТ, представлена на рисунке 2.3.

Основными вероятными причинами ошибок, выявленных при изготовлении опытных образцов АТ, являются:

- ограничительный перечень применяемых стандартных изделий (крепёж, профиль, материалы) не согласован с предприятием-изготовителем;
- отсутствуют справочники по технологическим ограничениям на предприятиях-изготовителях (применяемый режущий инструмент, размеры гальванических ванн, печь для термообработки,

- трубогибочное оборудование);
- типовые ошибки, выявляемые при технологической подготовке производства и изготовлении, не доводятся до исполнителя, не анализируются и не документируются, в следствии чего встречаются повторяющиеся замечания;

Таблица 2.5 – Основные виды ошибок, выявленных при изготовлении опытных образцов АТ

Основные виды ошибок	% в общем количестве
Макет, в том числе:	37
Пересечение деталей	15
Позиционирование или отсутствие крепежа	11
Отсутствие/несогласованность отверстий под крепеж	5
Собираемость, изготовление и эксплуатация	4
Отсутствие частей КД, структура изделия	2
Технология, в том числе:	33
Замена покрытия	8
Корректировка технических требований	12
Отсутствие оборудования, нетехнологичность	7
Замена марки материала, сортамент	5
Отсутствие маркировки	0,3
Группа контроля штамповка (поковка)	0,3
Герметизация	0,4
Метрологические требования	9
Техническое решение	7
Улучшения (предложения предприятия-изготовителя)	7
Актуальность документации (управление версионностью)	3
Прочее	6

- отсутствует мотивация конструктора на качественную работу, так как все ошибки будут устранены конструкторским отделом предприятия-изготовителя.

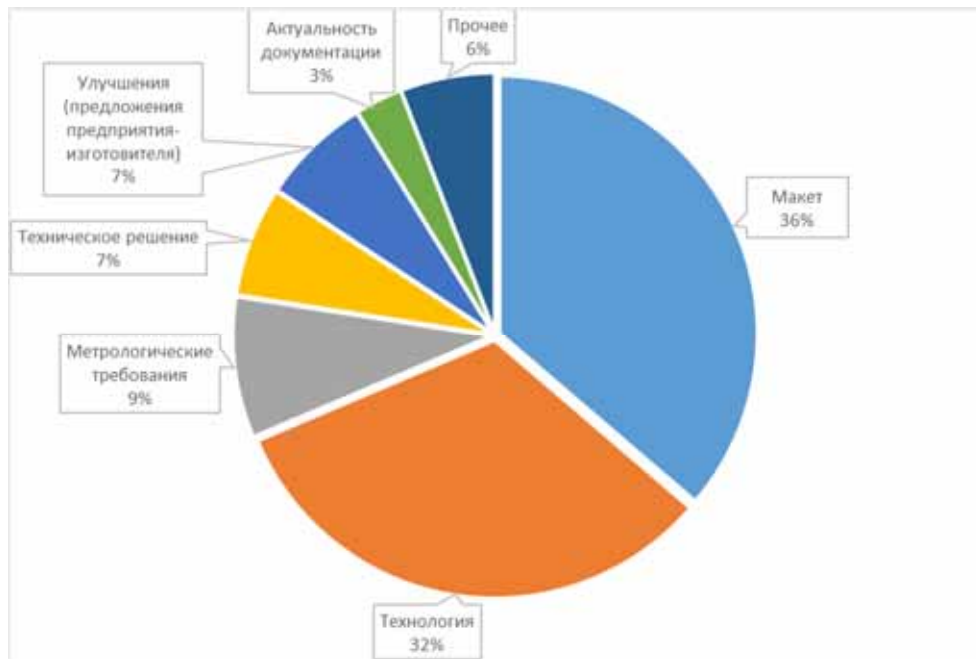


Рисунок 2.3 – Классификация несоответствий, выявленных предприятиями-изготовителями АТ

2.3 Основные направления концепции совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации

Проведенный выше анализ характерных ошибок конструкторов при разработке КД, совершаемых на различных стадиях разработки, а также анализ системных причин, совершаемых осознанных и неосознанных ошибок, позволил сделать следующие выводы и разработать основные направления улучшения качества конструкторской документации.

1. Среда разработки КД, существенно влияет на ее качество.
2. Анализ среды разработки КД показывает, что на разных предприятиях она существенно отличается и постоянно меняется.
3. Постоянно сталкиваясь с проблемами изменения и недостатками среды разработки, конструктор может совершать ошибки. Требуется помощь в решении

проблем при разработке КД или нивелировать их влияние на качество КД.

4. Требуется разработка комплекса мероприятий, которые хоть в какой-то степени нивелируют (компенсируют) негативное влияние этих проблем, пока они не устранены. Это характерно для переходного периода изменения среды разработки КД на многих машиностроительных предприятиях.

5. Для того, чтобы разработать результативные мероприятия по компенсации и предотвращению ошибок персонала необходимо проанализировать природу ошибок и причины их возникновения.

6. Исходя из анализа среды и ошибок персонала предложена концепция совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники, предусматривающая реализацию следующих мероприятий:

- управление изменяющимися требованиями;
- выявление ошибок и несоответствий путем проверки формальных требований (внутренняя обратная связь);
- создание надежной обратной связи (как внутренней, так и внешней) с регистрацией ошибок на всех этапах и доведения ошибок и их причин до исполнителя;
- создание механизма анализа корневых причин по всем отклонениям, проведение анализа причин и выработка корректирующих мероприятий;
- введение КПЭ и визуализация результатов контроля и применения КД с обеспечением наглядности показателей и динамики их изменения;
- стандартизация процедур – документирование лучших технических решений, работа со справочниками, руководящими указаниями для разработчика, стандартизация процесса проектирования, сохранение знаний;
- управление квалификацией исполнителей с развитием системы внутреннего обучения и обмена знаниями, доведения требований до исполнителей, оценки и повышения их квалификации.

7. Во всех мероприятиях должен быть предусмотрен контроль выполнения процессов, который гарантирует, что в организации внедрены все методики и

процедуры, обеспечивающие постоянную обратную связь и поддержку коммуникаций между руководством предприятия и проектными командами. Цель контроля выполнения процессов – сблизить руководство и команды, добиться улучшения процесса проектирования и разработки вместе и в соответствии с требуемыми стандартами качества [116].

8. Необходимо разработать методику установления целевых значений показателей качества, позволяющую определять оптимальный на данной стадии уровень качества КД с точки зрения рационального распределения ресурсов между подразделениями организации.

2.4 Комплексный показатель качества процесса разработки конструкторской документации

Оценка качества процесса разработки конструкторской документации, является составной частью системы бездефектного проектирования, основанного на принципах бережливого производства, которая устанавливает полную ответственность непосредственных исполнителей – конструкторов и руководителей конструкторских подразделений за качество выполняемой работы.

Для количественной оценки качества процесса разработки КД предлагается использовать комплексный показатель качества – $K_{КД}$, значение которого определяется отношением суммы комплексных показателей качества второго уровня к их количеству:

$$K_{КД} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n},$$

где i – номер комплексного показателя качества второго уровня;

K_i – комплексный показатель качества второго уровня;

n – количество комплексных показателей качества второго уровня (в данном исследовании принято $n = 4$).

Значения комплексных показателей качества второго уровня нормируются с тем, чтобы их значения находились в интервале $0 \leq K_i \leq 1$.

Для расчёта $K_{\text{КД}}$ используется сумма комплексных показателей качества второго уровня, указанных в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Номенклатура комплексных показателей качества второго уровня

K_i	Наименование комплексного показателя качества второго уровня
K_1	Коэффициент количества ошибок на документ
K_2	Коэффициент сдачи с первого предъявления
K_3	Коэффициент внешнего качества
K_4	Коэффициент своевременности рассмотрения запросов на изменение КД

С учётом выбранных комплексных показателей качества второго уровня K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , комплексный показатель качества процесса разработки КД $K_{\text{КД}}$ будет определяться по формуле:

$$K_{\text{КД}} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4}.$$

Таким образом, так как значение любого комплексного показателя качества второго уровня находится в интервале

$$0 \leq K_i \leq 1,$$

то значение комплексного показателя качества процесса разработки КД также находится в интервале:

$$0 \leq K_{\text{КД}} \leq 1.$$

Комплексный показатель качества процесса разработки конструкторской документации используется руководством организации для оценки функционирования системы менеджмента качества, в части определения оценки качества процесса разработки КД и является основой для выработки необходимых управляющих решений в системе управления качеством разработки КД и

премирования разработчиков КД.

Ниже подробно рассмотрены комплексные показатели качества второго уровня.

2.4.1 Количество ошибок на один конструкторский документ

Для количественной оценки качества выпускаемой КД применяется комплексный показатель качества второго уровня – показатель количества ошибок на один документ K_1 , значение которого определяется как среднее арифметическое от суммы единичных показателей качества по формуле:

$$K_1 = \frac{\sum_{j=1}^{n_1} Z_j}{n_1},$$

где j – номер единичного показателя качества;

Z_j – единичный показатель качества;

n_1 – количество единичных показателей качества (в данном исследовании принято $n_1 = 3$).

Значения единичных показателей качества нормируются с тем, чтобы их значения находились в интервале $0 \leq Z_j \leq 1$.

Для определения качества выпускаемой КД K_1 используются единичные показатели Z_j , которые приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Номенклатура единичных показателей качества выпускаемой КД

Z_j	Наименование единичного показателя качества выпускаемой КД
Z_1	Коэффициент качества КД, прошедшей нормоконтроль
Z_2	Коэффициент качества КД, прошедшей метрологическую экспертизу
Z_3	Коэффициент качества КД, прошедшей технологический контроль

– Z_1 – коэффициент качества КД, прошедшей нормоконтроль, определяется как отношение количества ошибок к общему объёму проверяемых нормоконтролем документов, выраженному в количестве документов;

– Z_2 – коэффициент качества КД, прошедшей метрологическую экспертизу, определяется как отношение количества ошибок к общему объёму документов прошедших метрологическую экспертизу, выраженному в количестве документов;

– Z_3 – коэффициент качества КД, прошедшей технологический контроль определяется как отношение количества ошибок к общему объёму документов прошедших технологический контроль, выраженному в количестве документов.

Таким образом, комплексный показатель качества второго уровня – показатель количества ошибок на один документ K_1 будет определяться по формуле:

$$K_1 = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{3}.$$

Каждый из единичных показателей Z_j определяется по формуле:

$$Z_j = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n_1} N_j p_j}{F},$$

где j – номер единичного показателя качества;

N_j – коэффициент, учитывающий вес видов замечаний, $\sum_{j=1}^{n_1} N_j = 1$;

p_j – количество ошибок установленной категории;

F – количество проверенной документации.

2.4.2 Сдача конструкторской документации с первого предъявления

В данной работе конструкторским документом, сданным с первого предъявления, считается документ, который проверен и подписан в установленном порядке (на каждом этапе проверки) и в котором во время проведения проверки не выявлено ни одной ошибки. Тогда комплексный показатель качества второго уровня – показатель сдачи КД с первого предъявления K_2 – определяется как отношение количества документации принятой с первого предъявления к общему количеству проверенной КД

$$K_2 = \frac{F_{N1}}{F_N},$$

где F_{N1} – количество проверенной и подписанной документации с первого предъявления за отчётный период (по каждому этапу проверки), выраженное в количестве документов в бумажном или электронном виде;

F_N – общее количество документации, предъявленное на проверку за отчётный период и выраженное в количестве документов в бумажном или электронном виде.

2.4.3 Внешнее качество КД

Коэффициент внешнего качества КД или бездефектного проектирования K_3 определяется как отношение суммы количества извещений (извещения об изменении (ИИ), предварительные изменения (ПИ)), выпущенных к КД для устранения в КД конструктивных ошибок (с шифрами 7, 70-77 по ОСТ 1 00430, таблица 2.8 [86]), к общему количеству извещений ИИ и ПИ, выпущенных за отчётный период по формуле:

$$K_3 = 1 - \frac{N_{ИИ7} + N_{ПИ7}}{N_{ИИ} + N_{ПИ}},$$

где $N_{ИИ7}$ – количество ИИ, выпущенных к КД для устранения конструктивных ошибок за отчётный период (с шифрами 7, 70-77 по ОСТ 1 00430);

Таблица 2.8 – Классификатор причин изменений по ОСТ 1 00430 [86]

Причина изменения	Шифр ошибки
Устранение конструктивных и технологических ошибок	7
Ошибки в размерах, конструкции, расчете	70
Ошибки в обозначении, наименовании и т. п.	71
Ошибки в графическом изображении	72
Ошибки в технических требованиях	73
Ошибки в техническом описании, ТУ, инструкции по эксплуатации и т. п.	74
Ошибки в ИИ	75
Ошибки в ПИ	76
Некомплектность ИИ	77

$N_{ПИ7}$ – количество ПИ, выпущенных к КД для устранения конструктивных ошибок за отчётный период (с шифрами 7, 70-77 по ОСТ 1 00430);

$N_{ИИ}$ – общее количество ИИ, выпущенных к КД за отчётный период;

$N_{ПИ}$ – общее количество ПИ, выпущенных к КД за отчётный период;

Показатель качества бездефектного проектирования – K_3 будет равен единице при отсутствии ИИ или ПИ, выпущенных в связи с конструктивными ошибками, а также при отсутствии извещений (ИИ, ПИ) к КД за отчётный период, либо будет стремиться к нулю при увеличении конструктивных ошибок.

2.4.4 Своевременность реагирования на устранение замечаний

Коэффициент своевременности рассмотрения изменений, поступающих от предприятий-изготовителей, K_4 рассчитывается по формуле:

$$K_4 = \frac{R_{ИИ} + R_{ПИ}}{P_{ИИ} + P_{ПИ}},$$

где $R_{ИИ}$ – количество своевременно рассмотренных ИИ (в срок не более 10 календарных дней), поступивших от предприятия-изготовителя, в течение месяца, предшествующего отчётному месяцу;

$R_{ПИ}$ – количество своевременно рассмотренных ИИ (в срок не более 10 календарных дней), поступивших от предприятия-изготовителя, в течение месяца, предшествующего отчётному месяцу;

$P_{ИИ}$ – общее количество ИИ, поступивших от предприятия-изготовителя, в течение месяца, предшествующего отчётному месяцу;

$P_{ПИ}$ – общее количество всех ПИ, поступивших от предприятия-изготовителя, в течение месяца, предшествующего отчётному месяцу.

Коэффициент своевременности рассмотрения извещений, поступающих от предприятий-изготовителей, K_4 будет равен единице при своевременном (в срок не более 10 рабочих дней) рассмотрении полного объёма ИИ и ПИ, поступивших на рассмотрение в конструкторское бюро, либо при отсутствии извещений от предприятия-изготовителя за отчётный период, а также будет стремиться к нулю при увеличении количества не своевременно рассмотренных извещений.

2.5 Назначение целевых значений показателей качества процесса разработки конструкторской документации

Предприятия при решении задач, связанных с обеспечением и повышением качества продукции, сталкиваются с вопросом определения целевых значений показателей качества, который рядом исследователей [6, 24, 35, 62, 66, 81, 120 и

др.] предлагается решать на основе оптимизации затрат различных ресурсов на качество – обычно финансовых, а также временных, трудовых, материальных и т. д. Под данными ресурсами, в соответствии с [62], понимаются затраты ресурсов, которые необходимо понести, чтобы обеспечить удовлетворенность потребителя продукцией (услугами) или достичь соответствующего уровня качества продукции. В структуре затрат ресурсов на качество обычно выделяют 4 категории затрат [62, 81]: на предупредительные мероприятия, на контроль, на внутренние и внешние дефекты.

Известна теоретическая зависимость затрат от уровня качества продукции по основным видам затрат и установлено, что задача оптимизации затрат на качество продукции эквивалентна задаче максимизации прибыли (рисунок 2.4) [81]. Минимальные затраты соответствуют рациональному целевому значению соответствующего показателя качества продукции.

Вправо и влево от точки минимальных затрат существует некоторая «область безразличия», которая считается оптимальной с точки зрения величины затрат (рисунок 2.5) [81]. Поэтому для предприятий актуальной является задача определения параметров этой области с целью оптимизации величины затрат ресурсов определенного вида на качество продукции.

С целью определения рационального уровня качества КД и, соответственно, оптимального уровня затрат на качество КД, в условиях предприятия-разработчика АТ произведен статистический анализ взаимозависимостей указанных выше категорий затрат на качество и качества КД, определяемого представленными выше комплексными показателями качества процесса разработки конструкторской документации первого и второго уровней.

Полученные в результате исследования процесса разработки КД на предприятии-разработчике АТ статистические данные о показателе – проценте сдачи КД с первого предъявления – представлены в таблице 2.9.

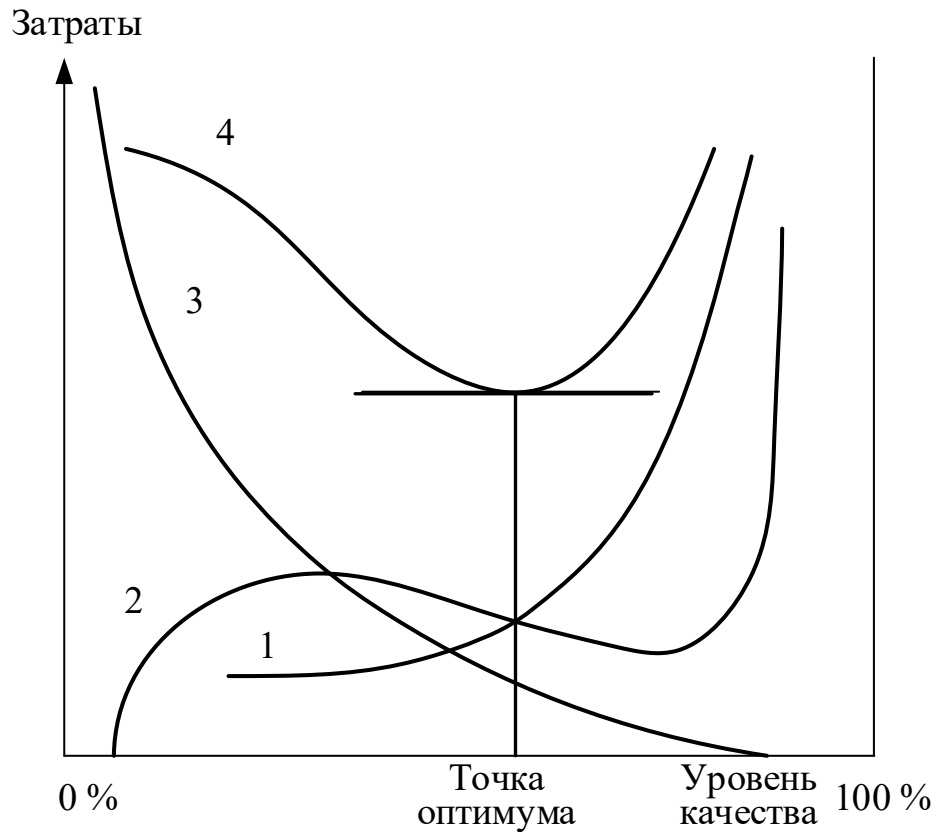


Рисунок 2.4 – Теоретическая зависимость затрат от уровня качества
(по основным видам затрат: 1 – превентивные затраты;
2 – затраты на оценку (контроль) качества; 3 – потери от брака;
4 – суммарные затраты)

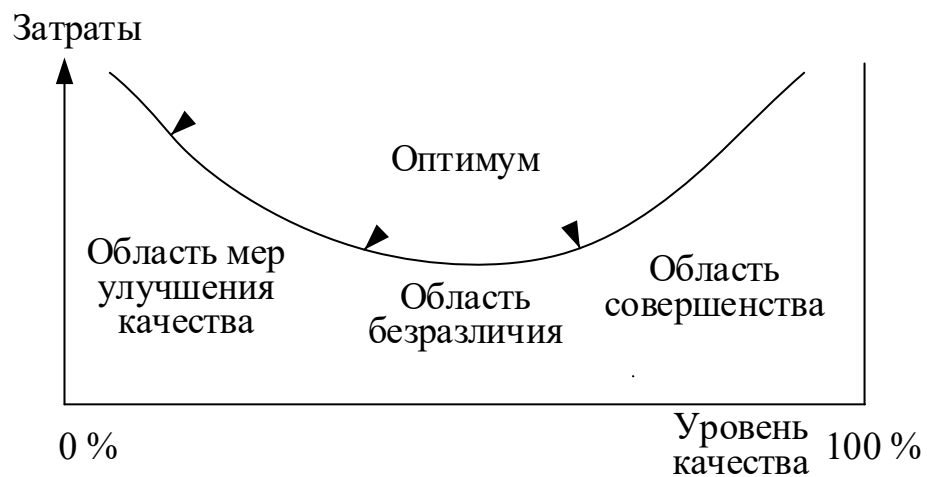


Рисунок 2.5 – Кривая затрат на обеспечение качества

На рисунках 2.6 и 2.7 представлены зависимости приведенных в таблице 2.9 затрат от величины процента сдачи конструкторской документации с первого предъявления и отдельно суммарных затрат на качество соответственно.

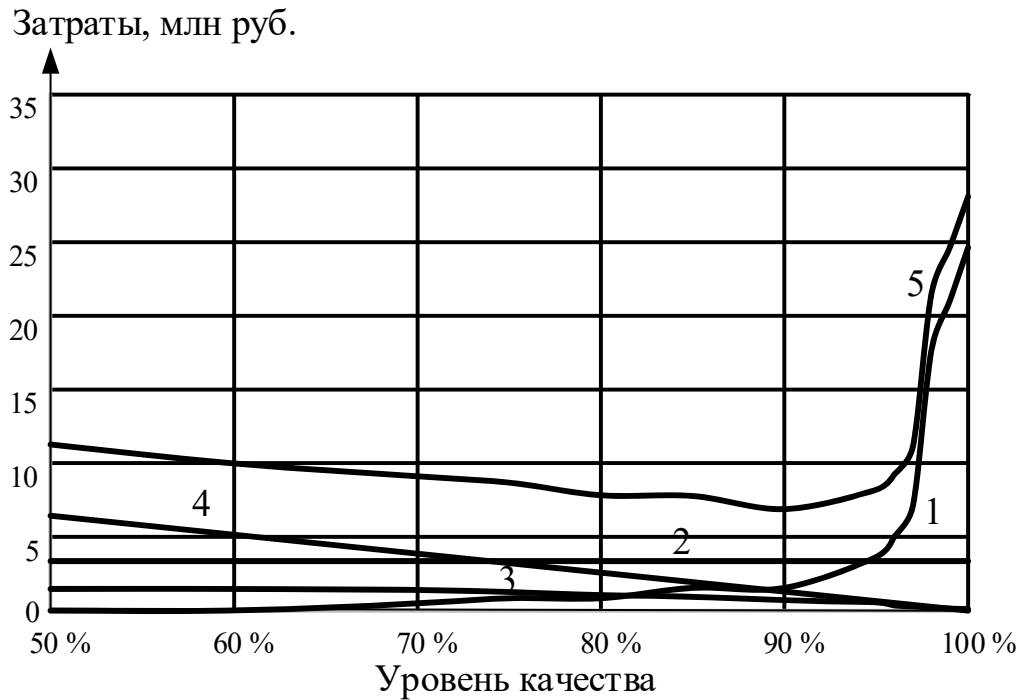


Рисунок 2.6 – Зависимость затрат на качество КД (млн руб.) от процента сдачи конструкторской документации с первого предъявления (по основным видам затрат: 1 – затраты на мероприятия по обеспечению качества; 2 – затраты на контроль качества; 3 – затраты на устранение внешних ошибок; 4 – затраты на устранение внутренних ошибок; 5 – суммарные затраты)

Чтобы определить оптимальный уровень суммарных затрат на качество КД и соответствующий им процент сдачи конструкторской документации с первого предъявления необходимо проведение регрессионного анализа представленных в таблице 2.9 статистических данных и получение методом наименьших квадратов регрессионной зависимости суммарных затрат на качество КД (млн руб.) от процента сдачи конструкторской документации с первого предъявления, например, по описанной в [55] методике. .

Таблица 2.9 – Статистические данные взаимосвязности качества КД и затрат на качество

Комплексный показатель	Процент сдачи конструкторской документации с первого предъявления												
	50	60	70	75	80	85	90	95	96	97	98	99	100
Затраты на устранение внутренних ошибок в месяц, нормо-час	9200	7360	5520	4600	3680	2760	1840	920	736	552	368	184	0
Затраты на устранение внешних ошибок в месяц, нормо-час	2100	2100	2000	1800	1500	1350	1000	800	500	400	300	200	150
Затраты на устранение внутренних ошибок в месяц, млн руб.	6,44	5,152	3,864	3,22	2,576	1,932	1,288	0,644	0,5152	0,3864	0,2576	0,1288	0
Затраты на устранение внешних ошибок в месяц, млн руб.	1,47	1,47	1,4	1,26	1,05	0,945	0,7	0,56	0,35	0,28	0,21	0,14	0,105
Средний норматив трудоемкости на разработку формата А1, нормо-час	12	12	12	12	12	12	18	18	18	18	18	18	18
Затраты на мероприятия по обеспечению качества, нормо-час	0	0	700	1200	1200	2200	2200	5200	7200	10200	25200	30000	35200
Затраты на контроль качества КД в месяц, нормо-час	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800
Затраты на мероприятия по обеспечению качества, млн руб.	0	0	0,49	0,84	0,84	1,54	1,54	3,64	5,04	7,14	17,64	21	24,64
Затраты на контроль качества КД в месяц, млн руб.	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36
Среднее количество выпускаемых документов в месяц, ед.	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300

Комплексный показатель	Процент сдачи конструкторской документации с первого предъявления												
	50	60	70	75	80	85	90	95	96	97	98	99	100
Средняя трудоемкость на устранение ошибок при возврате КД (внутренняя), нормо-час	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Себестоимость нормо-часа, руб.	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700	700
Суммарные затраты на качество, млн руб.	11,27	9,982	9,114	8,68	7,826	7,777	6,888	8,204	9,2652	11,1664	21,4676	24,6288	28,105

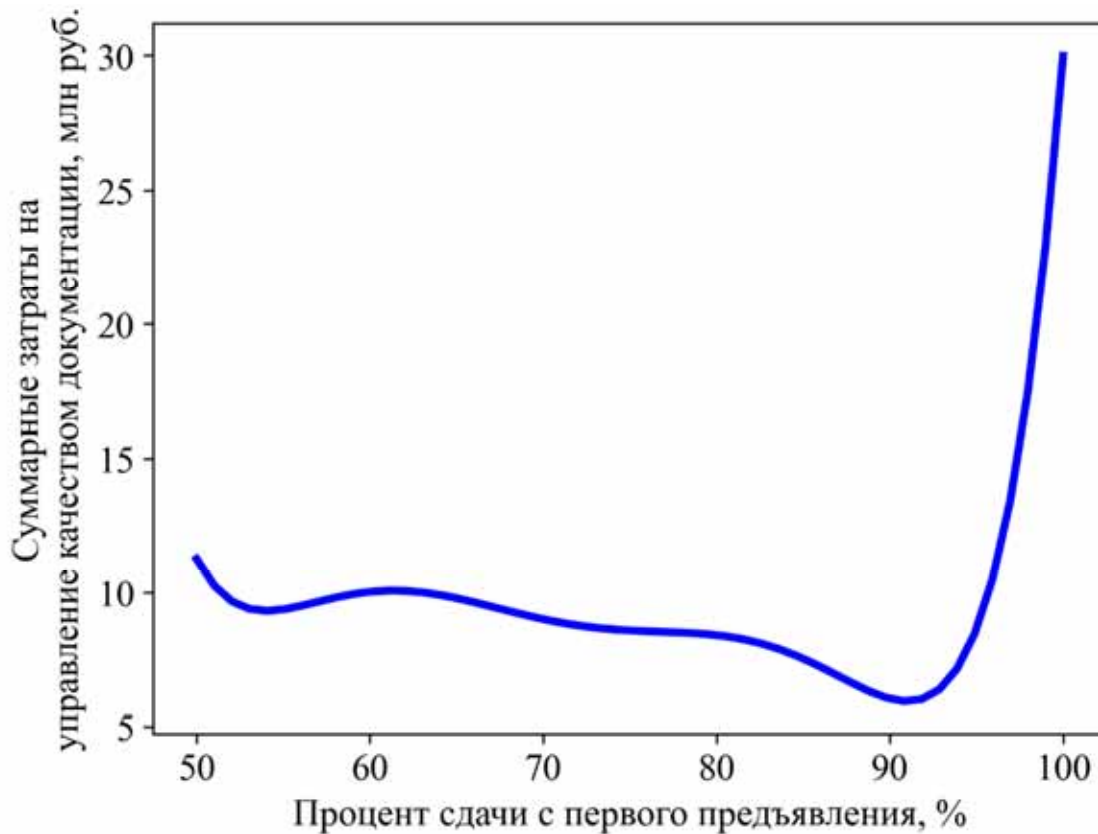


Рисунок 2.7 – Зависимость суммарных затрат на качество КД (млн руб.) от процента сдачи конструкторской документации с первого предъявления

При этом ищется полиномиальная регрессионная зависимость вида

$$y(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n,$$

где $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ – коэффициенты регрессии;

n – степень полинома.

Для поиска оптимального значения $y(x)$ берется первая производная данной регрессионной зависимости $\frac{dy(x)}{dx}$ и решается уравнение вида $\frac{dy(x)}{dx} = 0$. Так как в общем виде уравнение $\frac{dy(x)}{dx}$ имеет порядок, больший первого, то получается несколько экстремумов, например, соответствующих перегибам кривой на рисунке 2.7. Поэтому из данных экстремумов определяется глобальный оптимум,

минимизирующий или максимизирующий функцию $y(x) \rightarrow opt$. В данном случае ищется минимальное значение $y(x) \rightarrow \min$.

С целью компьютеризации данного подхода на языке Python разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее производить регрессионный анализ статистических данных затрат на качество КД, искать минимальное значение суммарных затрат на качество КД и определять параметры области безразличия затрат на качество.

С помощью разработанного программного обеспечения произведен регрессионный анализ статистических данных, представленных в таблице 2.9. При этом получена следующая регрессионная зависимость суммарных затрат на качество КД (млн руб.) от процента сдачи конструкторской документации с первого предъявления

$$y(x) = 152741,29x^6 - 660084,67x^5 + 1179011,03x^4 - 1113858,99x^3 + \\ + 586896,48x^2 - 163495,07x + 18819,93.$$

При этом значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,951$.

Первая производная от данной регрессионной зависимости имеет вид

$$\frac{dy(x)}{dx} = 916447,74x^5 - 3300423,35x^4 + 4716044,12x^3 - 3341576,97x^2 + \\ + 1173792,96x - 163495,07.$$

В данных зависимостях y – суммарные затраты на качество КД; x – процент сдачи КД с первого предъявления.

В результате решения уравнения

$$916447,74 x^5 - 3300423,35 x^4 + 4716044,12 x^3 - 3341576,97 x^2 + \\ + 1173792,96 x - 163495,07 = 0$$

определено оптимальное значение процента сдачи КД с первого предъявления $K_{2opt} = 91,02\%$. При этом минимальное значение суммарных затрат на качество КД составит 5,93 млн руб.

Для определения области безразличия суммарных затрат на качество КД (см. рисунок 2.8) назначен уровень нечувствительности в 5 %. Для данных условий он равен 6,23 млн руб. При этом левая граница зоны нечувствительности $K_{2Л} = 89,08\%$, а правая – $K_{2П} = 92,56\%$.

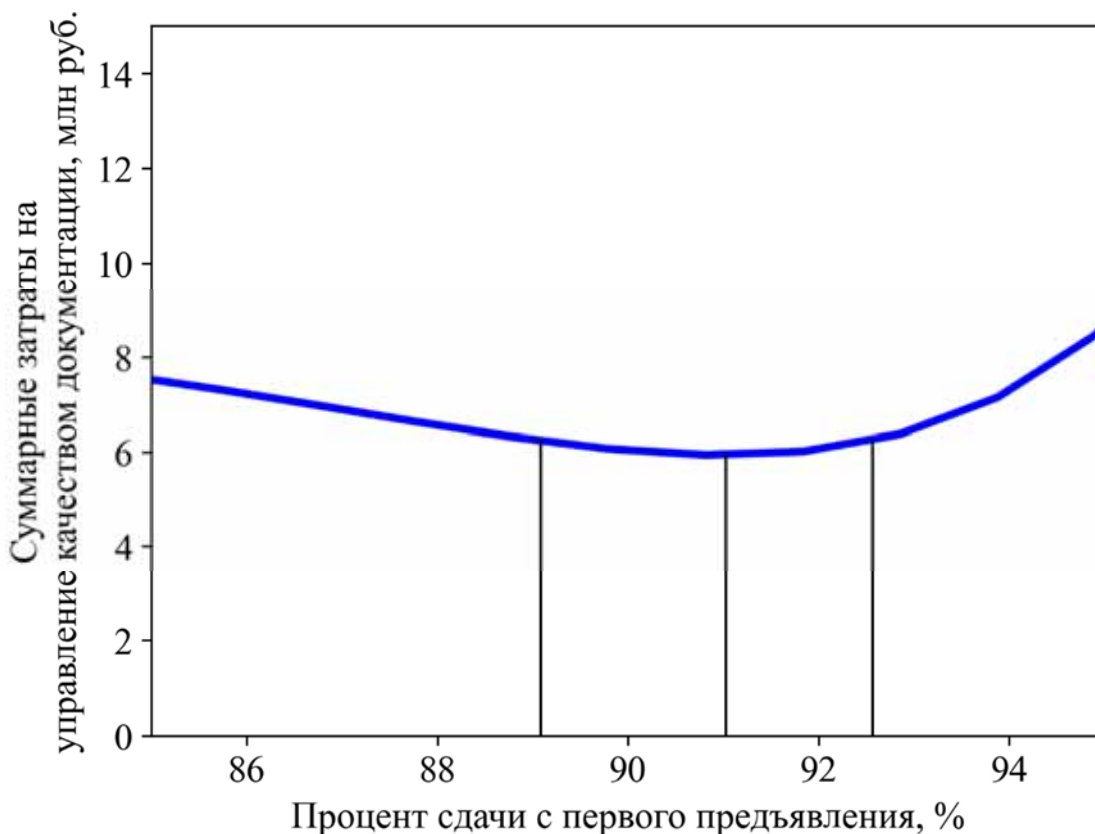


Рисунок 2.8 – Область безразличия суммарных затрат на качество КД

Таким образом, в качестве цели в области качества следует установить значение комплексного показателя качества второго уровня – показателя сдачи КД с первого предъявления $K_{2ОПТ} = 91,02\%$. При этом нахождение фактического значения данного показателя в границах $89,08 \leq K_2 \leq 92,56\%$ будет гарантировать оптимальный уровень затрат на качество.

При значениях показателя сдачи КД с первого предъявления выше уровня 92,56 % суммарные затраты на обеспечение качества начинают стремительно расти, превышая при этом возможный эффект от улучшения качества КД.

2.6 Выводы по второй главе

1. В соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 9001-2015 проведен анализ внутренней среды предприятия-разработчика АТ. По его результатам выделены критически важные элементы среды, которые оказывают существенное влияние на способность предприятия в достижении качества рабочей КД: цели, кадры, организация управления, производство, разделение труда, управленческая структура, система коммуникаций и обмена информацией.

2. В результате анализа ошибок в КД установлено, что в общем случае, осознанные ошибки совершаются по следующим основным причинам:

- самоуверенности, когда работник хочет что-то улучшить, но в силу своих недостаточного опыта или знаний не может просчитать все варианты;
- недобросовестности, когда не желает выполнить все, не существенные, по его мнению, требования при отсутствии действенной системы мотивации;
- равнодушного отношения к работе (случай достаточно редкий и в данной работе не рассматривается).

3. Предложена концепция совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники предусматривающая управление изменяющимися требованиями, надежные внутреннюю и внешнюю обратные связи, механизм анализа причин отклонений и выработки корректирующих мероприятий, визуализацию, стандартизацию, управление квалификацией исполнителей.

4. Разработаны комплексный показатель качества процесса разработки конструкторской документации, включающий четыре комплексных показателя качества второго уровня: количество ошибок на документ, сдача КД с первого предъявления, внешнее качество, своевременность рассмотрения запросов на изменение КД, и зависимости для определения их значений.

5. Разработана методика назначения целевых значений комплексных показателей качества процесса разработки конструкторской документации на основе регрессионного анализа зависимости затрат ресурсов на качество КД.

Показано, что в качестве целевого значения комплексного показателя качества второго уровня – показателя сдачи КД с первого предъявления – следует установить значение $K_{2\text{опт}}=91,02\%$. При этом нахождение фактического значения данного показателя в границах $89,08\leq K_2\leq 92,56\%$ будет гарантировать оптимальный уровень затрат на качество. При значениях показателя сдачи КД с первого предъявления выше уровня $92,56\%$ суммарные затраты на обеспечение качества начинают стремительно расти, превышая при этом возможный эффект от улучшения качества КД.

3 ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОЧЕЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

3.1 Разработка требований к реализации основных мероприятий по обеспечению качества конструкторской документации

Авиационная техника – сложный высокотехнологичный продукт, состоящий из десятка тысяч деталей и сборочных единиц, к которому предъявляется большое количество требований. Эти требования разделены по зонам ответственности: соответствие технических решений проверяется в рамках группы конструкторов, за технологическую проработку конструкции отвечает группа технологов, за метрологический контроль, контроль масс и другие сферы деятельности также отвечают соответствующие отделы, а в отделе нормоконтроля осуществляется проверка соответствия формальным требованиям к оформлению конструкторской документации.

Поэтому в диссертационной работе установлены соответствующие требования к реализации основных мероприятий предложенной в главе 2 концепции совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники.

3.1.1 Выявление ошибок и несоответствий путем проверки формальных требований

По результатам внутреннего анализа был сделан вывод о необходимости совершенствования внутренних процессов, направленных на подтверждение соответствия КД требованиям по оформлению, изложенным в национальных стандартах.

Одним из способов подтверждения соответствия результатов разработки требованиям были выбраны чек-листы [117].

Чек листы должны быть разработаны для каждого типа документов, учитывать их ключевые признаки, по которым объект проверки данного типа может быть признан соответствующим или не соответствующим предъявляемым требованиям. Признаки должны быть сформулированы и описаны в виде критериев соответствия.

Определение основных критериев соответствия можно производить на основании экспертной оценки. Особое внимание надо уделять типовым вопросам, часто повторяющимся ошибкам и вопросам, которые часто трактуются по-разному.

Разработка и применение чек-листов должно состоять из следующих мероприятий [117]:

- определение типов проверяемых объектов;
- определение критериев соответствия для каждого типа объекта;
- составление свода правил по каждому типу объекта в чек-листы;
- запуск пилотного проекта в соответствии с приказом о внедрении;
- согласование содержания чек-листов с КБ;
- сбор статистики и определение открытых вопросов;
- создание оперативных инструкций;
- обучение персонала.

3.1.2 Требования по созданию надежной внешней обратной связи

Процесс обратной связи от потребителя является важным компонентом СМК, позволяющий обеспечивать ее непрерывное совершенствование. Качество обратной связи от потребителя (внутреннего или внешнего) является одним из основных показателей деятельности, который может использоваться для того, чтобы судить об общей результативности СМК [119].

Передавая разработанную КД, предназначенную для опытного производства, на предприятие-изготовитель, иногда расположенное на другом конце страны, перед разработчиком стоит не простая задача – как обеспечить эффективное

получение обратной связи по качеству разрабатываемой КД. Построение полноценной системы обратной связи между предприятием-разработчиком и предприятиями-изготовителями имеет первостепенное значение для авиационной промышленности.

К обратной связи по качеству в данной работе относятся все замечания, ошибки, предложения к КД, получаемые на контроле и от предприятия-изготовителя (потребителя КД).

Условия успешности совместной работы предприятий диктуют следующие требования к обратной связи по качеству КД [119]:

1. Оперативность получения информации.
2. Адресность информации – выявленная проблема должна в обязательном порядке доводиться до исполнителя, допустившего ошибку и проверяющего, пропустившего ошибку.
3. Полнота информации – объем получаемой информации должен позволять оперативно принимать решение.
4. Структурированность информации – поступающая информация должна иметь четкую структуру данных (например, по виду КД, по видам поверки, по изделию и т. д.) для отдельного работника, подразделения для принятия решения и последующей обработки статистики.
5. Оперативность доведения выявленных проблем до всех исполнителей, подразделений и предприятий, участвующих в разработке изделия по кооперации.
6. Доступность информации в формате онлайн.

Форма обратной связи с внешними и внутренними заказчиками (внутренняя и внешняя) обеспечивает непрерывное улучшение качества работы за счет внедрения стандартных процедур, направленных на устранение причин возникновения ошибок. Постоянная обратная связь служит «фильтром», который не допускает допуск несоответствующей продукции на следующий этап процесса и позволяет сформировать правильное мышление с самого начала.

3.1.3 Требования по созданию механизма анализа корневых причин, проведению анализа причин и выработке корректирующих мероприятий

Практическое решение проблем – это испытанные методы, инструменты и технологии, используемые для выявления и решения проблем во всех областях. Установив определенный механизм решения проблем, можно добиться систематического и устойчивого устранения несоответствий.

Механизм анализа корневых причин, проведения анализа причин и выработки корректирующих мероприятий в общем случае должен предусматривать выполнение ряда последовательных шагов:

- выбрать проблему;
- понять ситуацию, сформулировать и задокументировать проблему;
- определить причин возникновения проблемы;
- выработать решение.

Определение причин, как правило, должно выполняться по определенному шаблону с применением стандартных алгоритмов анализа, например, 8D, 5 «почему?», диаграмма Исикавы и др. [6, 24, 35, 81, 120].

Анализ и решение проблем должны проводиться временными командами, предназначенными для анализа и поиска первопричины одной заранее определенной проблемы. Членами команды должны быть работники подразделений, которых непосредственно касается данная проблема.

Решение обязательно должно содержать предложения по содержанию корректирующих мероприятий.

3.1.4 Требования по введению ключевых показателей эффективности и визуализации результатов контроля и применения КД

Необходимо выбрать и определить КПЭ персонала и подразделений для оценки качества разработанной КД. Эти показатели должны использоваться как для мотивации персонала, так и при управлении квалификацией персонала.

Результаты оценки должны доводиться до всего персонала публичным способом, например, с помощью визуализации результатов по разработке КД [121].

Визуализация результатов работы должна выполняться с постоянным отслеживанием ключевых показателей. Любое отклонение от цели должно вызывать немедленную реакцию. Таким образом создается система раннего предупреждения для предотвращения пропущенных конечных поставок (нарушение сроков) и сбоев в качестве или производительности путем измерения промежуточных этапов процесса.

Основные требования:

- завязка ошибок на КПЭ и связь с премированием;
- визуализация во всех отделах еженедельных показателей по качеству, срокам и моральному климату;
- система эскалации проблем – конструктор всегда должен знать где он может зафиксировать проблему для ее решения

Для оперативности решения проблем необходимо создать классификатор проблем.

3.1.5 Требования по стандартизации процедур

Формирование стандартных процедур (инструкций) необходимо для обеспечения однозначного понимания требований, своевременного обнаружения отклонений и использования возможностей для совершенствования. Разработка стандартов необходима для обеспечения качества процессов, продукта и услуг.

Работа, основанная на выполнении определенных стандартных процедур, устанавливающих применение оптимальных методов и последовательность операций направлена для достижения стабильного уровня качества. Стандартизация необходима всех сфер деятельности, влияющих на качество.

Необходима как можно большая стандартизация процесса проектирования, направленная на документирование лучших технических решений, работу со справочниками, руководящими указаниями для разработчика, сохранение знаний.

Усилия по стандартизации в первую очередь должны быть направлены на:

- формирование базы знаний предприятия посредством создания справочников и руководств для конструктора с лучшими техническими решениями;
- развитие уникальных компетенций – эта работа направлена на сохранение знаний по уникальным направлениям (например, несущие системы, трансмиссия);
- сохранение опыта выполняемых проектов (лучшие технические решения и работа над ошибками);
- участки с большими объемами работ, по которым планируется привлечение соисполнителей, рост объемов работ и недостаток квалифицированных ресурсов;
- формализацию всех требований в виде чек-листов и подсказок разработчику КД;
- формирование памяток и альбомов примеров (для оформления);
- стандарты лучших и проверенных технических решений {руководства для конструктора}.

3.1.6 Требования по управлению квалификацией исполнителей

На предприятии должна быть создана система для отбора, обучения, допуска и идентификации персонала для всех задач, где они необходимы. Данная система должна:

- определять потребности в количестве персонала для поддержания проектной деятельности;
- иметь матрицу компетенций персонала, которая фиксирует набор компетенций и их уровень для конкретной деятельности, подбирать сотрудников на основе их знаний, опыта и квалификации;
- выявлять необходимость дополнительной подготовки, с тем чтобы обеспечить достаточный уровень подготовки и знаний в рамках их полномочий. Обучение должно привести к удовлетворительному уровню знаний процедур,

имеющих отношение к конкретной роли.

- допускать персонал до работ по разработке КД по специальной процедуре, что позволит им выполнять поставленные задачи и надлежащим образом выполнять соответствующие обязанности.

- установить минимальные стандарты для нового персонала, отвечающего требованиям, предъявляемым к выполнению функций и иметь процесс ввода в реализуемые в организации процессы новых сотрудников;

- проводить оценку текущего уровня квалификации сотрудников, определение пробелов в знаниях, обновление программ обучения на основании ключевых компетенций, выявление зон развития сотрудников. Адаптировать обучение в соответствии с опытом, накопленным в организации;

- вести учет сотрудников, который включает подробную информацию об объеме их полномочий. Соответствующему персоналу должны быть предоставлены доказательства объема его полномочий;

- регистрировать минимальную информацию о персонале, включая идентификационный номер разрешения и права подписи документов;

- защитить лица, имеющие право на доступ к системе, чтобы гарантировать, что записи не могут быть изменены несанкционированным образом или что такие конфиденциальные записи не становятся доступными для несанкционированных лиц.

3.2 Систематизация и классификация соответствий рабочей КД АТ установленным требованиям

3.2.1 Содержание направлений контроля качества рабочей конструкторской документации

Обеспечение качества рабочей КД авиационной техники в процессе проектно-конструкторских работ в общем случае осуществляется в ходе проверки

документации по четырем системным направлениям: технический контроль, технологический контроль, метрологическая экспертиза, нормоконтроль [52, 75].

Технический контроль – это проверка соответствия проверяемого объекта (в нашем случае – рабочей КД) установленным техническим требованиям (определение по ГОСТ 16504-81). Технический контроль КД осуществляется на стадии рабочего проектирования и, как правило, инженерами-конструкторами более высокой квалификации, чем ее исполнители или их руководителями. При техническом контроле проверяют разработанную конструкцию по существу, а именно [10, 19, 114]:

- определяют правильность ее работы, целесообразность принятых технических решений, экономичность, прочность, надежность;

- проверяют взаимосвязь составных частей изделия на основании анализа значений габаритных, исполнительных, посадочных, присоединительных размеров, допускаемых форм и расположения сопрягаемых элементов, характер и механические свойства сопряжений элементов, и другие параметры;

- необходимое и достаточное проставленных размеров и обозначений, правильность их расположений на чертеже и относительно базовых поверхностей;

- контролируют правильность выбора конструктивных материалов, формы конструкции и ее внешней отделки, обоснованность назначения размеров и допусков;

- проверяют правильность размерных цепей на предмет собираемости изделия из составных элементов;

- обоснованность назначения шероховатостей обрабатываемых поверхностей изделия;

- убеждаются в соблюдении эргономических требований, обеспечении удобства и безопасности эксплуатации, технического обслуживания, ремонта, сборки и разборки, руководствуясь при этом стандартами ГОСТ Р ИСО 26800-2013 «Эргономика. Общие принципы и понятия», ГОСТ Р 56274-2014 «Общие показатели и требования в эргономике» и другими сопряженными нормативными документами федерального и отраслевого уровня;

– проверка на максимально возможное применение унифицированных и стандартных частей в изделиях, обоснованное использование покупных изделий в составе конструкции (последнее требование стало особенно актуальным в условиях реализации стратегии импортозамещения и локализации производства в РФ сложных технических изделий в условиях международных санкций);

– проверяют номенклатуру (разнообразие) деталей в сложных изделиях с точки зрения ее рациональной минимизации;

– в некоторых случаях технические изделия требуют соответствия их формы и внешнего вида эстетическим требованиям;

– проверяют соответствие изделия современному уровню техники и технологий, наличие патентной чистоты изделия по результатам патентных исследований в соответствии с ГОСТ Р 15.011-2022 «Система постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения». Патентные исследования необходимы, если изделие планируется к экспорту;

– проверяют соответствие изделия требованиям нормам и правилам органов государственного надзора, специализированных и отраслевых уполномоченных организаций.

Технологический контроль рабочей КД производится в соответствии со стандартом ЕСТПП ГОСТ 14.206-73 «Технологический контроль конструкторской документации». Однако, указанный стандарт является в основном рамочным документом и регламентирует примерное содержание технологического контроля, поэтому конкретное содержание технологического контроля устанавливается предприятием-разработчиком КД.

Технологический контроль осуществляется, как правило, инженерами-технологами на всех стадиях разработки проектно-конструкторской документации.

Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации проводится согласно МИ 1325-86 «Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации. Основные

положения и задачи» на стадиях разработки, установленных ГОСТ 2.103-68* «ЕСКД. Стадии разработки», ГОСТ 2.1102-81 «ЕСТД. Стадии разработки и виды документов» и ОСТ 1.00221-2005 «Отраслевая система обеспечения единства измерений. Метрологическая экспертиза технических заданий, конструкторской и технологической документации».

Метрологический контроль осуществляется специалистами метрологической службы предприятия-разработчика АТ. В зависимости от конкретных условий организации производственных процессов на предприятии метрологическая экспертиза может осуществляться как метрологический контроль, который может проводиться одновременно с нормоконтролем конструкторской и технологической документации.

Нормоконтроль, в отличие от технического, технологического и метрологического видов контроля, которые проводятся в процессе проектно-конструкторских работ, предусматривает проверку окончательно оформленной КД и является завершающим этапом разработки КД при условии, что КД полностью соответствует нормативным требованиям [53].

Цели и задачи нормоконтроля регламентируются стандартом ЕСКД ГОСТ 2.111-2013 «ЕСКД. Нормоконтроль», в котором приводится примерное содержание проверочных процедур в зависимости от вида документа и стадии проектирования.

3.2.2 Систематизация групп проверяемых параметров и свойств изделий, присутствующих в КД

Производственная практика предприятий-разработчиков в части совершенствования проектно-конструкторских работ АТ показала, что множество параметров контроля качества рабочей КД с течением времени расширяется из-за повышения требований к техническому совершенству и надежности АТ, а также в связи с развитием концепции индивидуализации производства ЛА.

Вся совокупность множества контролируемых параметров КД насчитывает несколько сотен позиций. Данное обстоятельство требует от конструкторских

служб предприятий-разработчиков АТ усовершенствовать инструментарий в области управления качеством проектно-конструкторских работ в целом и разработки КД в частности. Модернизация существующих и разработка новых инструментов управления качеством процесса разработки осуществлялось на основе методов систематизации и классификации научно-технической информации [109].

Исходя из вышеизложенных общих требований обеспечения качества рабочей КД вся совокупность параметров контролируемых параметров КД изначально (на первом этапе – в соответствии с методикой [109]) группируется на четыре больших группы (т. н. сверхгруппы или классы). Дальнейшая систематизация параметров качества КД визуализируется в табличном виде (таблица 3.1). Формулировки проверяемых параметров соответствуют формулировкам из чек-листов производственных контролеров КД [117].

Таблица 3.1 – Классы требований к качеству рабочей КД

№ п/п	Технические (конструктивные) параметры	Технологические параметры	Метрологические параметры	Параметры нормоконтроля
1.	Рациональность общей компоновки изделия	Конструкционные материалы соответствует функциональному назначению изделию	Наличие перечня средств измерений и контроля параметров изделия	Комплектность документации
2.	Схема движения изделия в пространстве	Прочностные свойства конструкционного материала соответствуют функциональному назначению изделию	Свойства средств измерений соответствуют измеряемым параметрам изделия	Корректная терминология
3.	Схемы движения исполнительных устройств в изделии	Способ получения заготовки соответствует свойствам изделия	Величины допусков на параметры изделия соответствуют требованиям	Корректный стиль изложения информации

№ п/п	Технические (конструктивные) параметры	Технологические параметры	Метрологические параметры	Параметры нормоконтроля
4.	Общая работоспособность изделия	Свойства покрытий соответствуют свойствам изделия	Оценка метрологической пригодности средств измерения для параметров изделия	Правильность записи единиц физических величин
5.	Работоспособность кинематических цепей изделия	Свойства разъемных соединений соответствуют свойствам изделия	Необходимость и целесообразность разработки специальных средств измерения параметров изделия	Соответствие единиц физических величин международным стандартам
6.	Масса и габаритные размеры изделия соответствуют назначению и функциям изделия	Свойства неразъемных соединений соответствуют свойствам изделия	Аттестованы ли методики измерения в соответствии со стандартами	Соответствие единиц физических величин национальным стандартам
7.	Правильность кинематических зависимостей в конструкции изделия	Способы стопорения резьбовых соединений соответствуют свойствам изделия	Оценка необходимости создания новых эталонов, стандартных и контрольных образцов для средств измерений	Правильность записи математических формул
8.	Рациональная силовая схема изделия	Выбор подшипников соответствует свойствам изделия	Является ли рациональным время измерений и инструментального контроля параметров изделия	Изложение технических требований соответствует требованиям
9.	Энергетические свойства и параметры изделия	Прокладка трубопроводных систем соответствует свойствам изделия	Требуется ли поверка и калибровка средств измерений параметров изделия	Все параметры должны иметь пояснения
10.	Эргономические свойства изделия	Прокладка кабельных систем соответствует свойствам изделия	Наличие и соответствие методик поверки и калибровки средств измерения параметров изделия	Измеряемые параметры должны иметь допустимые отклонения

№ п/п	Технические (конструктивные) параметры	Технологические параметры	Метрологические параметры	Параметры нормоконтроля
11.	Соответствие изделия экологическим нормам	Термическая обработка изделия соответствует его свойствам	Соответствие квалификации обслуживающего персонала средств измерений требованиям	Оформление графических документов соответствует требованиям
12.	Соответствие изделия нормам безопасности	Покрyтия поверхностей изделия соответствуют его свойствам	Оценка и обоснование рационального уровня унификации и автоматизации процессов и средств измерений	Графические документы спецификации к ним имеют взаимное соответствие
13.	Приспособленность изделия к сборке и интеграции с другими изделиями	Элементы изделий, формируемых обработкой давлением, соответствуют требованиям	Корректность задания норм точности измерения или инструментального контроля параметров изделия	Наименования документов соответствуют их содержанию
14.	Приспособленность изделия к транспортированию	Элементы изделий, формируемых литьем, соответствуют требованиям	Оценка целесообразности автоматизации обработки результатов измерений параметров изделия	Обозначения разъёмных соединений соответствуют требованиям
15.	Наличие патентной чистоты изделия	Элементы изделий, формируемых обработкой резанием, соответствуют требованиям		Обозначения неразъёмных соединений соответствуют требованиям
16.	Минимизация номенклатуры составных частей (деталей) изделия	Выбор смазок, технических жидкостей соответствует свойствам изделия		Ссылки на стандартные и нормативные документы, которые являются актуальными
17.	Приспособленность изделия к утилизации	Выбор клеев, герметиков, резиновых смесей соответствует свойствам изделия		Изделие имеет необходимую маркировку и клеймение

№ п/п	Технические (конструктивные) параметры	Технологические параметры	Метрологические параметры	Параметры нормоконтроля
18.	Допуски форм и расположения соответствуют свойствам изделия			
19.	Шероховатости поверхностей соответствует свойствам изделия			
20.	Моменты затяжки резьбовых соединений соответствуют свойствам изделия			

На следующем (втором) этапе систематизации и классификации требований к качеству рабочей КД производится систематизация и классификация ошибок, выявляемых в процессе проверки и контроля проектно-конструкторской документации. На этом этапе также производился анализ и систематизация причин ошибок в рабочей КД, связанных с обеспечением качества ее разработки.

Летательные аппараты относятся к области транспортной техники, к которой предъявляются особо высокие требования к конструктивной и эксплуатационной надежности. Ошибки, не явленные в процессе контроля КД, могут привести к авариям и катастрофам АТ. Природа и общие многочисленные причины ошибок инженеров-конструкторов в конечном итоге связаны с человеческим фактором [56] и приведены в первой главе. Ошибки возникают на всех этапах проектно-конструкторских работ, имеют разную степень значимости и последствий. Далее приведены результаты анализа причин и факторов, способствующих появлению ошибок в проектах АТ, связанных с управлением.

1. Главная причина конструкторских ошибок обусловлена недостаточным опытом и квалификацией исполнителей, низкой профессиональной эрудицией.

2. Источником ошибок является и недостаточная трудовая дисциплина исполнителей из-за отсутствия или недостаточности последующего контроля.

3. Низкое качество проектно-конструкторских работ может быть связано с недостаточностью результатов экспериментальных исследований.

4. Несоответствие технического задания на проектирование действительным требованиям к изделию.

5. Отсутствие локальных (частных) технических заданий на проектирование или приобретение конструкционных материалов, сборочных единиц и других составных частей проектируемого изделия.

6. Неполнота научно-технической информации и проведенного патентно-лицензионного исследования в отношении проектируемого изделия.

7. Отсутствие анализа либо его недостаточность в отношении аналогов и прототипов проектируемого изделия.

8. Недостаточность квалификации и/или компетентности руководителей проектно-конструкторских работ.

9. Отсутствие необходимого контроля над проектированием как изделия в целом, так и его отдельных составных частей.

10. Отсутствие или нарушение типовых методик и процедур (алгоритмов) при организации и проведении проектно-конструкторских работ.

11. При создании первых опытных и экспериментальных образцов вновь проектируемых изделий могут появляться творческие ошибки, обусловленные недостаточностью познания физической сущности изделия.

12. Ошибки в расчетах – достаточно часто встречаются при проектировании. При этом зачастую расчетчики не учитывают динамические процессы, которые могут возникать во время работы изделия. Это приводит, в частности, к ослаблению конструкции изделия, элементов кинематической цепи, недостаточной (или завышенной) мощности двигателей.

13. Ошибки при компоновке, выборе массы и габаритных размеров как проектируемого изделия, так и его отдельных составных частей.

14. Недостаточный учет действия на проектируемое изделие внешних сил и вращающих моментов.

15. Часто недостаточно внимание уделяется эргономическим требованиям, предъявляемым к проектируемому изделию и обеспечению удобной и безопасной работе с ним обслуживающему персоналу.

16. Отсутствие должного внимания к вопросам эксплуатации и техническому обслуживанию проектируемого изделия, регулировки и смазки движущихся частей.

17. Недостаточное внимание часто уделяется вопросам экологической безопасности проектируемого изделия с точки зрения его производства, эксплуатации и утилизации.

18. Отсутствие должного внимания вопросам стандартизации, типизации и унификации в проектируемом изделии групп, узлов и отдельных деталей.

19. Использование покупных составных частей проектируемого изделия в условиях работы, для которых они не предназначены.

20. Много ошибок у конструкторов обусловлены их невнимательностью и торопливостью, что приводит к появлению к большому количеству более мелких ошибок в чертежах, спецификациях, пояснительных записках.

21. Определенная часть ошибок проектирования связана с нарушением разного рода специальных инструкций, требований и указаний, предъявляемых к изделиям с особыми требованиями по надежности и долговечности эксплуатации, к которым относятся и ЛА.

22. Недостаточный функционал, ошибки и недочеты в алгоритмах работы конструкторских САПР.

23. Неуверенное пользование конструкторами вычислительной техникой и специальными программными продуктами также может быть источником ошибок в процессе проектно-конструкторских работ.

24. Ошибки в проектах могут быть также связаны с состоянием физического здоровья и морального состояния исполнителя (ей).

Все многообразие причин ошибок в рабочей КД можно подразделить на две группы: 1) ошибки, обусловленные общими факторами и 2) ошибки, обусловленные специальными требованиями, предъявляемыми к проектируемому

изделию. В нашем случае специальные высокие требования связаны с особенностями конструкций и условий эксплуатации проектируемых ЛА.

3.3 Инструменты обеспечения качества рабочей конструкторской документации

3.3.1 Механизм обратной связи между внутренними и внешними потребителями

Одним из основных элементов обеспечения качества является реализация в процессе разработки рабочей конструкторской документации механизма обратной связи между внутренними и внешними потребителями. Механизм обратной связи позволяет:

- обеспечить единство понимания требований между внутренними и внешними потребителями (прохождение «ворот» качества);
- однозначное формулирование и регистрирование выявляемых ошибок при приемке конструкторской документации;
- единое информационное пространство между исполнителем и потребителем.

Условия успешности предприятий авиационной отрасли диктуют следующие требования к обратной связи по качеству конструкторской документации [119]:

1. Оперативность получения информации: в течение 4 часов с момента выявления проблемы.
2. Адресность информации: выявленная проблема должна в обязательном порядке доводиться до исполнителя, допустившего ошибку, и проверяющего, пропустившего ошибку.
3. Полнота информации: объем получаемой информации должен позволять оперативно принимать решение.

4. Структурированность информации: поступающая информация должна иметь четкую структуру данных для принятия решения и последующей обработки статистики.

5. Доступность информации в формате онлайн.

Содержание обратной связи должно иметь формализованный характер и иметь следующие стандартные атрибуты информации:

- описание ошибки и нарушенное требование;
- исполнитель;
- заказчик поставляемого продукта;
- влияние ошибки по классификатору;
- характеристика ошибки: качество (безопасность или техническое задание), сроки, стоимость;
- сроки устранения.

Обратная связь должна быть реализована как внутренняя (внутри организации разработчика), так и внешняя (от заказчика конструкторской документации).

Для того, чтобы понять, как правильно выстроить процесс обратной связи в сложных и множественных информационных потоках необходимо применить следующий алгоритм работы [119]:

- провести анализ текущего состояния системы: получение информации, источники данных, журналы регистрации замечаний, отклонений, формы получения данной информации и т. д.;
- оценить возможные точки возникновения (возврата), на которых могут выявляться проблемные вопросы по качеству по всему жизненному циклу. Проведение данного анализа проводится с применением инструмента по картированию процесса от выпуска КД до запуска в серийное производство;
- формализовать места регистрации данных и структуру регистрируемых данных;
- сформировать критерии (перечень требований в виде чек-листов) для прохождения этапов проверки;

- разработать формы предоставления информации по обратной связи;
- подтвердить эффективность принятых решений на пилотных проектах.
- распространить принятые решения по предприятию.

Предлагаемый алгоритм и инструментарий реализации внутренней обратной связи состоит из следующих основных элементов (рисунок 3.1) [119]:

1. Матрица требования.
2. Чек-листы проверки.
3. Таблицы регистрации обратной связи (ошибок) в журнале регистрации.
4. Памятки (инструкции) по реализации требований.

3.3.2 Матрица применимых требований

В конструкторских бюро, где одновременно осуществляется разработка КД по большому количеству проектов, в различных САД-системах (AutoCAD, Catia, NX), с различными правилами проектирования и оформления КД для различных заказчиков конструкторским подразделениям необходим инструмент, обеспечивающий определение применимых требований к КД. В работе предложено создание Матрицы применимых требований – инструмента, позволяющего конструктору определить применимость требований при разработке КД исходя из следующих параметров:

1. Наименование проекта (заказчик или индекс изделия).
2. Вид разрабатываемой конструкторской документации (чертеж, модель, спецификация, схема, ведомость, текстовый документ, и др.).

Матрица состоит из следующих столбцов:

1. Уникальный номер требования – порядковый номер требования в привязке к классификатору требований. Уникальный номер позволяет обеспечить программную связку информации в базе данных с чек-листами, памятками для конструктора и статистикой ошибок.

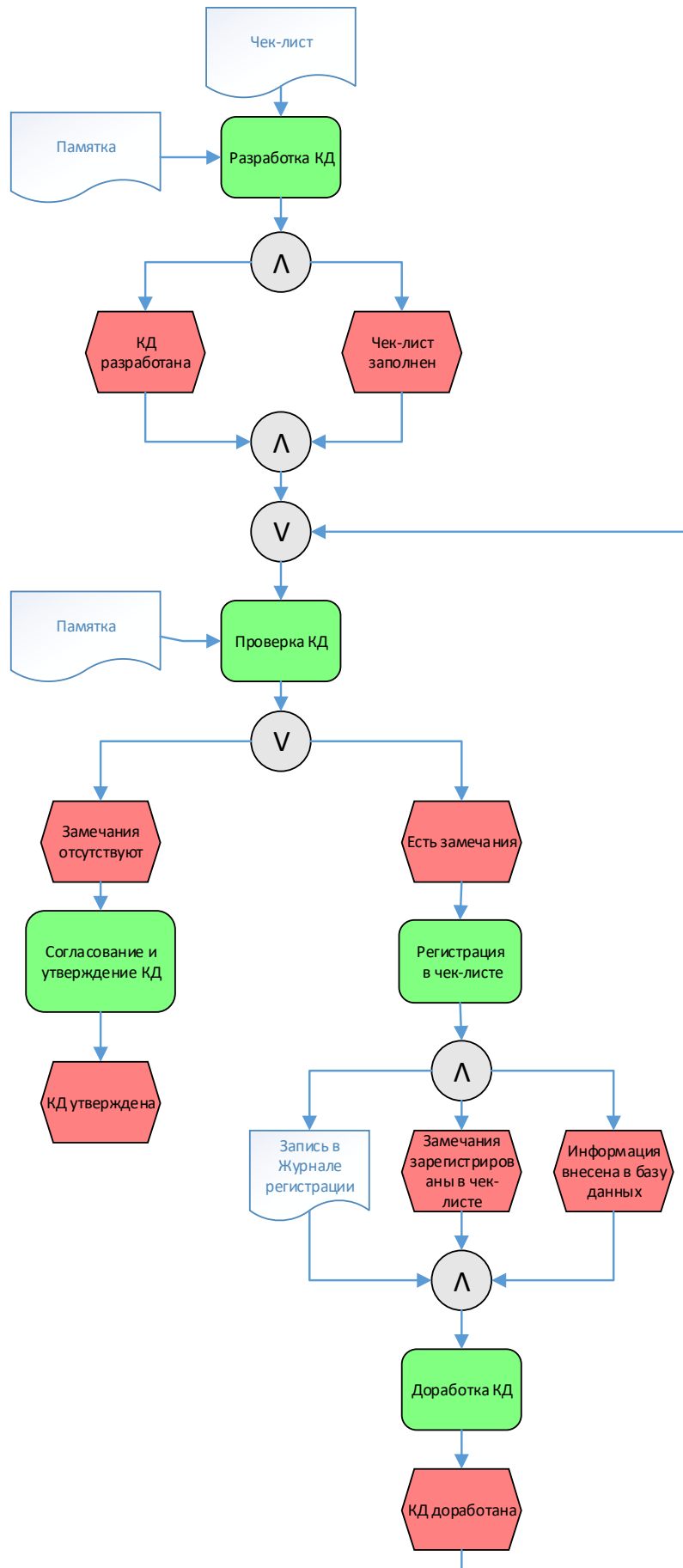


Рисунок 3.1 – Общая схема внутренней обратной связи

2. Применяемое требование – формализованное требование из нормативного документа или технического задания

3. Вес ошибки – влияние ошибки на проект разработки согласно классификатору.

4. Нормативный документ – ссылка на пункт нормативного документа, технического задания на разработку, стандарта организации, руководящего указания для конструктора. Ссылка должна обеспечить конструктору получить оперативный доступ к документу.

5. Наименование разрабатываемого изделия и вид конструкторского документа по ЕСКД.

Структура матрицы применимых требований представлена в таблице 3.2.

Матрица требований является основой для формирования чек-листов проверки конструкторской документации и разработки памяток или инструкций, определяющих и визуализирующих правила реализации требований [121].

3.3.3 Чек-листы проверки конструкторской документации и памятки (инструкции) для конструктора

В машиностроительной отрасли России исторически сложился устойчивый подход, что в рамках инженерной деятельности ГОСТ и ОСТ содержат основные требования для оформления КД. Также важным фактором является положение, что применение стандартов для оборонной промышленности носит обязательный характер (для гражданской техники национальные стандарты носят рекомендательный характер). В результате достаточно большой объем формализованных требований необходимо ежедневно использовать в операционной деятельности. ГОСТ и ОСТ в основном описывают общие правила, и они в процессе использования для конкретных задач часто требуют толкования. И если опытному инженеру это дается относительно легко, то новички могут потратить много сил и времени на анализ прежде, чем поймут, как правильно применить конкретное требование в своей работе и применимо ли оно вообще. .

Таблица 3.2 – Матрица применимых требований

УНИКАЛЬНЫЙ НОМЕР	ПРИМЕНЯЕМОЕ ТРЕБОВАНИЯ	ВЕС ОШИБКИ	НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ (ТЗ)	Изделие № /проект №				Изделие № /проект №					Изделие № /проект №			
				Вид КД (ЭМСЕ)	ЭМД	ЭМСЕ	ЭМД	ЭМГМ	ЭМВГ	ЭМТСЕ	Литирование	Директивный документ	Текстовый 2D	Чертеж 2D	Схема 2D
1	2	3	4	5												
	NX			+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
1001	ЭМСЕ сохранена с включенным ссылочным набором Model у всех компонентов.	1	Локальный приказ	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1002	Все входящие компоненты ЭМСЕ представлены в ссылочном наборе Model ЭМСЕ, за исключением ЭМО (env). У компонентов включен ссылочный набор Model.	1	СТО 4.151.2022 (п 7.2.10-7.2.13)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1003	При открытии ЭМД, ЭМГМ полностью отображена на экране, сохранена с рабочим видом «Модель» .	1	Локальный приказ	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1004	При открытии ЭМГМ полностью отображена на экране	1	СТО 4.150-2021 (п 6.2.13)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1005	При открытии ЭМСЕ полностью отображена на экране. ЭМТСЕ и ЭМВГ скрыты. Отсутствуют подавленные и скрытые элементы.	1	Локальный приказ	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1006	При открытии ЭМСЕ полностью отображена на экране. ЭМТСЕ и ЭМВГ скрыты. Отсутствуют подавленные и скрытые элементы.	1	ГОСТ Р 2.057-2019 (пп 5.1.8, 5.1.9.1)	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1007	ЭМ смоделирована по номинальным размерам. Размеры, указанные в чертеже, совпадают с размерами в ЭМ.	1	ГОСТ 2.052-2015 (п 5.6)	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приходится привлекать наставников, тратить на оформление значительно больше время, чем необходимо.

По результатам внутреннего анализа был сделан вывод о необходимости совершенствования внутренних процессов, направленных подтверждение соответствия конструкторской документации требованиям по оформлению, изложенным в национальных стандартах. В качестве стартовой точки трансформации внутренних процессов выбраны чек-листы, как один из способов подтверждения соответствия результатов разработки требованиям. Чек-лист проверки КД является универсальным инструментом контроля качества (самоконтроля) на любом этапе разработки. Основная его задача – обеспечить доведение и единое понимание требований между исполнителем и внутренним потребителем. Последовательность работ при разработке и внедрении чек-листов представлена на рисунке 3.2 [117].



Рисунок 3.2 – Последовательность действий при разработке внедрении чек-листов

На первом этапе вся деятельность нормоконтроля разделяется по типам проверяемых объектов:

- электронные модели;
- чертежи:

- сборки;
- заимствованные модели;
- покупные изделия;
- процесс согласования;
- другие ...

Для каждого типа документа выявлены ключевые признаки, по которым объект проверки данного типа может быть признан соответствующим или не соответствующим предъявляемым требованиям. Признаки были сформулированы и описаны в виде критериев соответствия.

Определение основных критериев соответствия производится на основании экспертной оценки, согласование осуществляется специалистами нормоконтроля. При этом специалисты обмениваются опытом, подходами, методами. Выделяются типовые вопросы, часто повторяющиеся вопросы и требования, имеющие неоднозначную трактовку.

Как базовое правило закрепляется, что все критерии, которые не попали в чек-лист, не признаются ошибкой конструктора, а сам объект отправляется на доработку без отметки об ошибке. Такие ошибки «вне списка» фиксируются, и, если их количество становится существенным, учитываются в новой редакции чек-листов. По завершении работ создаются первые версии чек-листов, пример оформления которых представлен на рисунке 3.3 [117].

Основные информационные атрибуты чек-листов:

1. Наименование проекта, индекс изделия.
2. Исполнитель (ФИО, должность).
3. Подразделение (отдел, бригада).
4. Дата проверки.
5. Обозначение КД.
6. Количество документов в пакете работ, представленных на проверку.
7. Проверяющий (ФИО, должность).
8. Этап проверки (техническая проверка, технологический контроль, метрологическая экспертиза, проверка конфигурирования, нормоконтроль).

9. Уникальный номер требования по классификатору.

10. Перечень применимых требований.

ЛИСТ ПРОВЕРКИ ЭТАПА НОРМОКОНТРОЛЯ					
НОРМОКОНТРОЛЕР					
ДАТА ПРОВЕРКИ					
КОЛИЧЕСТВО ПРЕДЪЯВЛЕНИЙ		0			
ТЕКУЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ОШИБОК		0			
КОЛИЧЕСТВО ФОРМАТОК (Для 2D)		0			
Разработал:					
Обозначение документа:					
Проверяемый объект:					
УНИКАЛЬНЫЙ НОМЕР	ТРЕБОВАНИЕ	ВЕС	НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ	КОНСТРУКТОР	Н.КОНТР
	Директивный документ				
4001	Обозначение ИИ, ПИ, ДИ, ДПИ, ПР, СЗ, ДСЗ	5	СТО 2.007 (п. 7.14), СТО 2.047 (п. 7.4)	Проверено	Верно
4005	Наличие изменений ко всем документам (изменения должны проводится одновременно)	5	ГОСТ 2.503 (пп. 4.3-4.4)	Проверено	Верно
4011	Наличие не более 4 (7) ПИ к изменяемому документу	5	СТО 2.046 (п. 5.9)	Проверено	Верно
4016	Форма, наличие граф извещения	5	СТО 2.046 (пп. 5.1-5.2)	Проверено	Верно
4018	Наличие подписей и штампов извещения	5	СТО 2.046 (пп. 6.18-6.19, 7.10-7.11)	Проверено	Верно
4020	Наличие срока действия ПИ	5	СТО 2.046 (п. 7.6)		
4023	Графа Причина изменений и Шифр	5	СТО 2.046 (пп. 6.9-6.10)	Проверено	Верно
4024	Указание о заделе извещения	5	СТО 2.046 (пп. 6.11, 7.7)	Проверено	Верно
4027	Указание о внедрении извещения	5	СТО 2.046 (пп. 6.12, 7.8)	Проверено	
4028	Применяемость извещения	5	СТО 2.046 (п. 6.13)	Проверено	
4030	Графа Разослать	5	ОСТ 1 00430 (п. 2.2.18)	Проверено	
4031	Графа Приложение	5	ОСТ 1 00430 (п. 2.2.19)	Проверено	
4032	Номер изменения извещения	5	СТО 2.046 (п. 6.16)	Проверено	
4035	Содержание изменения извещения	5	СТО 2.046 (пп. 6.17, 7.9)	Проверено	
4036	Выполнение СЗ на выпуск КД	5	СТО 2.047 (п. 7.6)	Не применимо	
4037	Требования к ДИ, ДПИ, ДСЗ, ПР	5	ОСТ 1 00430 (пп. 5-6), СТО 2.046 (пп. 8-9)	Не применимо	
Дата утв.	Ответственный	Рев В	Версия матрицы требований А.		

Рисунок 3.3 – Пример оформления чек-листа

Перед внедрением нового инструмента и началом его применения

проводится обязательное согласование заложенных требований с разработчиками конструкторской документации, и проводится обучение по применению.

По окончании этого этапа выпускается инструкция по использованию, определяется порядок их обновления и место общего хранения актуальных шаблонов чек-листов, закрепляется правило, что ни один объект проверки не может быть пропущен отделом нормоконтроля без чек-листов.

На первом этапе использования чек-листов в рамках пилотного проекта рекомендуется отработка на отдельных бригадах конструкторов. Процесс принятия нового инструмента не всегда проходит гладко, так как возникают дополнительные вопросы, для разрешения которых требуется дополнительные разъяснения. Эти вопросы можно разделить на три группы:

1. Разная трактовка и интерпретация требований.
2. Излишнее требование и сомнение в необходимости конкретных пунктов.
3. Недостаточность пунктов.

По итогам пилотной проработки формируются обновленные версии чек-листов. По завершению стадии тестирования инструмент запускается в промышленное применение, после чего вся документация проходит полный цикл проверки и отправляется заказчику с заполнением чек-листа.

Одной из проблем, возникающей в ходе развертывания инструмента, является выделение дополнительного времени на заполнение чек-листов и, как следствие, увеличение трудоемкости работ. Для каждого пункта чек-листа создается ссылка на поддерживающий нормативный документ. Но объем информации для одного пункта часто содержит несколько страниц и, соответственно, если в чек-листе 20-30 пунктов, то инженеру необходимо потратить много времени на анализ и пересмотр требований в соответствии с ссылочным списком документов.

В качестве решения указанной проблемы предлагается сформировать дополнительные короткие оперативные инструкции (памятки) под каждый чек-лист, пример оформления которых представлен на рисунке 3.4. В этих инструкциях визуализируется правильная интерпретация требований пунктов чек-листа.

Максимально используются картинки, информация передается в упрощенном и структурированном виде.

Основные цели и задачи памятки [117]:

- уменьшить вероятность возникновения ошибок – еще на этапе знакомства с чек-листом конструктор видит конкретные требования в чек-листе и как эти требования реализуются на практике в памятке;

- сделать простыми к пониманию сложные многостраничные документы и выделить только те пункты, которые имеют непосредственное отношение к работе – часто описание конкретного правила в ГОСТ и ОСТ носит общий характер и применяется к широкому кругу задач. Нужно ограничить объем информации до рамок конкретной деятельности;

- сократить время на осознание содержания конкретного пункта не только с помощью ограничения количества информации для использования, но и с помощью визуализации;

- формирование единого видения – необходимо уменьшить вероятность толкования различных пунктов. Каждый сотрудник имеет свой опыт и понимание в вопросах реализации требований различных пунктов;

- детализировать границы зоны ответственности;

- на базе памяток легко устанавливается единая программа обучения.

При создании памяток следует учитывать, что этот процесс является достаточно трудоемким и учитывая высокую загруженность сотрудников нормоконтроля необходимо было расставить приоритеты:

- наибольший объем проверяемых объектов (количественный анализ);

- наибольший объем выявленных отклонений (качественный анализ – не ясны пункты, существуют различные толкования, много времени уходит на обсуждение);

- запрос со стороны руководителей проверяемых отделов (часто меняется команда, отток опытных специалистов, привлечение сотрудников других отделов и внешних соисполнителей).

Выполнение и заполнение основной надписи и дополнительных граф

Первый лист

Последующие листы

Заполнение граф

- 1 – наименование изделия и наименование документа (через точку)
- 2 – обозначение документа
- 4 – литера (заполняется с крайней левой клетки)
- 7 – порядковый номер листа
- 8 – общее количество листов
- 9 – наименование организации (АО «НЭИ Мель и Камен»)
- 10 – характер работы, выполненный листом, подготавливающим документ. Свободную строку заполняет по усмотрению разработчика, например «Начальное отделение»
- 11 – фамилия
- 12 – подпись
- 13 – дата
- 14-18 – сведения об изменении (см. ГОСТ 2.501)
- 19-23 – для архива
- 24 – номер СЗ на выпуск данного КД
- 25 – обозначение соответствующего документа, в котором впервые записан данный документ (заверенность)
- 27, 30 – для ВП (заказчик)
- 28 – номер решения и год утверждения документации соответствующей литеры (год – четырьмя цифрами)
- 31 – подпись лица, копирующего документ
- 32 – обозначение формата листа

Оформление и нумерация разделов, пунктов и перечислений

- Номера разделов, подразделов, пунктов и подпунктов начинают с абзацного отступа.
- Даже если раздел или подраздел состоит из одного пункта, то он обязательно нумеруется.
- Заголовки следует печатать полужирным шрифтом с большой буквы.
- Заголовки разделов (не путать с подразделами) выделяют увеличенным шрифтом (например, при использовании основного шрифта 14, заголовки разделов – 16).

! После номеров и заголовков точки не ставят. Переносы слов в заголовках не допускаются.

- Внутри пунктов или подпунктов перечисления - строчными буквами. Перед каждым пунктом перечисления - абзацный отступ и дефис. После каждого пункта перечисления - точка с запятой.

i При необходимости:

- ссылки в тексте на одно из перечислений вместо дефисов используют строчные буквы со скобкой;
- дальнейшей детализации перечислений используют цифры со скобкой и дополнительный абзац.

1. Угловые испытания 1 Enter 16 размером

1.1 Определение характеристик 1 Enter 14 размером

1.1.1 _____

1.1.1.1 _____

1.1.1.2 Порядок выполнения пологого задания:

- провести запуск _____
- выполнить взлет _____
- выполнить:
 - 1) горизонтальный полет _____
 - 2) набор высоты _____
 - 3) сваливание _____
 - 4) торможение _____
- провести посадку _____

Рисунок 3.4 – Пример оформления памяток (инструкций) по реализации требований

3.3.4 Механизм внешней обратной связи

Практика показывает, что в большинстве случаев конструкторское бюро (инжиниринговый центр), разрабатывающий КД, и предприятие-изготовитель – это разные юридические лица и в добавок часто удалены друг от друга на значительное расстояние. Поэтому обычно механизм обратной связи строится

следующим образом [119].

1. На территории изготовителя располагаются представители разработчика, которым в рамках доверенности делегировано право оперативного принятия технических решений и утверждения при изменении КД в случае возникновения проблемного вопроса с КД на производстве. Данный способ, с одной стороны, обеспечивает оперативность принятия решения, однако с другой требует высокую квалификацию специалистов по различным специальностям (фюзеляж, электрика, система управления и прочее). При этом почти все возникающие производственные запросы не доходят до исполнителя КД (непосредственного инженера-конструктора) и не требуют от него принятия мер по исправлению и повышению качества работы. Зачастую исполнитель даже не предполагает, что было выявлено замечание, которое за него устранено представителем разработчика. Одни специалисты проектируют с ошибками, другие данные ошибки устраняют без проведения должного анализа причин их возникновения. В лучшем случае представитель разработчика проводит обобщение выявленных замечаний для их совместного рассмотрения.

2. На этапе технологической подготовки производства все замечания и предложения к КД могут оформляться стандартными письмами-запросами в адрес разработчика (без структурированной формы). Проводя аналогию с производственными предприятиями, в данных случаях используют рекламационные акты, имеющие четкую структуру данных и порядок их прохождения с регламентированными сроками отработки. Фактически получаемые письма с замечаниями зачастую сложно оперативно проработать для принятия технического решения и для проведения анализа первопричины возникшего вопроса. Их сложно провести через единую систему регистрации (по аналогии с производством «Журнал полученных рекламационных актов»), сложно контролируется их исполнение. Проведение анализа требует запроса дополнительных сведений.

3. Доверенность представителя не покрывает (ограничена) отработку замечаний к КД, влияющих на летно-технические характеристики летательного

аппарата.

Все вышесказанное явилось стартовыми условиями при реализации задачи управления внешней обратной связью на предприятии-разработчике АТ.

Внешняя обратная связь по качеству КД – это запросы потребителей на внесение изменений в КД по различным причинам: выявленная ошибка, не технологичность конструкции, неувязка макета, замена материалы (крепежа, профиля) и прочие [86].

На сегодняшний день система обратной связи по качеству КД частично регламентируется отраслевым стандартом ОСТ 1 00350-88 [85] и ОСТ 1 00430-92 [86]. Проблема, в первую очередь в том, что данные стандарты были ориентированы на бумажную КД и наибольшую ответственность возлагают на представителей разработчика, находящихся на предприятиях-изготовителях, покрывающих этап изготовления опытного изделия. Текущие реалии работы с электронной документацией и фактически отсутствия планомерного этапа приемки КД (работа «с колес») с дублированием проверок качества требует существенного изменения подходов взаимодействия разработчика и заводов-изготовителей.

Рассматривая типовой процесс получения и запуска КД в производство, можно выделить несколько стадий, где может возникнуть обратная связь (возвратные петли) по качеству КД, и текущие методы получения данной информации (таблица 3.3) [119].

По итогам проведенного анализа было принято решение об изменении процесса работы с обратной связью и цифровое обеспечение всех информационных потоков в системе управления данными о продукте Product Data Management (PDM) предприятий с разворачиванием функционала «Управление замечаниями» (англ. Issue Management – IM). Схема нового процесса работы с обратной связью представлена на рисунке 3.5 [119].

Функционал IM – это комплексное решение для регистрации несоответствий, принятия технических решений, оформления отчетов и ведения анализа.

Таблица 3.3 – Методы получения информации по этапам проработки КД

Этапы проработки КД на предприятии-изготовителе	Текущие методы получения информации / виды замечаний
Этап 1: получение КД в архиве; проверка комплектности	Письмо с описанием проблемы
Этап 2: конструкторско-технологическая подготовка производства; проверка достаточных данных, возможность изготовления, увязка конструкции	Письмо с описанием проблемы, запрос на принятие технического решения
Этап 3: изготовление опытного образца; проверка в ходе изготовления (собираемость, крепеж)	Цеховые журналы конструкторских отклонений (неувязок), предварительное извещение об изменении



Рисунок 3.5 – Схема процесса работы с обратной связью в PDM-системе

Замечания к КД, возникающие при ее прохождении на предприятии-изготовителе, вне зависимости от места их возникновения заносятся в единую

структурированную форму «Отчет о проблеме» (англ. Issue Report – IR), особенностью которой является наличие связи между IR и конструкторским документом, где была выявлено замечание.

При формировании IR в обязательном порядке проводится классификация замечания по виду: макет (увязка), технологичность, нормоконтроль, метрология, конструкторская ошибка (нужно приложить классификатор). Структура классификатора ошибок должна соответствовать этап выпуска конструкторской документации, для обеспечения разработки оперативных корректирующих мероприятий, там, где ошибка потенциально могла быть выявлена.

Увязка IR с конструкторским документом позволяет настроить механизм уведомления разработчика документа о сформированном отчете о проблеме через функционал «Задачи» в PDM-системе разработчика и уведомления на электронную почту.

Исходя из проведенной классификации замечания автора IR, аналогичная задача поступает в подразделение, где данное КД проходило проверку (технический руководитель, метрологическая экспертиза, технологический контроль, нормоконтроль, архив).

На основании полученного уведомления конструктор совместно с проверяющим подразделением прорабатывают IR, принимают техническое решение (англ. Design Solution – DS) о необходимости корректировки КД для дальнейшего движения в производстве (рисунок 3.6) [119].

Принятое техническое решение может оформляться в виде эскиза измененного КД с указанием сроков выпуска новой ревизии КД. Все принятые технические решения доводятся до автора IR и позволяют предприятию-изготовителю оперативно принять дальнейшее решение по движению КД в производстве. Статистические данные по внешней обратной связи могут быть привязаны к системе показателей качества и визуализации в конструкторском бюро [37, 121].

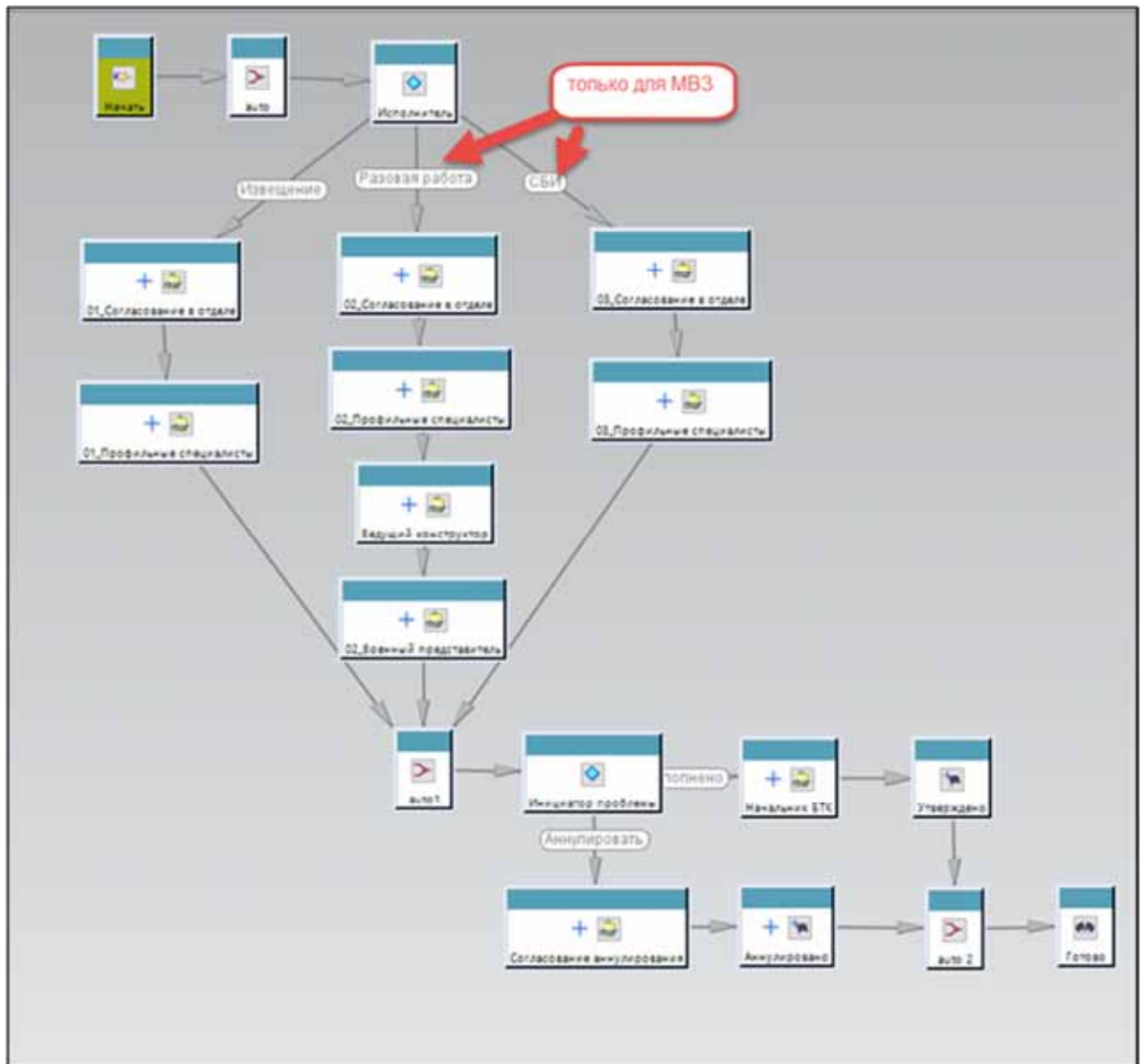


Рисунок 3.6 – Блок-схема алгоритма создания DS в PDM-системе разработчика

3.4 Организация процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации

3.4.1 Блок-схема процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации

Предлагаемая блок-схема процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации (РКД) на предприятии-разработчике АТ (рисунок 3.7), включает 6 основных элементов:

1. Q1. Обратная связь (внутренняя и внешняя).
2. Q2. Визуализация и система показателей.
3. Q3. Анализ корневых причин и решение проблем.
4. Q4. Стандартизация.
5. Q5. Управление квалификацией.
6. Q6. Управление и контроль за реализацией всех элементов.

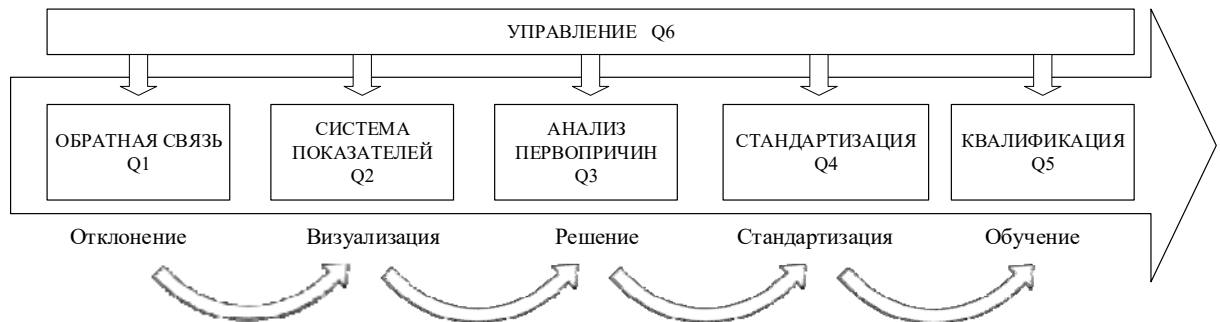


Рисунок 3.7 – Блок-схема процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации

На рисунке 3.7 представлена следующая последовательность реализации элементов системы менеджмента качества предприятия-разработчика. На основе обратной связи (внутренней и внешней) регистрируются и визуализируются показатели качества. Все отклонения значений показателей качества от целевых значений должны рассматриваться в процессе решения проблем с выработкой мероприятий по изменению стандартов компании. В соответствии с измененными стандартами должно проводиться повышение квалификации сотрудников. Все представленные элементы должны находиться под постоянным контролем за их реализацией и развитием. Рассмотрим подробнее элементы представленной блок-схемы.

Элемент Q1. Обратная связь. Цель данного элемента выстроить процесс доведения до конструктора понятных требований и ошибок, возникающих на различных этапах движения РКД. Обратная связь рассматривается как внутренняя (внутри предприятия-разработчика до момента утверждения РКД), так и внешняя от предприятий-изготовителей (подразделений), на которых изготавливают

продукцию по выпущенной РКД.

Для реализации данного элемента предложено внедрение матрицы применимых требований к КД с кодификатором, создание чек-листов проверки конструкторской документации при ее согласовании, процесс регистрации замечаний и доведения их до исполнителя.

Элемент Q2. Визуализация и управление по ключевым показателям эффективности. Цель данного элемента – на всех уровнях управления обеспечить наглядное управление, направленное на достижение целей проектов по разработке авиационной техники.

Для реализации элемента предлагается внедрение досок визуализации, увязанных между собой по показателям на всей иерархии управления компании от технического отдела конструкторского бюро до руководителя компании (рисунок 3.8). Иерархическая структура позволяет выстроить систему эскалации проблемных вопросов, влияющих на качество работы, а также обеспечить их оперативное решение.

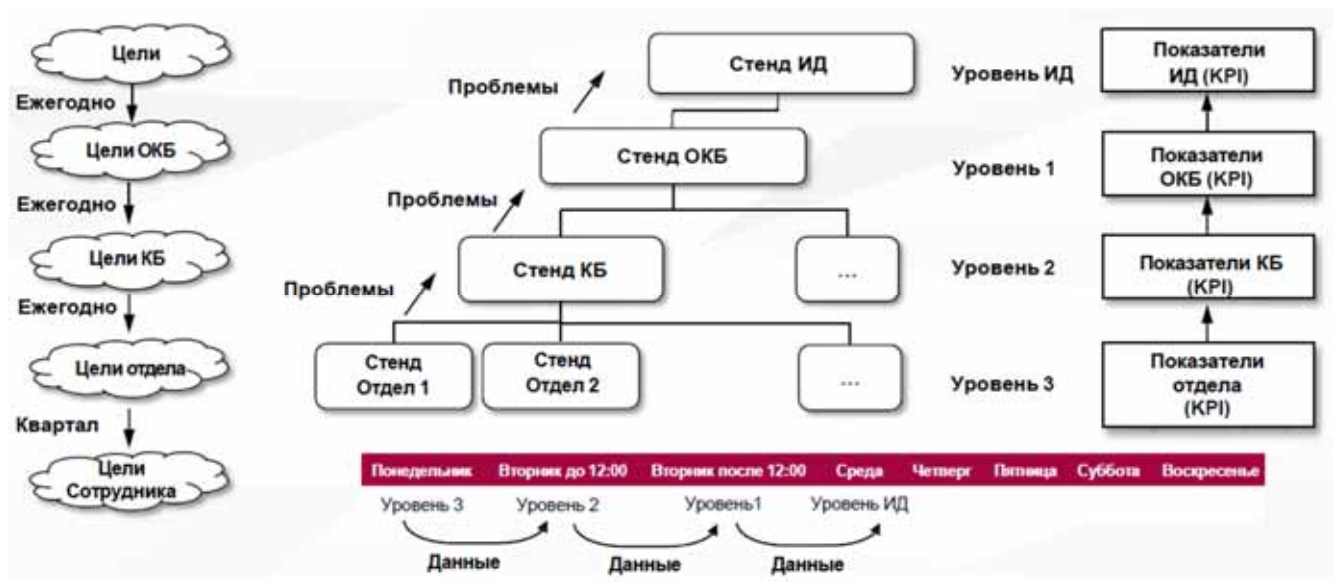


Рисунок 3.8 – Иерархическая структура досок визуализации по уровням управления

Учитывая множество факторов, рассмотренных в диссертации и влияющих на качество разработки, структура показателей на досках визуализации следующая:

Качество (Quality), Сроки (Delivery), Затраты (Cost), Загрузка подразделения (People), Моральный климат (Moral).

Элемент Q3. Анализ корневых причин и решение проблем. Цель данного элемента – выработка мероприятий, направленных на устранение причин отклонений и изменение системы и стандартов компании. При реализации данного элемента используются известные методики 5Why, 8D, Problem Solving Analyse [6, 24, 35, 81, 120].

Элемент Q4. Стандартизация. Стандартизация в области проектирования и разработки авиационной техники является одним из сложных элементов, так как конструирование является более творческим процессом в отличие от изготовления. Для стандартизации процесса проектирования разработан ряд руководств для конструктора (РДК), разделенных на категории, представленные в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Категории руководств для конструктора

Категория РДК	Описание
Директивы	РДК, содержащие правила реализации обязательных требований авиационных властей (норм летной годности или иных требований) в конструкции летательного аппарата
Конструкция	РДК, содержащие лучшие (оптимальные) технические решения, полученные на основе опыта создания и эксплуатации, ноу-хау предприятия-разработчика, ключевые компетенции. Формируются под каждый тип техники и по каждой системе
Расчеты	Стандартизация расчетных методов и инструкций пользователей для работы с программами расчета
Испытания	РДК в части проведения измерений для обеспечения безопасности при испытаниях и анализе полученных данных

Разработанные документы позволят инженерам-конструкторам, опираясь на требования, минимизировать количество ошибок в принимаемых проектных решениях.

Элемент Q5. Управление квалификацией. Квалификация персонала является ключевым фактором, влияющим на качество разработки. Для использования предложены следующие инструменты, позволяющие поддерживать уровень квалификации на требуемом уровне:

1. Матрицы компетенции – профиль квалификации по каждому специалисту, позволяющая определить потребность в знаниях по предстоящим проектам и сформировать плановые задачи по обучению.

2. Внутренние тренинги на основе разработанных РДК по элементу Q4 и система точечного обучения.

Элемент Q6. Управление и контроль за реализацией всех элементов. Цель элемента обеспечить постоянный мониторинг за реализацией запланированных мероприятий и постоянной оценкой динамики зрелости развития каждого элемента.

Предлагаемая схема процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации основана на принципах системного подхода, позволяет работать на предупреждение и нивелировать основные факторы, снижающие качество РКД.

3.4.2 Оценка процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации

Оценку процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации в организации предлагается производить на основе определения уровня зрелости каждого элемента и процесса в целом. При этом предусмотрены пять уровней зрелости: не внедрено – 1, внедрено не полностью – 2, внедрено, но не все элементы работают – 3, внедрено – 4, внедрено и постоянно пересматривается – 5.

Для каждого из 6 основных элементов блок-схемы процесса улучшения

качества РКД на предприятии-разработчике (см. рисунок 3.7) разработаны чек-листы процедуры аудита. Например, для элемента Q4 Стандартизация один из четырех проверяемых параметров содержит вопросы: Знает ли команда список стандартов, кто их обновляет, как и когда? Определен ли процесс по обновлению стандартов? В зависимости от полученного аудитором ответа определяется один из следующих уровней зрелости элемента Q4 Стандартизация по данному параметру:

Зрелость 1: Процесса, описывающего создание стандартов, нет.

Зрелость 2: Процесс, описывающий создание стандартов, описан не полностью.

Зрелость 3: Процесс, описывающий создание стандартов, описан полностью. Команда не информирована о нем (нет подписей в conf sheet) и, как следствие, не используется.

Зрелость 4: Процесс, описывающий создание стандартов, описан полностью. Команда информирована о нем (подписи в conf sheet). Процессу следуют.

Зрелость 5: Процесс, описывающий создание стандартов, описан полностью. Команда информирована о нем (подписи в conf sheet). Процессу следуют. Стандарты регулярно пересматриваются, улучшения определены и внедрены.

Всего разработанные чек-листы процедуры аудита включают:

- для элемента Q1. Обратная связь (внутренняя и внешняя) – 7 проверяемых параметров;
- для элемента Q2. Анализ корневых причин и решения проблем – 9 проверяемых параметров;
- для элемента Q3. Визуализация и управление по ключевым показателям эффективности – 5 проверяемых параметров;
- для элемента Q4. Стандартизация – 4 проверяемых параметра;
- для элемента Q5. Управление квалификацией – 3 проверяемых параметра;
- для элемента Q6. Управление и контроль за реализацией всех элементов – 4 проверяемых параметра.

Таким образом, оценка процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации в целом производится по 32 проверяемым

параметрам.

Для визуализации достигнутого уровня зрелости каждого элемента и процесса в целом используются лепестковые диаграммы, пример которой представлен на рисунке 3.9.

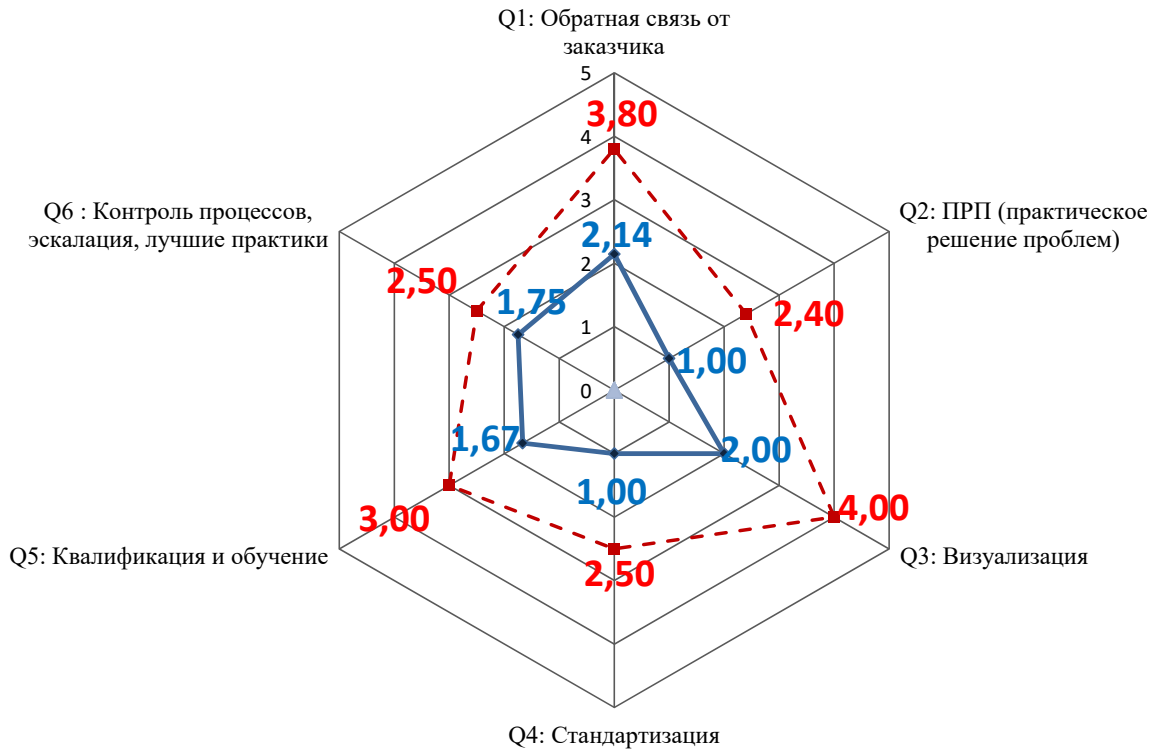


Рисунок 3.9 – Пример визуализации оценки уровня зрелости процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации

На рисунке 3.9 сплошной линией показан достигнутый уровень зрелости процесса улучшения качества РКД, а пунктирной – уровень зрелости, планируемый к достижению в следующем плановом периоде. Общую интегральную оценку уровня зрелости процесса улучшения качества РКД можно получить по площади фигуры, ограниченной значениями уровней зрелости 6 основных элементов. Для этого можно использовать известную из геометрии формулу для расчета площади треугольника S

$$S = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \alpha,$$

где a и b – стороны треугольника, длины которых равны значениям уровней

зрелости смежных элементов, например, Q_1 и Q_2 , обозначаемые Q_1 и Q_2 соответственно; α – угол между сторонами треугольника. Так как представленная лепестковая диаграмма разделена на 6 равных секторов, то угол $\alpha = 60^\circ$.

Тогда общую площадь ограниченной балльными оценками области лепестковой диаграммы можно определить по формуле, полученной после соответствующих преобразований

$$S = \frac{\sin 60^\circ}{2} (Q_6 \cdot Q_1 + \sum_{i=1}^5 Q_i \cdot Q_{i+1}) = \frac{\sqrt{3}}{4} (Q_6 \cdot Q_1 + \sum_{i=1}^5 Q_i \cdot Q_{i+1}), \text{ балл}^2,$$

и достигнутый уровень зрелости процесса улучшения качества РКД, по представленной на рисунке 3.9 лепестковой диаграмме составит

$$\begin{aligned} S_{\text{д}} &= \frac{\sqrt{3}}{4} (Q_6 \cdot Q_1 + Q_1 \cdot Q_2 + Q_2 \cdot Q_3 + Q_3 \cdot Q_4 + Q_4 \cdot Q_5 + Q_5 \cdot Q_6) = \\ &= 0,433(1,78 \cdot 2,14 + 2,14 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1,67 + 1,67 \cdot 1,78) = 6,32, \end{aligned}$$

а соответствующий планируемый уровень зрелости

$$\begin{aligned} S_{\text{п}} &= \frac{\sqrt{3}}{4} (Q_6 \cdot Q_1 + Q_1 \cdot Q_2 + Q_2 \cdot Q_3 + Q_3 \cdot Q_4 + Q_4 \cdot Q_5 + Q_5 \cdot Q_6) = \\ &= 0,433(2,5 \cdot 3,8 + 3,8 \cdot 2,4 + 2,4 \cdot 4 + 4 \cdot 2,5 + 2,5 \cdot 3 + 3 \cdot 2,5) = 23,04. \end{aligned}$$

Причем максимально возможное значение площади достигается при равенстве значений уровней зрелости всех элементов 5. При этом площадь лепестковой диаграммы будет равна площади правильного шестиугольника, определяемой по известной из геометрии формуле через радиус описанной окружности R как

$$S = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2}.$$

Так как для лепестковой диаграммы, представленной на рисунке 3.9 $R = 5$, то

$$S_{\text{max}} = \frac{3\sqrt{3}R_{\text{max}}^2}{2} = \frac{3\sqrt{3} \cdot 5^2}{2} = 64,95.$$

Соответственно минимально возможное значение при равенстве значений

$$\text{уровней зрелости всех элементов } 1 - S_{\min} = \frac{3\sqrt{3}R_{\min}^2}{2} = \frac{3\sqrt{3} \cdot 1^2}{2} = 2,6.$$

Перевод же полученного произвольного значения уровня зрелости процесса улучшения качества РКД как величины площади в баллы можно осуществить по обратной зависимости путем приравнивания площади полученного неправильного многоугольника к соответствующей площади правильного многоугольника, т. е.

$$R = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}}} = 0,62\sqrt{S}.$$

Тогда достигнутый уровень зрелости процесса улучшения качества РКД равен $R_{\text{д}} = 0,62\sqrt{6,32} = 1,56$, а планируемый – $R_{\text{п}} = 0,62\sqrt{23,04} = 2,98$ балла.

В итоге балльную оценку уровня зрелости процесса улучшения качества РКД по лепестковой диаграмме можно получить по зависимости:

$$R = 0,62\sqrt{\frac{\sqrt{3}}{4}(Q_6 \cdot Q_1 + \sum_{i=1}^5 Q_i \cdot Q_{i+1})} = 0,41\sqrt{Q_6 \cdot Q_1 + \sum_{i=1}^5 Q_i \cdot Q_{i+1}}.$$

3.5 Выводы по третьей главе

1. Представлены требования к реализации основных мероприятий предложенной концепции совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники и обоснован необходимый при этом состав инструментов качества.

2. Разработан классификатор требований и ошибок при проектировании, в котором ошибки при проектировании классифицируются по следующим основным группам: влияющее на безопасность полетов; влияющие на стоимость и сроки подготовки производства и изготовления опытного образца; влияющие на стоимость изготовления серийной продукции; влияющие на выполнение требований технического задания; влияющие на стоимость эксплуатации; влияющие на снижение стоимости результатов интеллектуальной деятельности. Для каждой классификационной группы определены входящие в нее

несоответствия, возникающие при проектировании, и оценки риска их влияния на следующие показатели проекта по созданию АТ: качества, сроки, стоимость.

3. Предложен инструментарий обеспечения качества рабочей конструкторской документации, содержащий комплексную методiku повышения оперативности работ по контролю качества конструкторской документации авиационной техники (метрологическая экспертиза, технологический контроль, нормоконтроль) и включающий следующие элементы: механизм обратной связи между внутренними и внешними потребителями, матрицу применимых требований, чек-листы проверки конструкторской документации и памятки (инструкции) для конструктора, механизм внешней обратной связи, а также подход к организации процесса улучшения качества конструкторской документации, включающий 6 основных элементов: Q1. Обратная связь (внутренняя и внешняя), Q2. Анализ корневых причин и решения проблем, Q3. Визуализация и управление по ключевым показателям эффективности, Q4. Стандартизация, Q5. Управление квалификацией, Q6. Управление и контроль за реализацией всех элементов.

4. Оценку процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации в организации предлагается производить на основе определения уровня зрелости каждого элемента и процесса в целом по пяти уровням зрелости: не внедрено – 1, внедрено не полностью – 2, внедрено, но не все элементы работают – 3, внедрено – 4, внедрено и постоянно пересматривается – 5, оцениваемых с помощью разработанных чек-листов процедуры аудита, включающих 32 проверяемых параметра. Визуализацию достигнутого уровня зрелости каждого элемента и процесса в целом предложено производить на основе лепестковых диаграмм и общей интегральной оценки уровня зрелости процесса улучшения качества конструкторской документации по площади фигуры, ограниченной значениями уровней зрелости 6 основных элементов данного процесса. Для практического примера оценки уровня зрелости процесса улучшения качества конструкторской документации достигнутый уровень зрелости исследуемого процесса равен $R_{Д} = 1,56$ балла, а планируемый – $R_{П} = 2,98$ балла.

4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации

Разработанная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей КД на авиастроительном предприятии, как порядок и содержание определенных действий, предусматривает реализацию следующих мероприятий.

1. Выполнить анализ среды разработки КД, направлений ее изменения и потенциального влияния на ошибки конструкторов.

2. Оценить производственную среду и технологическую оснащенность предприятий-изготовителей, и состояние обратной связи с ними.

3. Проанализировать основные ошибки конструкторов при разработке КД, с целью определения причин их возникновения с учетом воздействия среды разработки КД.

4. На основе анализа определить совокупность первоочередных мероприятий, направленных на компенсацию изменения среды разработки КД и искоренения причин возникновения ошибок.

5. Разработать требования к выбранным мероприятиям.

6. Детально разработать выбранные мероприятия во внутренних нормативных документах предприятия и ввести их в действие.

7. Запустить процесс внедрения мероприятий. При этом требуется вовлечение всего персонала в выполнение мероприятий и его мотивация.

8. Постоянно контролировать и оценивать ход внедрения мероприятий и предпринимать действия по корректировке.

9. С заданной периодичностью проводить оценку изменения уровня качества КД, результативности мероприятий, вносить коррективы и результаты доводить до всего задействованного персонала.

4.2 Информационная система мониторинга показателей качества конструкторской документации

Информационная система мониторинга показателей качества конструкторской документации является совокупностью правил и требований, предъявляемых к конструкторской документации (ТЗ, требования НД, замечания/предложения от предприятия-изготовителя к КД), форм регистрации, используемых при выполнении работы, а также статистических и аналитических данных, получаемых в ходе управления качеством конструкторской документации.

Элементами информационной системы мониторинга показателей качества являются (рисунок 4.1):

1) база требований (матрица) требований, предъявляемых к конструкторской документации;

2) справочники:

- унифицированный классификатор требований и ошибок;
- рабочие инструкции в виде памяток по реализации требований к КД;
- штатное расписание персонала;
- виды и группы конструкторской документации;
- проекты;
- этапы проверки КД;

3) модуль «Чек-листы», определяющие применимость требований к КД на всех этапах проверки;

4) электронные журналы регистрации внутреннего качества, в котором фиксируется факт прохождения КД, результаты проверки на всех этапах внутреннего контроля (увязка макета, проверка конфигурирования, технологический контроль, метрологический контроль, нормоконтроль);

5) электронный журнал конструкторских отклонений, в котором фиксируются замечания к конструкторской документации, формируемые на этапе конструкторско-технологической подготовки производства и изготовления;

б) расчетный модуль назначения целевых значений показателей качества процесса разработки конструкторской документации на основе регрессионного анализа зависимости затрат ресурсов на качество КД;

7) расчетный модуль индивидуального показателя качества, который строится на совокупности информации, полученной в ходе контроля качества конструкторской документации.

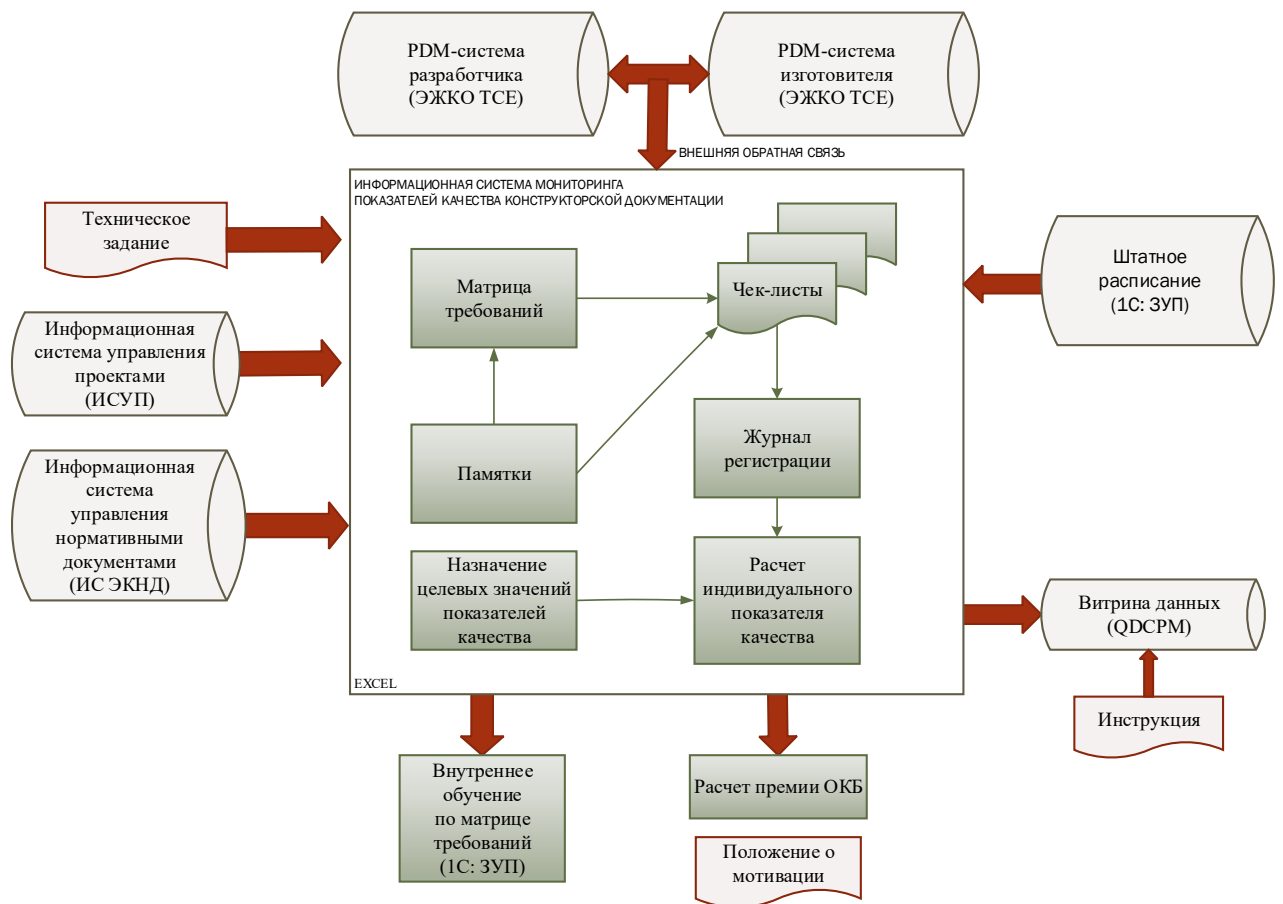


Рисунок 4.1 – Архитектура информационной системы мониторинга показателей качества

Данная система позволяет реализовывать следующие функции:

1) автоматическое формирование применимых требований к конструкторской документации исходя из вида документации и реализуемого проекта разработки АТ;

2) регистрацию результатов контроля качества конструкторской документации;

3) визуализацию результатов проверки в виде статистических инструментов управления качеством;

4) установление целевых значений и расчет показателей качества от индивидуального значения по каждому конструктору до уровня конструкторского бюро.

Взаимосвязь элементов информационной системы.

База требований (матрица требований) имеет в своей структуре данные по реализуемым в компании проектам разработки авиационной техники, получаемым из Информационной системы управления проектами (ИСУП), а также общей базе нормативной документации (Информационная система «Электронный каталог нормативно-технической документации») и техническим заданиям.

Модуль «Чек-листы» представляет собой универсальный чек-лист в формате Excel-файла, при заполнении основных реквизитов которого автоматически формируется список применимых требований к КД. Данные в чек-листы поступают из базы требований и справочников через запросы.

Для удобства применения чек-листа в системе обеспечивается увязка каждого требования со справочником, где размещены памятки для каждого требования, визуализирующие правила их реализации.

Каждый этап проверки сопровождается вводом учетных данных в журналах регистрации внутреннего качества проверяемой конструкторской документации. В журналах регистрируется следующая информация:

- номер служебной записки, номер заказа;
- ФИО исполнителя;
- наименование подразделения;
- количество документов в пакете работ;
- ФИО проверяющего;
- дата поступления на проверку;
- дата начала проверки;

- количество документов, предъявленных на проверку;
- количество ошибок после проверки;
- уникальные номера ошибок.

Журнал регистрации внутреннего качества и совокупность чек-листов являются базой для расчетного модуля показателей качества. Сбор и обработка чек-листов реализованы соответствующим программным обеспечением. Обработка чек-листов позволяет систематизировать наиболее распространенные ошибки при разработке конструкторской документации, обеспечивает индивидуальный подход к разработчикам для дальнейшего внутреннего обучения.

Параллельно с этим, формируется запрос из журналов регистрации, что позволяет, в том числе, сопоставить полноту информации, поступающую из чек-листов, отследить выполнение требования о создании и заполнении чек-листа к конструкторскому документу.

Стоит отметить, что запросы, созданные через разработанные программные инструменты, позволяют устанавливать связи между элементами, а также обновлять данные в реальном времени. В дополнение к ним используются макросы для автоматизации работы внутри элементов.

Полученные данные с чек-листов и журналов регистрации обеспечивают возможность для анализа качества конструкторской документации в режиме реального времени. Степень детализации запроса зависит от необходимости, но может быть уточнена до индивидуальных показателей по конкретному специалисту, чертежу, пункту чек-листа, изделию и т. д. Это подтверждает одну из главных возможностей данной системы, а именно постоянное совершенствование.

Автоматическое установление целевых значений и расчет показателя качества КД позволяет сотрудникам получать информацию о совершенных ошибках в реальном времени, а также о динамике показателя качества КД. Информация доступна как на стендах визуализации QDCPM, так и через витрину данных для внешних потребителей. Отчет по индивидуальным показателям качества является входным данным для системы расчета премиального фонда подразделения.

Электронный журнал конструкторских отклонений – это интеграция с объектно-ориентированными системами Teamcenter Разработчика и Изготовителя в среде непосредственного проектирования изделия. На основании инструментария ЭЖКО (электронный журнал конструктивных отклонений) в системе Teamcenter обеспечивается возможность удаленно сформулировать проблему в цехе, связанную с изготовлением изделия с привязкой к конкретному чертежу или модели и оперативно получить ответ от разработчика в виде принимаемого технического решения.

4.3 Система руководящих документов для исполнителей процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники

В рамках методики совершенствования качества процесса разработки рабочей качества КД создана система руководств для конструктора (РДК) – документов, в которых хранятся технические решения, разработанные сотрудниками предприятия-разработчика.

Технические решения описывают не только общие принципы проектирования, но и детальное проектирование.

Информация, содержащаяся в РДК, используется на этапе разработки АТ при модификации и в новых проектах.

Виды и примеры РДК представлены в таблице 4.1.

Полный список Руководств для конструктора, разработанных в рамках данного диссертационного исследования, включает следующие документы:

1. Руководство для конструктора по разработке системы кондиционирования воздуха – Ми-38.
2. Руководство для конструктора по расчету системы кондиционирования воздуха – все машины.
3. Руководство для конструктора по разработке изделий из ПКМ для кабины вертолета Ми – 171А3.

4. Руководство для конструктора. Ми-38Т. Топливная система.
5. Руководство для конструктора по разработке противообледенительной системы (включая описание проблем, возникших в процессе испытаний для избегания повторения ошибок).
6. Руководство для конструктора по проектированию лопасти вертолетной техники КА.

Таблица 4.1 – Виды и примеры РДК

<i>Категория</i>	<i>Название</i>
<i>Директивы</i>	Руководство для конструктора. Молниезащита
	Руководство для конструктора. Аддитивные технологии
	Руководство для конструктора. Маркировка
<i>Конструкция</i>	Руководство для конструктора. Система кондиционирования воздуха.
	Руководство для конструктора. Применение композиционных материалов. Ми-171А3.
<i>Расчеты</i>	Детализация РДК КБ-3.3 в части расчета нагрузок, собственных частот, границы устойчивости и прочности деталей лопастей
	Разработка инструкций пользователя для работы с программами расчета балансировки и динамики полета ЛА
<i>Испытания</i>	Детализация РДК в части проведения измерений для обеспечения безопасности при испытаниях и анализе полученных данных

7. Руководство для конструктора по проектированию лопасти.
8. Руководство для конструктора по молниезащите.

9. Руководство для конструктора по работе с программами расчета балансировки и динамики полета.

10. Руководство для конструктора по проектированию фюзеляжа Ми-171А3.

11. Руководство для конструктора по проектированию фюзеляжа Ка-226.

12. Руководство по видам соединений (прочность).

13. Руководство для конструктора по определению и использованию расчетных характеристик материалов.

14. Руководство для конструктора – справочник композиционных материалов.

Трудоемкость разработки одного документа в среднем составляла 500 нормо-часов.

По результатам диссертационного исследования разработан проект предварительного национального стандарта «Система гарантии качества проектирования. Общие требования», включенного в программу национальной стандартизации на 2023 г.

4.4 Результаты практического применения методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации на предприятии, выпускающем авиационную технику

Представленные методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации, информационная система управления процессом разработки конструкторской документации и система руководящих документов для исполнителей процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники внедрены на предприятии АО «НЦВ Миль и Камов», входящем в холдинг «Вертолеты России». Опыт АО «НЦВ Миль и Камов» взят за основу при выработке корпоративных подходов к внедрению методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации на других предприятиях холдинга.

Методика позволяет анализировать и вырабатывать направления повышения уровня качества КД по результатам различных видов контроля и изготовления АТ, оценивать работу подразделений и отдельных работников во времени, создавая данные для мер коррекции, мотивации и обучения персонала. При этом продуманы методы визуализации и доведения результатов до всех работников. Ниже представлены основные достигнутые результаты.

Достигнута положительная динамика сдачи КД с первого предъявления (коэффициент K_2). Сравнительная динамика сдачи КД с первого предъявления за период 2020 г. – начало 2022 г. в АО «НЦВ Миль и Камов» приведена на рисунке 4.2.

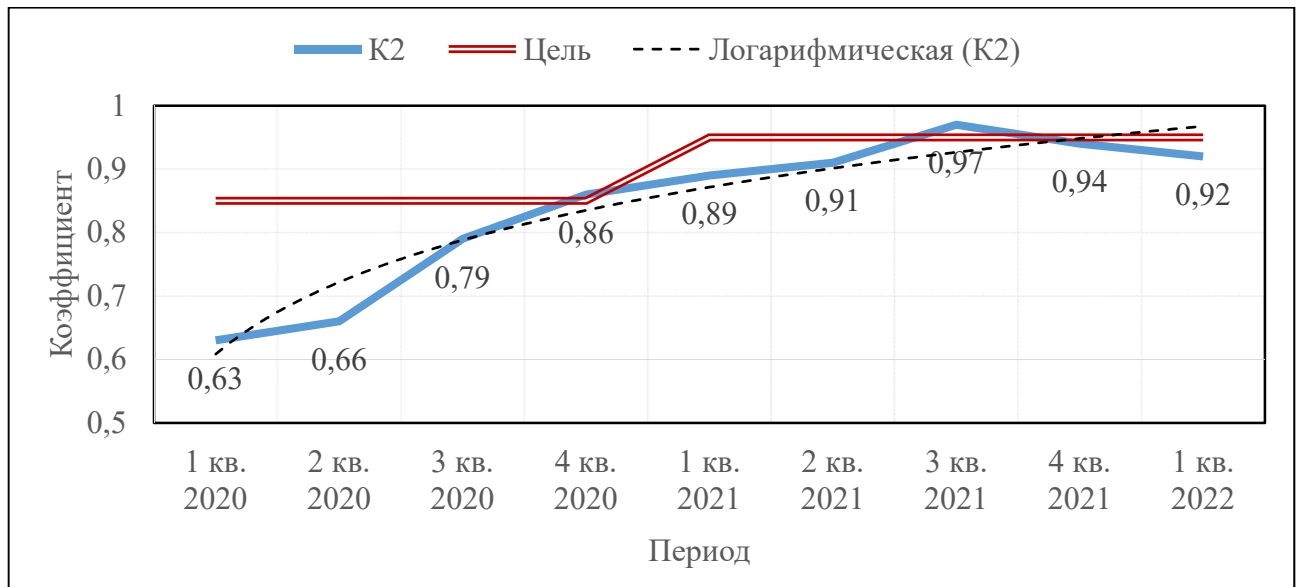


Рисунок 4.2 – Общая динамика сдачи КД с первого предъявления

Из анализа рисунка 4.2 видно, что коэффициент сдачи с первого предъявления после начала внедрения мероприятий интенсивно растет, а затем, достигнув определенного высокого значения, несколько изменяясь по месяцам, находится в пределах целевого значения. В таблице 4.2 показана динамика сдачи КД с первого предъявления по различным видам контроля.

Таблица 4.2 – Данные по сдаче КД с первого предъявления по видам контроля

Вид контроля / Год	2018	2019	2020	2021	2022
Технологический контроль	–	85 %	95 %	97 %	97 %
Метрологическая экспертиза	65 %	65-70 %	90 %	95 %	94 %
Нормоконтроль	60-65 %	65 %	86 %	92 %	93 %

Для суммарной оценки качества разработки КД в подразделении применяется комплексный показатель качества конструкторской документации $K_{КД}$, значение которого определяется отношением суммы частных показателей к их количеству (см. главу 3). На данном показателе базируется система мотивации (премирования) конструкторов, которая не вызывает больших нареканий ни со стороны персонала, ни со стороны руководителей.

Расчёт комплексного показателя качества разработки КД $K_{КД}$ и частных показателей качества осуществляется в соответствии с матрицей распределения ответственности между должностными лицами. Динамика изменения значений комплексного показателя качества разработки КД представлена на рисунке 4.3.

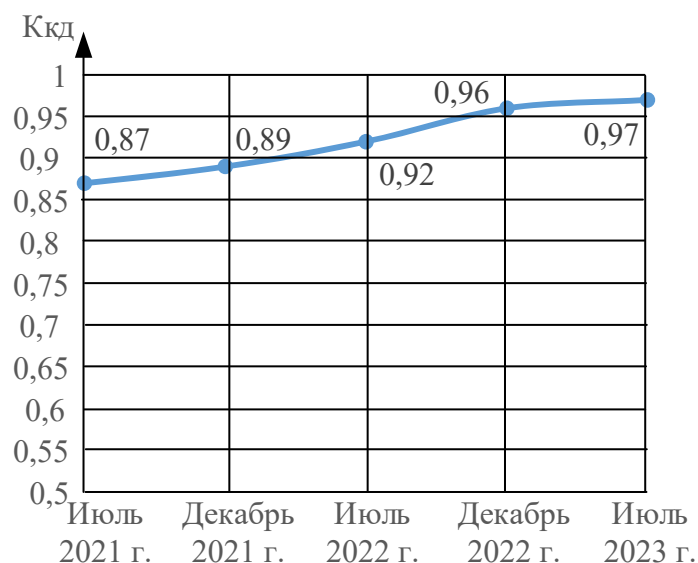


Рисунок 4.3 – Динамика изменения значений комплексного показателя качества разработки КД

Показатель – «Количество дней в очереди» на проверку КД позволяет оценить эффективность процесса проверки КД. Внедренные мероприятия позволили снизить трудоемкость проверки КД и сократить на этой основе время ожидания проверки с двух недель до 2...4 дней (рисунок 4.4).

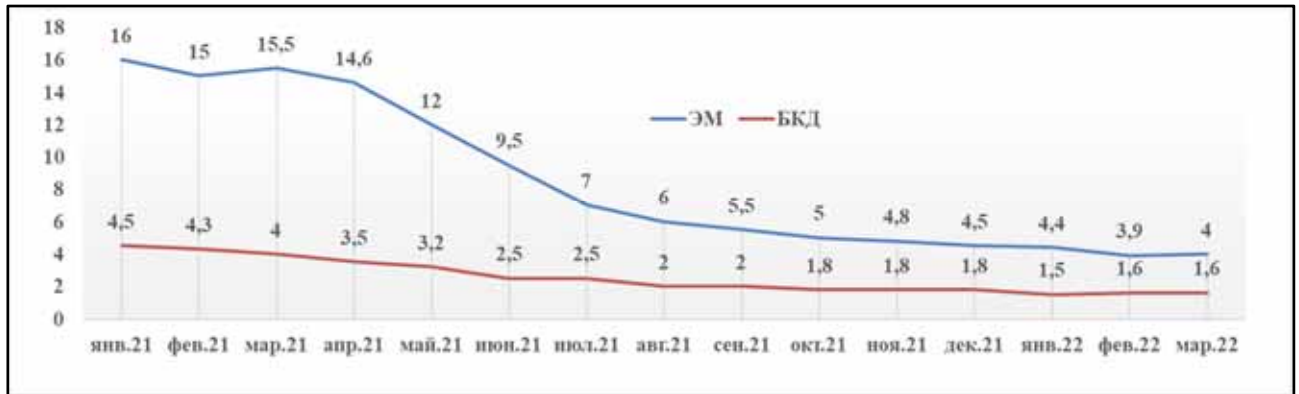


Рисунок 4.4 – Динамика изменения показателя «Дней в очереди» и оценка эффективности процесса проверки: по вертикали – дни ожидания (ЭМ – электронные модели, БКД – бумажная конструкторская документация)

Уменьшение трудоемкости проверки КД позволило ужесточить нормативы эффективности работы каждого проверяющего. Первоначальные нормативы были очень низкими: для форматов А4 бумажной КД (БКД) – 4 формата А4 в час, для ЭМ – 2. Сокращение количества ошибок в КД и организация труда проверяющих позволили увеличить эти показатели до 12 для БКД и 6 для ЭМ в час соответственно. Динамика изменения нормативов трудоемкости на проверку КД, соответствующая увеличению производительности проверяющих подразделений приведена на рисунке 4.5. Рисунок показывает, что производительность труда проверяющих подразделений повысилась не менее, чем вдвое.

Оценка качества КД (показатель K_3) по внесению изменений при изготовлении изделия (внешнее качество) проводилась по количеству выпущенных предварительных извещений о корректировке КД, связанных с ошибкой конструктора (шифр 7). Изначально такой показатель не оценивался, к началу 2021 г. данное значение имело устойчивое значение выше показателя 0,9 (рисунок 4.6).

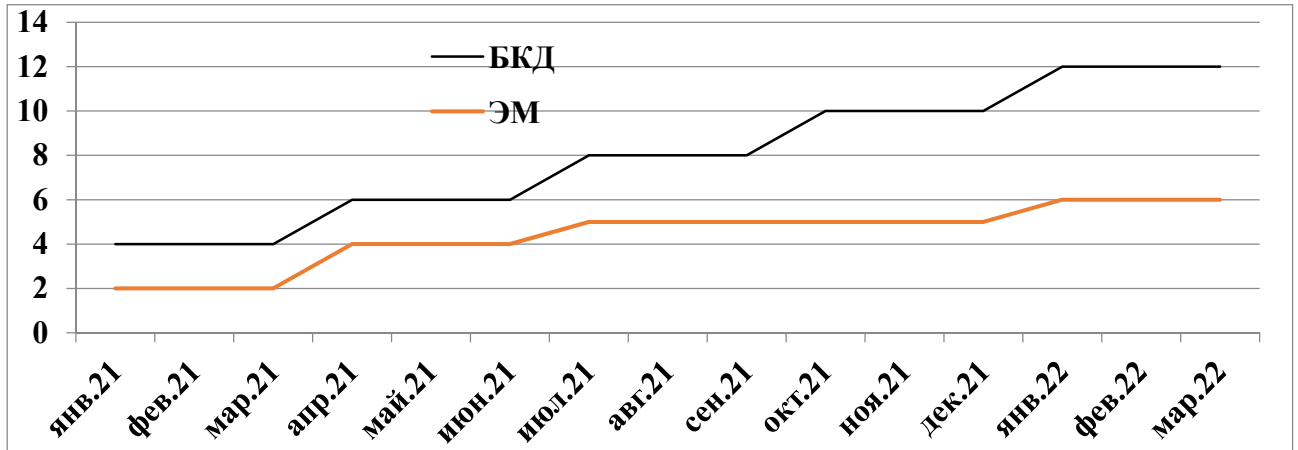


Рисунок 4.5 – Динамика изменения нормативов трудоемкости на проверку КД

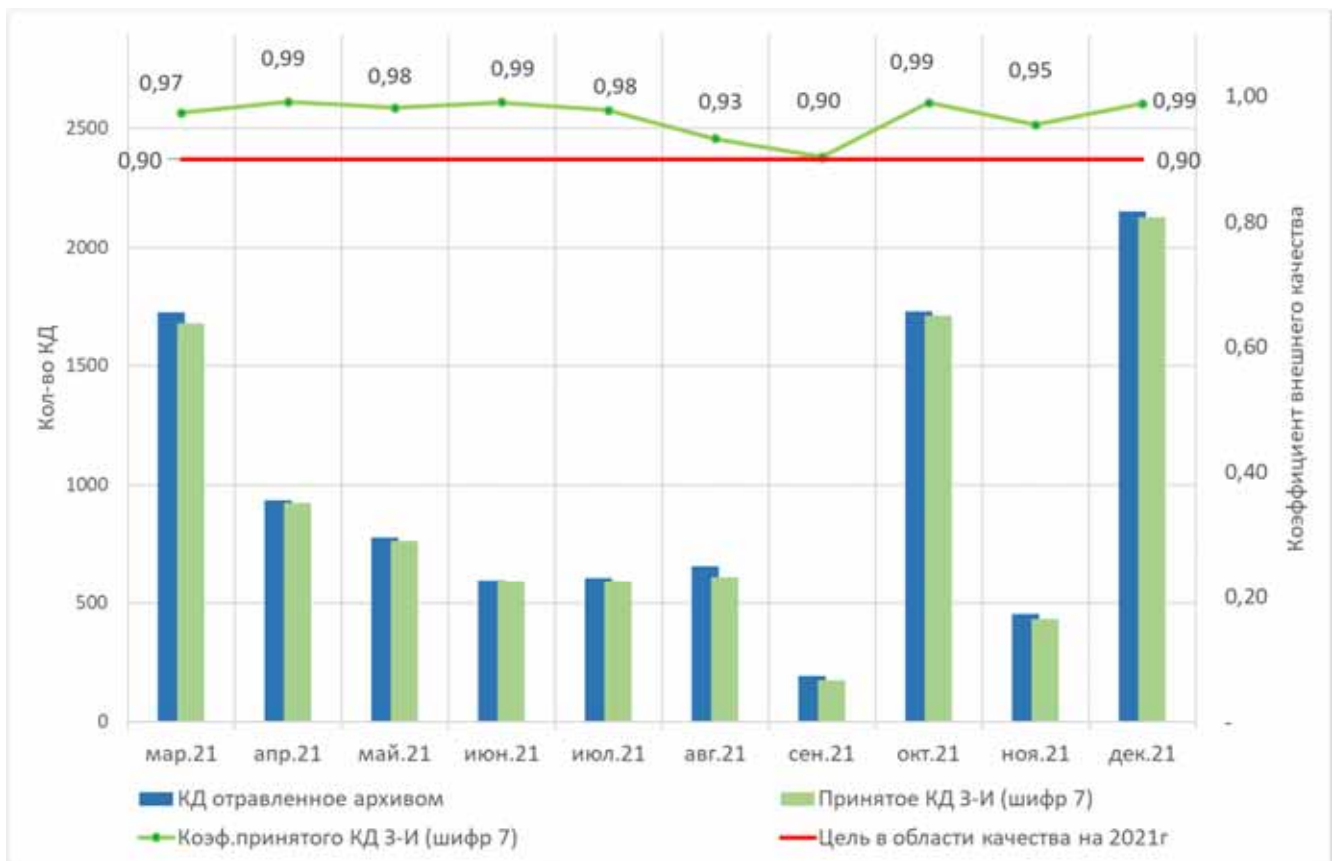


Рисунок 4.6 – Динамика внешнего качества КД за 2021 год

Определенные усилия при внедрении методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации были направлены на убеждение персонала в необходимости внесения изменений в практику работы,

изменение стандартов и вовлечение его в работу с тем, чтобы участие персонала было осознанным, а не формальным, т. к. это фактически является трансформацией корпоративной культуры. Визуализация, анализ корневых причин ошибок и объективная оценка результатов труда позволили улучшить моральный климат в коллективе.

Таким образом результаты практического применения методики совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации в АО «НЦВ Миль и Камов» подтверждают обоснованность научных положений диссертации и получили необходимую поддержку руководства предприятия [72]. В итоге заметно улучшилось качество КД.

4.5 Выводы по четвертой главе

1. Разработана комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники, позволяющая снизить ресурсоемкость проектирования авиационной техники на основе внутренней и внешней обратных связей между предприятием-разработчиком и предприятиями-изготовителями авиационной техники, работающими в условиях индивидуализированного производства, существенно и в достаточно короткие сроки улучшить качество КД и процесс ее разработки, вовлечь персонал в процесс улучшения КД, выявлять проблемы и обосновано в короткие сроки разрабатывать меры коррекции, а также предварительные меры, направленные на предотвращение ошибок в КД.

2. Разработана информационная система мониторинга показателей качества, реализующая следующие функции: автоматическое формирование применимых требований к конструкторской документации исходя из вида документации и реализуемого проекта разработки АТ, регистрацию результатов контроля качества конструкторской документации практически, визуализацию результатов проверки в виде статистических инструментов управления качеством, расчет показателей

качества от индивидуального значения по каждому конструктору до уровня конструкторского бюро.

3. Разработана система руководящих документов для исполнителей процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники, включающая 14 Руководств для конструкторов 4-х категорий: директивы, конструкция, расчеты, испытания.

4. По результатам диссертационного исследования разработан проект предварительного национального стандарта «Система гарантии качества проектирования. Общие требования», включенного в программу национальной стандартизации на 2023 г.

5. Комплексная апробация и внедрение предложенных научно-технических и организационных решений повышения качества процесса разработки конструкторской документации на авиационную технику осуществлены на предприятии АО «НЦВ Миль и Камов», входящем в холдинг «Вертолеты России». При этом значение комплексного показателя качества разработки КД увеличилось до 0,98, процент сдачи КД с первого предъявления достиг уровня 92 %, время ожидания проверки КД сократилось с двух недель до 2...4 дней, производительность труда проверяющих подразделений повысилась вдвое.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная научная задача совершенствования инструментария обеспечения и улучшения качества рабочей конструкторской документации авиационной техники в совокупности с ее контролем в условиях индивидуализированного производства, имеющая существенное значение для развития управления качеством продукции, стандартизации и организации производства, как отрасли знаний.

1. На основе проведенного научно-технического обзора и анализа проблемы качества конструкторской документации авиационной техники и методов его совершенствования, установлено, что одними из основных факторов, отрицательно сказывающихся на качестве конструкторской документации авиационной техники, являются работа предприятий авиационной промышленности в условиях локализации и индивидуализации производства, обуславливающих частые смены и модификации объектов авиационного производства при постоянном ужесточении сроков, выделяемых на конструкторскую подготовку производства авиационной техники, учитывающей пожелания конкретного потребителя.

2. Разработана комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники, позволяющая снизить ресурсоемкость проектирования авиационной техники на основе внутренней и внешней обратных связей между предприятием-разработчиком и предприятиями-изготовителями авиационной техники, работающими в условиях индивидуализированного производства. Оценку процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации в комплексной методике предлагается производить на основе определения уровня зрелости каждого из шести основных элементов (обратная связь (внутренняя и внешняя), анализ корневых причин и решения проблем, визуализация и управление по ключевым показателям эффективности, стандартизация, управление квалификацией, управление и контроль за реализацией всех элементов) и процесса

в целом по пяти уровням зрелости, оцениваемых по 32 проверяемым параметрам. Визуализацию достигнутого уровня зрелости каждого элемента и процесса в целом предложено производить на основе лепестковых диаграмм и общей интегральной оценки уровня зрелости процесса улучшения качества конструкторской документации по площади фигуры, ограниченной значениями уровней зрелости шести основных элементов данного процесса. Для практического примера оценки уровня зрелости процесса улучшения качества конструкторской документации достигнутый уровень зрелости исследуемого процесса равен $R_{\text{д}} = 1,56$ балла, а планируемый – $R_{\text{п}} = 2,98$ балла.

3. Критерием установления и мониторинга достижения целей в области качества в предложенной концепции совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники служит разработанный комплексный показатель качества процесса разработки конструкторской документации, включающий четыре комплексных показателя качества второго уровня: количество ошибок на документ, сдача КД с первого предъявления, внешнее качество, своевременность рассмотрения запросов на изменение КД. Предложено целевые значения комплексных показателей качества процесса разработки конструкторской документации устанавливать на основе результатов регрессионного анализа зависимости затрат ресурсов различных видов на качество КД. Показано, что целевое значение комплексного показателя качества второго уровня – показателя сдачи КД с первого предъявления – должно быть установлено равным $K_{2\text{ОПТ}} = 91,02\%$. При этом нахождение фактического значения данного показателя в границах $89,08 \leq K_2 \leq 92,56\%$ будет гарантировать оптимальный уровень затрат на качество. При значениях показателя сдачи КД с первого предъявления выше уровня 92,56 % суммарные затраты на обеспечение качества будут стремительно расти, превышая при этом возможный эффект от улучшения качества КД.

4. Предложена комплексная методика повышения оперативности работ по контролю качества конструкторской документации авиационной техники

(метрологическая экспертиза, технологический контроль, нормоконтроль), позволяющая предупреждать возникновение несоответствий в рабочей конструкторской документации и включающая следующий инструментарий: классификатор требований и ошибок при проектировании, механизм обратной связи между внутренними и внешними потребителями, матрицу применимых требований, чек-листы проверки конструкторской документации и памятки (инструкции) для конструктора, механизм внешней обратной связи, интегрированные в информационную систему управления процессом разработки конструкторской документации предприятия-разработчика авиационной техники для ее индивидуализированного производства.

5. Созданы информационная система мониторинга показателей качества, оказывающая информационную поддержку разработанной концепции и инструментарий совершенствования качества процесса разработки конструкторской документации авиационной техники и реализующая следующие функции: автоматическое формирование применимых требований к конструкторской документации исходя из вида документации и реализуемого проекта разработки АТ, регистрацию результатов контроля качества конструкторской документации практически, визуализацию результатов проверки в виде статистических инструментов управления качеством, расчет показателей качества от индивидуального значения по каждому конструктору до уровня конструкторского бюро; а также система руководящих документов для исполнителей процесса разработки и контроля конструкторской документации авиационной техники, изготавливаемой в условиях индивидуализированного производства, включающая 14 Руководств для конструкторов 4-х категорий: директивы, конструкция, расчеты, испытания. Комплексная апробация и внедрение предложенных научно-технических и организационных решений повышения качества процесса разработки конструкторской документации на авиационную технику осуществлены на предприятии АО «НЦВ Миль и Камов», входящем в холдинг «Вертолеты России». При этом значение комплексного показателя качества разработки КД увеличилось до 0,98, процент сдачи КД с первого

предъявления достиг уровня 92 %, время ожидания проверки КД сократилось с двух недель до 2...4 дней, производительность труда проверяющих подразделений повысилась вдвое.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Научные и практические результаты диссертационного исследования рекомендуется применять при решении задач повышения эффективности и качества процесса конструкторской подготовки производства транспортных машин, в том числе воздушного транспорта, к которым предъявляются высокие требования к технической надежности и эксплуатационной безопасности, а также в учебном процессе подготовки магистров и аспирантов в областях проектно-конструкторских работ и управления качеством и повышения квалификации инженерно-технических работников предприятий авиационно-космической отрасли.

Перспективой дальнейшей разработки темы диссертации является дальнейшее совершенствование методик и инструментария повышения эффективности и качества процесса конструкторской подготовки производства широкого класса машин наземного, воздушного и водного транспорта, к которым предъявляются высокие требования к длительной и безопасной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, К. К. Электротехнические схемы и чертежи / К. К. Александров, Е. Г. Кузьмина. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.
2. Амиров, Ю. Д. Научно-техническая подготовка производства / Ю. Д. Амиров. – Москва : Экономика, 1989. – 230 с.
3. Амиров, Ю. Д. Основы конструирования : Творчество – стандартизация – экономика : Справочное пособие / Ю. Д. Амиров. – Москва: Издательство стандартов, 1991. – 392 с.
4. Антипов, Д. В. Совершенствование процесса проектирования, разработки и постановки на производство автокомпонентов с учетом специальных требований потребителей / Д. В. Антипов, Д. А. Горохова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 6. – С. 155–166.
5. Анцев, А. В. Типизация конструкторских проектных решений подъемных кранов при аналоговом проектировании / А. В. Анцев, А. В. Воробьев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – Вып. 8. – С. 313–319.
6. Анцев, В. Ю. Всеобщее управление качеством : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 220501 «Управление качеством» / В. Ю. Анцев, А. Н. Иноземцев. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2005. – 243 с.
7. Анцев В. Ю. Информационная поддержка системы управления качеством в машиностроительном производстве: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.02.08, 08.00.20. – Тула, 2000. – 415 с.
8. Артеменко, В. Б. Электронная конструкторская документация на изделия военной техники. Особенности разработки и сопровождения / В. Б. Артеменко, В. Г. Долгополов // Вооружение и экономика. – 2021. – № 4 (58). – С. 92–101.
9. Артемьев, А. А. Крылья сверхдержавы / А. А. Артемьев. – Москва : Яуза : Эксмо, 2009. – 608 с.
10. Балабанов, А. Н. Контроль технической документации / А. Н. Балабанов.

3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во стандартов, 1992. – 312 с.

11. Балашева, Ю. В. Комплексная оценка технологичности деталей типа «Вал» квалитетическими методами : Дисс... канд. техн. наук : 05.02.08, 05.02.23. – Тула, 2007. – 145 с.

12. Балканский, А. А., Ёлкин В.В. Общее руководство по выполнению чертежей : учебное пособие / А. А. Балканский. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2014. – 44 с.

13. Барканова, Д. С. Порядок и правила разработки, оформления и обращения конструкторской документации : Пособие для конструкторов / Д. С. Барканова, Ю. С. Тихомиров – Москва : Изд-во стандартов, 1992. – 159 с.

14. Басовский, Л. Е. Управление качеством : Учебник / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 212 с.

15. Благовещенский, Д. И. Проблема обеспечения надежности новой продукции в автомобилестроении на этапе проектирования/ Д. И. Благовещенский, В. Н. Козловский, С. А. Васин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 5. – С. 53–59.

16. Благовещенский, Д. И. Проблемы и направления развития цифровизации системы менеджмента качества автосборочного предприятия / Д. И. Благовещенский, Д. В. Айдаров, Н. В. Кудашева, В. Н. Козловский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2021. – Т. 23. – № 2 (100). – С. 57-65.

17. Блехерман, М. Х. Гибкие производственные системы : организационно-экономические аспекты / М. Х. Блехерман. – Москва : Экономика, 1988. – 221 с.

18. Бойцов, Б. В. Применение отечественного программно-технического комплекса в формировании структуры единого информационного пространства самолетостроительного предприятия / Б. В. Бойцов, В. И. Бехметьев, С. Л. Васильев, Н. И. Фокин // Качество и жизнь. – 2023. – № 1 (37). – С. 44-54.

19. Борисов, В. М. Конструкторский контроль курсовых проектов и выпускных квалификационных работ студентов машиностроительных специальностей / В. М. Борисов, В. А. Лашков, С. В. Борисов // Вестник Казанского

технологического университета. – 2010. – № 11. – С. 401-405.

20. Брагин, Ю. В. Путь QFD. Проектирование и производство продукции исходя из ожиданий потребителей / Ю. В. Брагин, В. Ф. Корольков. – Ярославль : Негосударственное некоммерческое образовательное учреждение «Центр качества», 2003. – 240 с.

21. Бушуев, В. В. Практика конструирования машин : справочник / В. В. Бушуев. – Москва : Машиностроение, 2006. – 448 с.

22. Быков, В.В. Исследовательское проектирование в машиностроении / В.В. Быков, В.П. Быков. – Москва : Машиностроение, 2011. – 256 с.

23. Вапнярская, О.И. Генезис и современные подходы к определению кастомизации / О. И. Вапнярская // Сервис в России и за рубежом. – 2014. – Т. 8. – № 6. – С. 189-201.

24. Васильев, В. А. Управление качеством / В. А. Васильев. – Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2022. – 160 с.

25. Васильев, В. Н. Организация производства в условиях рынка / В. Н. Васильев. – Москва : Машиностроение, 1993. – 368 с.

26. Васильев, В. Н. Организационно-экономические основы гибкого производства : Учебное пособие / В. Н. Васильев, Т. Г. Садовская. – Москва : Высш. шк., 1988. – 272 с.

27. Васин, С. А. Влияние дизайн-визуализации на повышение качества продукции при разработке транспортного средства / С. А. Васин, А. А. Талдыкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 10. – С. 46–48.

28. Васин, С. А. Модель обеспечения качества технических систем ответственного назначения / С. А. Васин, Е. В. Плахотникова // Качество и жизнь. – 2019. – № 1 (21). – С. 3-7.

29. Васин, С. А. Решение вопросов безопасности при проектировании автомобиля для людей с ограниченными возможностями здоровья / С. А. Васин, А. А. Кошелева // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле.

– 2019. – № 2. – С. 77–88.

30. Васин, С. А. Решение вопросов качества продукции при дизайн-проектировании промышленных изделий / С. А. Васин, А. А. Кошелева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – № 10. – С. 41–46.

31. Вахитов, А. Ф. Вертолет Ка-26 / А. Ф. Вахитов. – Москва : Транспорт, 1973. – 168 с.

32. Воробьев, А. М. Концепция создания единой среды проектирования, как первый этап обеспечения жизненного цикла изделий (опыт ОАО «КБСМ») / А. М. Воробьев, В. М. Пивоваров, Д. К. Щеглов, М. В. Алимов [и др.] // CADmaster. – 2008. – №2. – С. 16-20.

33. Воробьев, А. В. Методика повышения эффективности конструкторской подготовки производства грузоподъемных машин / А. В. Воробьев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – Вып. 4. – С. 469–475. – DOI: 10.24412/2071-6168-2023-4-469-475.

34. Воронкова, П. Н. Обеспечение качества конструкторской документации за счет средств автоматизации нормоконтроля / П. Н. Воронкова, Ю. В. Французова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – Вып. 8–1. – С. 195–198.

35. Всеобщее управление качеством : Учебник для вузов / под редакцией О. П. Глудкина, Н. М. Горбунова, А. И. Гурова. – Москва : Радио и связь, 1999. – 600 с.

36. Всякий, М.А. Особенности организации кастомизированного производства / М. А. Всякий, И. А. Стрижанов // Экономинфо. – 2011. – № 15. – С. 26-28.

37. Гливенко, Н. В. Визуализация как метод повышения эффективности управления проектами / Н. В. Гливенко, Ж. М. Кокуева, К. В. Волкова // Гуманитарный вестник. – 2016. – № 11(49). – С. 5. – DOI 10.18698/2306-8477-2016-11-397.

38. Голубев, И. С. Проектирование конструкций летательных аппаратов :

учебник для студентов вузов / И. С. Голубев, А. В. Самарин. – Москва : Машиностроение, 1991. – 512 с.

39. Горицкий, С. О количественной оценке качества конструкторской документации / С. Горицкий, Н. Буданова, Б. Якимович // САПР и графика. – 2003. – № 7. – Текст : электронный. – URL : <https://sapr.ru/article/7632>.

40. ГОСТ 2.103-2013. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 6 с.

41. ГОСТ 2.111-2013. Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 8 с.

42. ГОСТ 14.201-83. Технологичность конструкции изделия. Общие требования. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 8 с.

43. ГОСТ 14.206-73. Технологический конструкторской документации. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 5 с.

44. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 21 с.

45. ГОСТ Р ИСО 9000-2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary (IDT). Москва : Стандартинформ, 2015. – 48 с.

46. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 32 с.

47. ГОСТ Р 56116-2014. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. Метрологические риски. Основные положения. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 8 с.

48. ГОСТ Р 58338-2018. Системы менеджмента качества организаций авиационной, космической и оборонной промышленности. Требования к дистрибьюторам продукции. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 46 с.

49. ГОСТ Р 58931-2020. Система обеспечения единства измерений на предприятиях авиационной промышленности. Метрологическая экспертиза технических заданий, конструкторской и технологической документации. Организация и порядок проведения. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 12 с.

50. Государственная приемка продукции / И. И. Исаев [и др.]. – Москва : Изд-во стандартов, 1989. – 399 с.
51. Градиль, В.П. Справочник по Единой системе конструкторской документации / В. П. Градиль, А. К. Моргун, Р. А. Егошин ; Под ред. А. Ф. Раба. 4-е изд., перераб. и доп. – Харьков : Прапор, 1988. – 255 с.
52. Григорьева, Л. И. Нормоконтроль. Методика и организация / Л. И. Григорьева, М. В. Богданов, И. К. Демидов. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 190 с.
53. Григорьева, Н.С. Выбор оптимальной стратегии нормоконтроля конструкторской документации в машиностроении : специальность 05.02.23 «Стандартизация и управление качеством продукции» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Григорьева Наталья Сергеевна ; Тульский государственный университет. – Тула, 2004. – 127 с.
54. Григорьева, Н. С., Иноземцев А.Н., Троицкий Д.И. Выбор оптимальных стратегий в задачах нормоконтроля конструкторской документации / Н. С. Григорьева, А. Н. Иноземцев, Д. И. Троицкий // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации : Материалы II Международной научно-технической конференции. Курский государственный технический университет. – Курск, 2004. – С. 55-59.
55. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х книгах / Н. Дрейпер, Г. Смит : перевод с английского. – Книга 1. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
56. Дружинский, И. А. Слагаемые качества конструкторских работ. Записки конструктора / И. А. Дружинский. – Ленинград : Лениздат, 1977. – 119 с.
57. Единая система конструкторской документации : Справочное пособие / С. С. Борушек, А. А. Волков М. М. Ефимова и др. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва Изд-во стандартов, 1989. – 353 с.
58. Единая система технологической документации / Е. А. Лобода, В. Г. Мартынов, Б. С. Мендриков [и др.] – Москва : Издательство стандартов, 1992. – 325 с.
59. Жаринов, И. О. Экономическое управление компанией оборонно-

промышленного комплекса с кастомизируемой линейкой гражданской продукции / И. О. Жаринов // Вестник Тверского государственного университета. Серия : Экономика и управление. – 2021. – № 3 (55). – С. 55-63.

60. Жилкин, О. Н. Массовая кастомизация. Влияние на конкурентоспособность авиастроительных предприятий и развитие их индустриальных моделей / О. Н. Жилкин, Р. В. Лопаткин // Вестник Евразийской науки. – 2018. – №5. – Текст : электронный. URL : <https://esj.today/PDF/49ECVN518.pdf>.

61. Захаренкова, И.А. Цифровая трансформация производственных систем: кастомизированное производство как маркетинговый подход к персонализации бренда / И. А. Захаренкова, Т. П. Беяева, Е. В. Захаренкова // Актуальные вопросы современной экономики. – 2023. – № 2. – С. 93-101.

62. Зедгинидзе, И. Г. Контроль качества продукции : Конспект лекций / И. Г. Зедгинидзе, Р. М. Жвания. – Тбилиси : Технический университет – «Центр информатизации», 2005. – 234 с.

63. Злыгарев, В. А. Информационные технологии – основа обновления российской промышленности / В. А. Злыгарев // Вестник машиностроения. – 1998. – № 5. – С. 40-44.

64. Иванов, В. С. Организация метрологической экспертизы конструкторской документации на предприятии / В. С. Иванов, А. Н. Постнов, Л. В. Иванова // Научные труды (Вестник МАТИ). – 2013. – № 20 (92). – С. 281-288.

65. Иванов, М. М. Массовая кастомизация в машиностроении: перспективы, барьеры, риски и выгоды / М. М. Иванов // Инновационная экономика. Материалы Региональной научной конференции-школы для молодежи. – Уфа : УГАТУ, 2018. – С. 231-239.

66. Каблашова, И. В. Методика оценки взаимосвязи затрат на качество с результирующими показателями деятельности предприятия / И. В. Каблашова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Экономика и управление». – 2006. – № 2. – С. 167-175.

67. Каменщик, Д. Притоки Домодедово. Дмитрий Каменщик о том, как он

воспитывает сотрудников / Д. Каменщик. [Электронный ресурс]. – 2016. – URL: <https://www.forbes.ru/biznes/334949-pritoki-domodedovo-dmitriy-kamenshchik-o-tom-kak-vozpityvaet-sotrudnikov> (дата обращения: 15.02.2023).

68. Квалиметрия в машиностроении : учебник / Р. М. Хвастунов, А. Н. Феофанов, В. М. Корнеева, Е. Г. Нахапетян. – Москва : Экзамен, 2009. – 285 с.

69. Клейнер, Г. Б. Предприятие в нестабильной экономической среде: риски, стратегии, безопасность/ Г. Б. Клейнер, В. Л. Тамбовцев, Р. М. Качалов ; Под. общ. ред. С. А. Панова. – Москва : Экономика, 1997. – 288 с.

70. Конструирование машин : Справочно-методическое пособие. В 2-х т. Т. 1. / К. В. Фролов, А. Ф. Крайнев, Г. В. Крейнин [и др.] ; Под общ. ред. К. В. Фролова. – Москва : Машиностроение, 1994. – 528 с.

71. Конструирование машин : Справочно-методическое пособие. В 2-х т. Т. 2. / А. Ф. Крайнев, Г. П. Гусенков, В. В. Болотин [и др.] ; Под общ. ред. К. В. Фролова. – Москва : Машиностроение, 1994. – 624 с.

72. Короткевич, М. З. Использование цифровых технологий в разработке вертолетной техники / М. З. Короткевич // АвиаСоюз. – 2021. – № 6 (88). – С. 32.-36.

73. Костров, А. В. Информационный менеджмент. Оценка уровня развития информационных систем : монография / А. В. Костров. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2012. – 125 с.

74. Костров, А. В. Основы информационного менеджмента : учебное пособие / А. В. Костров. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Финансы и статистика : ИНФРА-М, 2009. – 528 с.

75. Кохановский, В. Д. Конструкторский контроль чертежей / В. Д. Кохановский, Ю. Н. Дзюман-Грек. – Москва : Машиностроение, 1988. – 232 с.

76. Крайнев, А. Ф. Идеология конструирования : монография / А. Ф. Крайнев. – Москва : Машиностроение-1, 2003. – 384 с.

77. Круглов, М. Г. Контроль качества в современных условиях / М. Г. Круглов, Д. С. Юрин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – Вып. 7. – С. 193-199.

78. Круглов, М. Г. Устойчивое развитие российских предприятий: проблемы и перспективы / М. Г. Круглов, Д. С. Юрин // Горизонты ИСО: Системы менеджмента и оценка соответствия. – 2021. – №6. – С. 3-9.

79. Липунцов, Ю. П. Управление процессами. Методы управления предприятием с использованием информационных технологий / Ю. П. Липунцов. – Москва : ДМК Пресс : Компания АйТи, 2003. – 224 с.

80. Метрологический контроль конструкторской документации : Методические рекомендации. – Москва : Оргстанкинпром, 1976. – 41 с.

81. Окрепилов, В. В. Менеджмент качества: учебник / В. В. Окрепилов. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 650 с.

82. Орлов, П.И. Справочник конструктора. Справочно-методическое пособие / Орлов П. И. В 2-х кн. Кн. 1. 3-е изд., испр. Под ред. П. Н. Учаева. – Москва : Машиностроение, 1988. – 560 с.

83. Орлов, П.И. Справочник конструктора. Справочно-методическое пособие / Орлов П. И. В 2-х кн. Кн. 2. 3-е изд., испр. Под ред. П.Н. Учаева. – Москва : Машиностроение, 1988. – 544 с.

84. Основы проектирования летательных аппаратов (транспортные системы) : учебное пособие для технических вузов / В. П. Мишин, В. К. Безвербый, Б. М. Панкратов, В. И. Зернов. Под ред. А. М. Матвеевко и О. М. Алифанова. 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2005. – 375 с.

85. ОСТ 1 00350-88 Самолеты и вертолеты. Порядок передачи конструкторской документации серийному предприятию для изготовления опытных образцов, подготовки и освоения серийного производства. Основные положения. – Москва, 1988. – 12 с.

86. ОСТ 1 00430-92. Документы конструкторские, технологические, программные. Правила внесения изменений. – Москва, 2020. – 58 с.

87. Пантюхин, О. В. Цифровой двойник изделий специального назначения / О. В. Пантюхин, С. А. Васин // Качество. Инновации. Образование. – 2021. – № 1 (171). – С. 37–40.

88. Пегина, А. Н. Управление процессом разработки конструкторской

документации в современной организации / А. Н. Пегина, Л. И. Назина, Н. Л. Клейменова, А. Д. Шемелова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ. – 2020. – № 4. – С. 228-235.

89. Проектирование самолетов : учебник / М. А. Погосян, Н. К. Лисейцев, Д. Ю. Стрелец [и др.]. Под ред. М. А. Погосяна. 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Инновационное машиностроение, 2018. – 864 с.

90. Проектирование самолетов : учебник для студентов вузов / С. М. Егер, В. Ф. Мишин, Н. К. Лисейцев [и др.]. Под ред. С. М. Егера. 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1983. – 616 с.

91. Профессионализм инженера-конструктора: анализ, оценка и совершенствование : монография / А. П. Исаев, А. М. Козубский, Л. В. Плотников, Г. Г. Суханов [и др.]. – Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2015. – 168 с.

92. Разработка методики оценки уровня качества конструкторской документации / А. Д. Шемелова, Н. Л. Клейменова, А. Н. Пегина, Л. И. Назина, О. А. Орловцева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ. – 2020. – № 10. – С. 142-147.

93. Разумов, И.М. Организация управления качеством проектных работ / И. М. Разумов, В. А. Трайнов, В. П. Баранчеев. – Тула : Приок. кн. изд-во, 1979. – 200 с.

94. Рассказова-Николаева, С. А. Корпоративные стандарты: от концепции до инструкции / С. А. Рассказова-Николаева, С. В. Шебек. 2-е изд. – Москва : Книжный мир, 2008. – 320 с.

95. Романовский, Р. С. Массовая кастомизация как перспективное направление в развитии промышленного производства / Р. С. Романовский, И. А. Петросова, Е. Г. Андреева // Костюмология. – 2021. – Т. 6. – № 4. – Текст : электронный. – URL : [https:// kostumologiya.ru/PDF/05TLKL421.pdf](https://kostumologiya.ru/PDF/05TLKL421.pdf).

96. Р 206-75. Руководство по количественной оценке качества разработки конструкторской документации / А.М. Игнатов, Л.И. Аникина. – Москва : ВНИИСТ, 1976. – 12 с.

97. РД 95 762-91. Метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации. – Москва ; Министерство атомной энергетики и промышленности СССР, 1991. – 62 с.

98. РМГ 63-2003. Государственная система обеспечения единства измерений. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Метрологическая экспертиза технической документации. – Москва : ИПК «Издательство стандартов», 2004. – 14 с.

99. Сайфуллина, А.Ф. Факторы, обеспечивающие качество продукции / А. Ф. Сайфуллина, Н. С. Сагитова // Аллея науки. – 2019. – Т. 3. – № 12 (39). – С. 483-488.

100. Сатановский, Р. Л. Эффективная организация качественного производства машин и приборов / Р. Л. Сатановский, Ю. Н. Басонов, А. М. Гордеенкова, Е. Р. Элент. Под общ. ред. Р. Л. Сатановского. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 160 с.

101. Селькина, О.В. Автоматизация процесса технического контроля конструкторской документации / О. В. Селькина, Ю. В. Французова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ. – 2017. – № 8-1. – С. 192-194.

102. Сергиенко, Е.Н. Индивидуализация как тенденция развития современного производства / Е. Н. Сергиенко // Вестник Саратовского государственного технического университета. – Саратов : Изд-во СГТУ им. Гагарина Ю.А. – 2008. – Т. 1. – № 1 (30). – С. 167-171.

103. Советов, Б. Я. Информационные технологии : учебник / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский. 6-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2016. – 263 с.

104. Соколов, А.А. Разработка метода автоматизации процесса нормоконтроля технической документации / А. А. Соколов, А. М. Дворянкин, А. Ю. Ужва // Известия Волгоградского государственного технического университета. – Волгоград : ВолгГТУ. – 2013. – № 22 (125). – С. 113-118.

105. Техничко-экономический анализ машин и приборов / Ю. Н. Мымрин, К. А. Грачева, Ю. В. Скворцов [и др.]. Под общ. ред. М. И. Ипатова и В. И. Постникова. – Москва : Машиностроение, 1985. – 248 с.

106. Технология самолетостроения : учебник для авиационных вузов / А. Л. Абибов, Н. М. Бирюков, В. В. Бойцов [и др.]. Под ред. А. Л. Абибова. 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1982. – 551 с.

107. Тихомирова, О. Г. Исследование сущности и процесса кастомизации производства в цифровой среде функционирования / О. Г. Тихомирова // *Фундаментальные исследования*. – 2018. – № 9. – С. 93-97.

108. Тихомирова, О. Г. Трансформация производственных систем в условиях кастомизации и дигитализации производства / О. Г. Тихомирова // *Седьмые Чарновские чтения. Сб. трудов VII Всеросс. научн. конф. по организации производства. НОЦ «Контроллинг и управленческие инновации» МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – Москва : ООО «Высшая школа инженерного бизнеса», 2018. – С. 95-106.

109. Трушин, Н. Н. Организационно-технологическая структура производственного процесса на машиностроительном предприятии : монография / Н. Н. Трушин. – Тула: ТулГУ, 2003. – 230 с.

110. Усатенко, С. Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД : справочник / С. Т. Усатенко, Т. К. Каченюк, М. В. Терехова. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – 325 с.

111. Фатхутдинов, Р. А. Организация производства : учебник / Р. А. Фатхутдинов . 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : ИНФРА-М, 2007. – 544 с.

112. Федюкин, В. К. Квалиметрия. Измерение качества промышленной продукции : учебное пособие / В. К. Федюкин. – Москва : КНОРУС, 2017. – 320 с.

113. Феномен массовой персонализации и кастомизации / К. А. Татаринев, С. М. Музыка, Н. Н. Аникиенко, И. А. Савченко // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. – 2023. – № 7-1. – С. 99-104.

114. Французова, Ю.В. Автоматизированная система технического контроля конструкторской документации / Ю. В. Французова, А. Г. Трошина // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. – Тула : Изд-во ТулГУ. – 2017. – № 8-1. – С. 186-191.

115. Юрин, Д. С. Качество авиационной техники, как объект управления

СМК / Д. С. Юрин // Качество и жизнь. – 2022. – № 1 (33). – С. 37-45. DOI: 10.34214/2312-5209-2022-33-1-37-45.

116. Юрин, Д. С. Московский вертолетный завод: работаем на предупреждение появления брака / Д. С. Юрин // Управление качеством. – 2019. – №9. – С. 4-10.

117. Юрин, Д. С. Выявление ошибок и несоответствий в конструкторской документации путем проверки формальных требований / Д. С. Юрин, Е. В. Шипунова, А. Р. Денискина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 7. С. 169-174.

118. Юрин, Д. С. Организация процесса улучшения качества рабочей конструкторской документации на авиастроительном предприятии / Д. С. Юрин, А. С. Тарасов, А. Р. Денискина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. Вып. 8. С. 3-9.

119. Юрин, Д. С. Обратная связь по качеству при проектировании авиационной техники / Д. С. Юрин, Н. Р. Якубалиев // Стандарты и качество. – 2022. – № 4. – С. 90-94.

120. Taguchi, G., S. Chowdhury and Y. Wu, 2004. Taguchi's Quality Engineering Handbook. Wiley-Interscience, pp: 1696.

121. Yurin, D. Quality 4.0. Time of revolutionary changes in the QMS / D. Yurin, A. Deniskina, B. Boytsov, M. A. Karpovich // E3S Web of Conferences : 22, Voronezh, 08–10 декабря 2020 года. – Voronezh, 2021. – P. 11010. – DOI 10.1051/e3sconf/202124411010.

Приложение А

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования



 «УТВЕРЖДАЮ»
 Первый заместитель
 исполнительного директора –
 начальник объединенного ОКБ
 А.С. Тарасов
 «21» 07 2023 г.

АКТ

о практическом внедрении результатов диссертационной работы Юрина Дмитрия Сергеевича,

выполненной на тему: «Совершенствование инструментов обеспечения качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Настоящий Акт подтверждает, что результаты диссертационного исследования были использованы при реализации в АО «НЦВ Миль и Камов» проекта «Система гарантии качества проектирования» и внедрены в процессы проектирования опытного конструкторского бюро предприятия.

Совершенствование системы качества проектирования авиационной техники является одним из приоритетных направлений АО «НЦВ Миль и Камов». Разработанная в диссертационной работе комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации (далее КД) позволила изменить подходы к контролю качества конструкторской документации, сместить акценты не на контроль, а на обеспечение качества, что способствует проектированию рабочей КД без ошибок с первого раза. Внедренные показатели качества процесса разработки на основе внутренней и обратной связи позволили повысить результативность принимаемых мероприятий по достижению целей в области качества.

За время внедрения предложенной комплексной методики и инструментов значение показатель качества «Сдача конструкторской документации с 1-го предъявления» достиг 92 %, время ожидания проверки КД сократилось с двух недель до 2..4 дней, производительность труда проверяющих подразделений повысилась вдвое, снизились непроизводительные затраты конструкторского бюро, связанные с исправлениями ошибок в объеме не менее 50 000 нормо-часов в год.

Реализация предложенных в диссертации методик и инструментов, реализованных в виде информационной системы и стандартов организации, показали их эффективность для процесса разработки в условиях индивидуализации требований заказчиков и ограниченности ресурсов.

Главный конструктор
вертолетной техники «МИ»

Новоселов С.А.

Приложение Б

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования

УТВЕРЖДАЮ

 Директор дирекции по качеству
 АО «Туполев»
 _____ В.В. Новиков
 _____ 2023 г.



АКТ

о внедрении диссертационного исследования

Настоящий актом удостоверяется, что результаты диссертационного исследования Юрина Дмитрия Сергеевича на тему: «Совершенствование инструментов обеспечения качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники» применяются на АО «Туполев» для совершенствования системы качества разработки.

В частности, был дополнен порядок проведения контроля качества конструкторской документации, разработаны и внедрены чек листы проверки по качеству конструкторской документации. Доработаны формы обратной связи с исполнителями, на основе которых улучшен подход по внутреннему обучению конструкторского состава.

Разработанная в диссертационной работе комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации (далее КД) позволила улучшить процесс мониторинга показателей и установления по ним обоснованных целевых значений. Повысилась результативность принимаемых мероприятий по обеспечению качества за счет использования структурированных подходов анализа ошибок и организации специализированных тренингов для поддержания компетенций.

Реализация отдельных инструментов предложенной комплексной методики позволила обеспечить снижение количества несоответствий в конструкторской документации от 15 до 30% ежегодно.

Апробация предложенных в диссертации инструментов, реализованная в виде информационной системы, показала их пригодность для решения задач, стоящих перед специалистами АО «Туполев» в рамках программ создания перспективных летательных аппаратов.

Инженер 1 категории



Морозова Т.В.

Приложение В

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Д.А. Козорез

«30»

2023 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы Юрина Дмитрия Сергеевича «Совершенствование инструментов обеспечения качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы Юрина Дмитрия Сергеевича «Совершенствование инструментов обеспечения качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники» внедрены в учебный процесс федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московской авиационный институт (национальный исследовательский университет)». Результаты работы, в частности комплексная методика совершенствования качества процесса разработки рабочей конструкторской документации авиационной техники, используются при подготовке бакалавров и магистров по направлениям «Управление качеством» и «Авиастроение», подготовке аспирантов по научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства на кафедре 104 «Технологическое проектирование и управление качеством».

Председатель комиссии
Заместитель директора
дирекции института № 1

Д. С. Шавелкин

Члены комиссии:

И.о. заведующего кафедрой 104,
к.т.н., доцент
Профессор кафедры 104,
д.т.н., доцент
Доцент кафедры 104,
к.т.н., доцент

А. Р. Денискина

М. Л. Рахманов

Г. Н. Кравченко