



СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДНЫМИ ДЕЛЬТАМИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В РАМКАХ СТАНДАРТОВ ЕСКД, ЕСТД И ЕСПД: КОНЦЕПЦИЯ, ФОРМАЛИЗАЦИЯ И АРХИТЕКТУРА

А. А. Олимпиев, А. А. Осадченко

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Поставлена проблема управления изменениями в комплексах технической документации, сопровождающих разработку технических и программных проектов. Выполнен анализ нормативной базы – стандартов ЕСКД (ГОСТ 2.102-2013, ГОСТ Р 2.503-2023 и др.), ЕСТД (ГОСТ 3.1102-2011 и др.) и ЕСПД (ГОСТ 19.101-77 и др.), которые в совокупности определяют около 60 видов документов, охватывающих полный жизненный цикл изделия. Отмечено, что ключевым нормативным основанием системы выступает п. 4.2 ГОСТ Р 2.503-2023, требующий одновременного внесения соответствующих изменений во все взаимосвязанные документы. Предложена концепция системы управления каскадными дельтами (СУКД), в которой дельта определена как атомарное изменение конкретного поля конкретного вида документа по ГОСТ и принята первичным объектом версионирования. Введена классификация дельт по семи типам (Ω_1 - Ω_7), построена матрица каскадных зависимостей для более 30 пар типов документов, описаны архитектура системы и модуль интеллектуального анализа дельт в структурированных форматах (STEP, XML, XLSX). Приведён развёрнутый пример каскада из 8 зависимых дельт при замене компонента изделия. Полученные результаты апробированы в контексте управления жизненным циклом телекоммуникационного оборудования в университетской среде.

Ключевые слова: жизненный цикл изделия, ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД, каскадные изменения, дельта документации, управление версиями, прослеживаемость, PLM, CALS, STEP (ISO 10303), Извещение об изменении (ИзмИ).

Для цитирования:

Олимпиев, А. А. Система управления каскадными дельтами технической документации в рамках стандартов ЕСКД, ЕСТД и ЕСПД: концепция, формализация и архитектура / А. А. Олимпиев, А. А. Осадченко // Системный анализ и логистика. – 2026. – № 2(50). – с. 64-79. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-2-64-79.

CASCADE DELTA MANAGEMENT SYSTEM FOR TECHNICAL DOCUMENTATION UNDER ESKD, ESTD AND ESPD STANDARDS: CONCEPT, FORMALIZATION AND ARCHITECTURE

A. A. Olimpiev, A. A. Osadchenko

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The paper addresses the problem of change management in technical documentation sets accompanying the development of engineering and software projects. The regulatory basis comprises ESKD (GOST 2.102-2013, GOST R 2.503-2023 etc.), ESTD (GOST 3.1102-2011 etc.) and ESPD (GOST 19.101-77 etc.), which together define about 60 document types covering the full product lifecycle. The key normative foundation is clause 4.2 of GOST R 2.503-2023: “a change in a document that requires changes in other documents must be accompanied by simultaneous introduction of corresponding changes in all related documents”. A Cascade Delta Management System (CDMS) is proposed in which the delta - an atomic change in a specific field of a specific GOST-regulated document - is the primary versioning unit. A seven-type delta classification (Ω_1 - Ω_7) is developed, a cross-standard dependency matrix for over 30 document-type pairs is constructed, the system architecture is described, and an expanded 8-delta cascade example for a component replacement is provided. Limitations of general-purpose LLMs for structured delta classification are analyzed with substantiation of the need for specialized trained classifiers.

Keywords: product lifecycle, ESKD, ESTD, ESPD, cascade changes, document delta, version control, traceability, PLM, CALS, STEP (ISO 10303), change notice.

For citation:

Olimpiev, A. A. Cascade delta management system for technical documentation under ESKD, ESTD and ESPD standards: concept, formalization and architecture / A. A. Olimpiev, A. A. Osadchenko // System analysis and logistics. – 2026. – № 2(50). – p. 64-79. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-2-64-79.



Введение

Разработка любого технического или программного проекта неизбежно порождает большое количество взаимосвязанных документов, регулируемых отечественными стандартами. По данным ГОСТ 2.102-2013, только в рамках Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) определено более 30 видов документов: чертежи деталей, сборочные чертежи, схемы, спецификации, ведомости, технические условия, пояснительные записки, паспорта и многое другое [1]. ЕСТД (ГОСТ 3.1102-2011) добавляет свыше 15 видов технологических документов - маршрутные карты, операционные карты, карты эскизов, карты технологического контроля [2]. ЕСПД (ГОСТ 19.101-77) охватывает ещё около 15 видов программных документов: техническое задание, спецификацию, описание программы, руководства пользователя, оператора и системного программиста, формуляр, программу и методику испытаний и другие [3].

Таким образом, при разработке даже относительно небольшого технического проекта может формироваться комплект из 20-40 регламентированных документов. Каждый из них отражает определённый аспект изделия, и все они взаимосвязаны: изменение одного документа неизбежно влечёт необходимость пересмотра других. Это прямо закреплено в ГОСТ Р 2.503-2023 (п. 4.2): «изменение документа, требующее изменений в других документах, должно сопровождаться одновременным внесением соответствующих изменений во все взаимосвязанные документы» [4]. Тем не менее на практике данное требование систематически нарушается - по причине отсутствия инструментов, которые автоматически отслеживали бы и инициировали зависимые изменения.

Существующие PLM/PDM-системы реализуют контроль версий на уровне отдельных документов, но не обеспечивают межстандартную прослеживаемость: они не знают, что изменение поля «Материал» в чертеже детали (ЕСКД) автоматически должно вызвать пересмотр нормы расхода в маршрутной карте (ЕСТД) и проверку раздела технических характеристик в паспорте (ЕСПД) [5-7]. Именно это «белое пятно» является предметом настоящего исследования.

Цель работы - предложить формализацию понятия дельты как атомарного изменения в конкретном поле конкретного вида документа по ГОСТ, построить матрицу каскадных зависимостей дельт между документами ЕСКД, ЕСТД и ЕСПД, и описать архитектуру системы управления каскадными дельтами (СУКД), охватывающей максимально возможное число документов, регламентированных стандартами.

1. Виды документов по ЕСКД, ЕСТД и ЕСПД: нормативная база системы

Перед формализацией системы управления дельтами необходимо составить систематизированный каталог документов, которые эта система должна охватывать. Принципиально важно, что дельта в предлагаемой системе — это изменение не абстрактного «документа», а конкретного вида документа, определённого стандартом, с конкретными полями и реквизитами.

1.1. Документы ЕСКД (ГОСТ 2.102-2013)

ЕСКД определяет конструкторскую документацию, которая полностью и однозначно определяет изделие и его состав [1]. Основным конструкторским документом для детали - чертёж детали; для сборочных единиц, комплексов и комплектов - спецификация. Полный комплект КД включает следующие основные виды (с кодами по ГОСТ 2.102-2013):



Таблица 1 – Виды конструкторских документов по ГОСТ 2.102-2013 (основные)

Вид документа	Код	Содержание документа	Стадия ЖЦ
Чертёж детали	-	Изображение детали, размеры, материал, допуски, шероховатость	Проект./Изгот.
Сборочный чертёж	СБ	Изображение сборки, позиции, размеры для сборки	Проект./Изгот.
Чертёж общего вида	ВО	Изображение изделия, принцип работы	Тех. проект
Чертёж габаритный	ГЧ	Контурное изображение, присоединит. и габарит. размеры	Все стадии
Чертёж монтажный	МЧ	Данные для монтажа на месте эксплуатации	Эксплуатация
Схема	Е, Г, Ж...	Элементы, связи, поясняющие принцип действия	Проектирование
Спецификация	-	Состав сборочной единицы, комплекса, комплекта	Проект./Изгот.
Ведомость спецификаций	ВС	Перечень всех спецификаций изделия	Проектирование
Ведомость ссылочных документов	ВД	Перечень документов, на которые есть ссылки	Проектирование
Ведомость покупных изделий	ВП	Покупные изделия, применённые в изделии	Проектирование
Технические условия	ТУ	Требования к изделию, контролю, приёмке	Проект./Изгот.
Пояснительная записка	ПЗ	Описание устройства, обоснование конструкции	Проектирование
Расчёт	РР	Расчёты, подтверждающие конструктивные решения	Проектирование
Инструкция	И	Указания по сборке, регулировке, обслуживанию	Изгот./Эксп.
Паспорт	ПС	Гарантии, техн. характеристики, свидетельство о приёмке	Изгот./Эксп.
Этикетка	ЭТ	Сведения для потребителя	Изготовление
Руководство по эксплуатации	РЭ	Сведения для эксплуатации	Эксплуатация
Формуляр	ФО	Технические данные, сведения об эксплуатации	Эксплуатация
Каталог деталей и сборочных единиц	КД	Перечень деталей и СЕ	Эксплуатация
Ведомость ЗИП	ЗИ	Запасные части, инструменты, принадлежности	Эксплуатация

Помимо основных видов, ЕСКД включает документы проектных стадий: техническое предложение (ГОСТ 2.118-73), эскизный проект (ГОСТ 2.119-73), технический проект (ГОСТ 2.120-73). Внесение изменений в любой КД регулируется ГОСТ Р 2.503-2023 через механизм Извещения об изменении (ИзмИ) [4]. Оформление основных надписей конструкторских



документов определяется ГОСТ 2.104-2006 [8].

Ключевыми источниками каскадных дельт в ЕСКД выступают спецификация (триггер изменений состава изделия) и чертёж детали (триггер изменений полей «Материал», «Допуск», «Шероховатость» с прямым воздействием на ЕСТД). Эксплуатационные документы (РЭ, ПС, ФО, ведомость ЗИП), регламентированные ГОСТ 2.601-2013 [9], выступают преимущественно получателями зависимых дельт от ЕСКД и ЕСТД.

1.2. Документы ЕСТД (ГОСТ 3.1102-2011)

ЕСТД регулирует технологическую документацию, определяющую технологические процессы и операции изготовления или ремонта изделий [2]. Комплектность и требования к оформлению конкретных документов устанавливаются специализированными стандартами ГОСТ 3.11XX-XX. Основные виды технологических документов:

Таблица 2 – Виды технологических документов по ЕСТД (ГОСТ 3.1102-2011)

Вид документа	Код	Назначение и содержание	Регл. ГОСТ
Маршрутная карта	МК	Маршрутное/маршрутно-операц. описание тех. процесса: оборудование, переходы, трудозатраты	ГОСТ 3.1118-82
Операционная карта	ОК	Операционное описание: переходы, режимы, оснастка	ГОСТ 3.1404-86
Карта эскизов	КЭ	Эскизы, схемы, таблицы к тех. операциям	ГОСТ 3.1105-84
Карта тех. процесса	КТП	Полное операционное описание одного процесса	ГОСТ 3.1404-86
Карта типового тех. процесса	КТТП	Для типовых/групповых тех. процессов	ГОСТ 3.1121-84
Комплектовочная карта	КК	Данные о деталях, сборочных единицах и материалах на операцию	ГОСТ 3.1122-84
Ведомость тех. процесса	ВТП	Состав технологических операций	ГОСТ 3.1119-83
Ведомость деталей к тип. процессу	ВДП	Перечень деталей, изготавливаемых по типовому ТП	ГОСТ 3.1121-84
Карта технологической информации	КТИ	Режимы и технол. информация при маршрутном описании	ГОСТ 3.1119-83
Карта контроля (КТК)	КТК	Операции тех. контроля, методы, средства	ГОСТ 3.1502-85
Технологическая инструкция	ТИ	Методы и правила выполнения тех. операций	ГОСТ 3.1130-93
Карта наладки	КН	Данные для наладки технологического оборудования	-
Технико-нормировочная карта	ТНК	Нормы времени и расценки на операции	-

ЕСТД занимает промежуточное положение: является получателем дельт от ЕСКД и одновременно источником дельт для ЕСПД, выступая ключевым связующим звеном в каскаде. Маршрутная карта (МК, ГОСТ 3.1118-82 [10]) и операционная карта (ОК, ГОСТ 3.1404-86) являются наиболее зависимыми от ЕСКД технологическими документами; карта технического контроля (КТК, ГОСТ 3.1502-85 [11]) зависит от ТУ. Карты эскизов оформляются по ГОСТ 3.1105-84 [12].



1.3. Документы ЕСПД (ГОСТ 19.101-77)

ЕСПД регулирует документацию, сопровождающую программные продукты и программную часть изделий. Стандарт разделяет программные документы на документы разработки и эксплуатационные документы [3]:

Таблица 3 – Виды программных документов по ГОСТ 19.101-77

Вид документа	Код	Содержание	Стадия	Обязательность
Техническое задание	-	Требования к программе, сроки, стадии разработки	ТЗ	Обязательный
Спецификация	-	Состав программы и документов	РП	Обязательный
Ведомость держателей подлинников	-	Перечень держателей подлинников	РП	По необходимости
Текст программы	-	Запись программы с необходимыми комментариями	РП	По необходимости
Описание программы	-	Сведения о логической структуре и функционировании	РП	Обязательный
Программа и методика испытаний	-	Требования к испытаниям, состав, порядок	РП	Обязательный
Пояснительная записка	-	Схема алгоритма, обоснование решений	ЭП/ТП	По необходимости
Формуляр	ФО	Технические данные, состояние программы	РП	Обязательный
Описание применения	-	Назначение, область применения, ограничения	РП	Обязательный
Руководство системного программиста	-	Сведения для функционирования и настройки	РП	По необходимости
Руководство программиста	-	Сведения для сопровождения программы	РП	По необходимости
Руководство оператора	-	Сведения для общения оператора с ЭВМ	РП	Обязательный
Описание языка	-	Описание применяемого языка программирования	РП	По необходимости
Руководство по тех. обслуживанию	-	Для тестовых и диагностических программ	РП	По необходимости
Ведомость эксплуатационных документов	-	Перечень эксплуатационных документов	РП	Обязательный

ЕСПД охватывает программную документацию как разработки, так и эксплуатации изделий с программной составляющей; для технических проектов (ТКО, СВТ) ЕСПД-документы - неотъемлемая часть комплекта наряду с ЕСКД и ЕСТД. Техническое задание (ГОСТ 19.201-78 [13]) – исходный документ с наиболее широким каскадом; программа и методика испытаний (ГОСТ 19.301-79) - финальный документ цикла с наибольшим числом входящих зависимостей. Содержание руководства оператора регламентируется ГОСТ 19.505-79 [14], описания программы – ГОСТ 19.402-78 [15].



1.4. Сводный каталог объектов управления СУКД

СУКД охватывает все перечисленные документы - около 60 видов из трёх стандартных систем. Дельта определяется на уровне поля документа («изменение конкретного поля конкретного вида документа»), а не документа целиком – это принципиальное условие корректного построения матрицы зависимостей.

Обзорная карта документов СУКД с группировкой по стандартам и стадиям ЖЦ приведена на рис. 1.

Карта документов ЕСКД / ЕСТД / ЕСПД, охватываемых СУКД

с группировкой по стадиям жизненного цикла изделия

	Проектиро- вание	Технологич. подготовка	Изготовле- ние	Эксплуата- ция	Ремонт / модерниз.
ЕСКД	ЧД — Чертёж детали СБ — Сборочный чертёж ВО — Общий вид Схема (Э, Г...) Спецификация ПЗ — Пояснит. записка РР — Расчёт	ТУ — Тех. условия ВС — Ведом. специф. ВП — Ведом. покупных	ЭТ — Этикетка И — Инструкция	РЭ — Руководство ПС — Паспорт ФО — Формуляр ЗИ — Ведом. ЗИП КД — Каталог	МЧ — Монтажный чертёж ГЧ — Габаритный
ЕСТД	КТП — Карта процесса	МК — Маршрутная карта ОК — Операц. карта КЭ — Карта эскизов КТПП — Типовой ТП КК — Комплект. карта ВТП — Ведом. ТП ТНК — Тех.-норм. карта	КТК — Карта контроля КН — Карта наладки КТИ — Технол. информ.	ТИ — Технол. инструкция	ВДП — Ведом. деталей
ЕСПД	ТЗ — Технич. задание	Специф. ПО ОП — Описание прог. ВДП — Вед. подлин. Описание применения	ТП — Текст программы ПМИ — Прогр./метод. исп.	РО — Руков. оператора РП — Руков. программ. РСР — Руков. сист. прог. ФО — Формуляр ПО ВЭД — Вед. экпл. док.	Описание применения (обн.)
ПЗ — Пояснит. записка Описание языка ПМИ — Прогр./метод. исп. Руков. по ТО					
Всего охвачено ≈50 видов документов из трёх стандартных систем; каждый документ — с фиксированным набором полей по ГОСТ.					
ЕСКД — ГОСТ 2.102-2013 и др.; ЕСТД — ГОСТ 3.1102-2011 и др.; ЕСПД — ГОСТ 19.101-77 и др. Правила внесения изменений — ГОСТ Р 2.503-2023, п. 4.2.					

Рис. 1. Карта документов ЕСКД/ЕСТД/ЕСПД, охватываемых СУКД

2. Формализация понятия дельты на уровне полей документа

Ключевое отличие от традиционных PDM/PLM: там версионизируется весь документ целиком; в СУКД версионизируется конкретное поле – например, изменение поля Материал позиции 3 в чертеже детали; каждый Стумт – на Ст45 является отдельной дельтой со своим каскадом зависимостей.

2.1. Поля документов как атомарные единицы дельты

Каждый вид документа имеет фиксированный набор полей: чертёж детали – обозначение, материал, масса, шероховатости, размеры, допуски; маршрутная карта – операции, оборудование, нормы времени и расхода; техническое задание - назначение, требования, стадии разработки; паспорт – технические характеристики, комплект поставки, гарантии.

2.2. Формальное определение дельты

Дельту δ определим как пятёрку:

$$\delta = \{DocType, DocID, Field, V_before, V_after\} \quad (1)$$

где DocType - вид документа по стандарту (например, «Чертёж детали ЕСКД» или «Маршрутная карта ЕСТД»); DocID - идентификатор конкретного экземпляра документа;



Field - идентификатор изменённого поля (например, «Материал», «Операция 030», «Раздел 2.3»); V_before - значение поля до изменения; V_after - значение поля после изменения. Формула (1) задаёт каноническую форму атомарной дельты в СУКД.

Дополнительно каждая дельта снабжается метаданными коммита: автор, дата/время, тип изменения Ω (классификация см. раздел 3), ссылка на Извещение об изменении (ИЗМИ) по ГОСТ Р 2.503-2023, и - ключевой элемент - множество зависимых дельт $E(\delta)$, которые должны быть инициированы данной дельтой.

Если $E(\delta) = \emptyset$, изменение является локальным и не порождает каскада. Если $E(\delta) \neq \emptyset$, система создаёт задачи на проверку и при необходимости внесение зависимых дельт для каждого элемента множества E .

2.3. Классификация дельт по типу Ω

На основе анализа нормативных требований ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД и практики изменения технической документации предложено семь типов дельт:

Таблица 4 – Классификация типов дельт

Тип	Наименование	Поля, затрагиваемые типично	Пример	$E \neq \emptyset$
Ω_1	Редакционная	Текст, наименования, ссылки на ГОСТ	Исправление опечатки в ПЗ	Нет
Ω_2	Параметр компонента	Размер, допуск, материал, масса, покрытие	Изм. материала детали	Да
Ω_3	Состав изделия	Спецификация: добавл./удал./замена позиции	Замена компонента	Да (широкий)
Ω_4	Комплексный показатель	Масса изделия, мощность, ресурс, надёжность	Изм. потребл. мощности	Да
Ω_5	Технолог. процесс	Операции МК, ОК, режимы, нормы времени	Изм. режима обработки	Да (ЕСТД→ЕСПД)
Ω_6	Норматив. основание	Ссылочные стандарты в любом документе	Обновление ГОСТ	Потенц.
Ω_7	Инновационное	Принципиально новое решение в любом разделе	Новый алгоритм, конструкция	Да (весь комплект)

3. Матрица каскадных зависимостей дельт

Центральным артефактом СУКД является матрица каскадных зависимостей M . Для пары ($DocType_i$, $Field_f$) и типа изменения Ω матрица возвращает множество зависимых дельт:

$$M[DocType_i][Field_f][\Omega] \rightarrow \{(DocType_j, Field_k, dep_type)\} \quad (2)$$

где dep_type принимает одно из трёх значений: «1» (обязательная зависимость), «R» (рекомендуемая зависимость, требует верификации) или «0» (зависимость отсутствует). Формула (2) обеспечивает атомарность изменений на уровне полей документа.

Нормативным основанием для заполнения матрицы служат: п. 4.2 ГОСТ Р 2.503-2023 [4]; структура ссылок между документами, установленная ГОСТ 2.102-2013, ГОСТ 3.1102-2011, ГОСТ 19.101-77; логика сквозного проектирования в соответствии с ГОСТ Р 57193-2016 [16].

3.1. Зависимости ЕСКД → ЕСТД

Технологическая документация разрабатывается на основании конструкторской и должна полностью ей соответствовать. Ниже приведены наиболее значимые направления зависимостей:



Таблица 5 – Матрица зависимостей ЕСКД → ЕСТД

Изменение в документе ЕСКД	Затрагивает документ ЕСТД	Тип зависимости	При типах Ω
Чертеж детали: поле Материал	МК: строка М (материал/заготовка)	1 (обязательная)	Ω_2, Ω_3
Чертеж детали: размер/допуск	ОК: режим обработки, оснастка	1 (обязательная)	Ω_2
Чертеж детали: шероховатость	ОК: метод обработки последней операции	R (рекомендуемая)	Ω_2
Чертеж детали: масса	МК: норма расхода	R (рекомендуемая)	Ω_2, Ω_4
Сборочный чертеж: состав (поз.)	МК сборки: операции установки	1 (обязательная)	Ω_3
Спецификация: добавление позиции	КК (комплектующая карта)	1 (обязательная)	Ω_3
Спецификация: замена позиции	МК: маршрут, ОК: переходы на операциях с заменённым компонентом	1 (обязательная)	Ω_3
ТУ: изменение требований к контролю	КТК (карта тех. контроля)	1 (обязательная)	Ω_2, Ω_4
ТЗ (техническое задание ЕСКД)	ВТП (ведомость тех. процесса)	R (рекомендуемая)	Ω_4, Ω_7
Монтажный чертеж	ТИ (тех. инструкция по монтажу)	R (рекомендуемая)	Ω_2, Ω_3

3.2. Зависимости ЕСКД → ЕСПД

Таблица 6 – Матрица зависимостей ЕСКД → ЕСПД

Изменение в документе ЕСКД	Затрагивает документ ЕСПД	Тип зависимости	При типах Ω
Чертеж: изменение технических хар-к	Паспорт (ПС): раздел технических хар-к	1 (обязательная)	Ω_2, Ω_4
Сборочный чертеж: изм. состава	Паспорт (ПС): раздел «Состав»	1 (обязательная)	Ω_3
Монтажный чертеж	Руководство по эксплуатации (РЭ): раздел монтажа	R (рекомендуемая)	Ω_2, Ω_3
Схема электрическая принципиальная	РЭ: схемы в тексте РЭ	R (рекомендуемая)	Ω_2, Ω_3
Чертеж: изм. присоед. размеров	Формуляр: монтажные зазоры	R (рекомендуемая)	Ω_2
ТУ: изм. условий эксплуатации	РЭ: раздел условий эксплуатации	1 (обязательная)	Ω_2, Ω_4
ТУ: изм. гарантийных сроков	Паспорт (ПС): гарантии изготовителя	1 (обязательная)	Ω_4
Спецификация: ЗИП (ведомость ЗИП)	РЭ: раздел ЗИП	1 (обязательная)	Ω_3



3.3. Зависимости ЕСТД → ЕСПД

Таблица 7 – Матрица зависимостей ЕСТД → ЕСПД

Изменение в документе ЕСТД	Затрагивает документ ЕСПД	Тип зависимости	При типах Ω
МК: изм. технол. процесса сборки	Программа и методика испытаний (ПМИ)	R (рекомендуемая)	Ω_5, Ω_3
КТК: изм. методов контроля	ПМИ: методы испытаний	R (рекомендуемая)	Ω_5
МК: изм. нормы расхода материала	Паспорт: раздел комплект поставки	R (рекомендуемая)	Ω_3
ТИ: изм. инструкции по монтажу	РЭ: раздел монтажа	1 (обязательная)	Ω_5, Ω_3
КТП: изм. технол. процесса ремонта	РЭ: раздел ремонта	R (рекомендуемая)	Ω_5

3.4. Внутрискандартные зависимости

Существуют также обязательные внутрискандартные зависимости: дельта в спецификации (ЕСКД) → ВС, ВП; дельта в ТЗ (ЕСПД) → ПМИ и описание программы.

На рис. 2 представлен граф зависимостей, сведённый из таблиц 5-7; направленные рёбра - направление зависимости, аннотации - тип и затрагиваемые типы Ω .

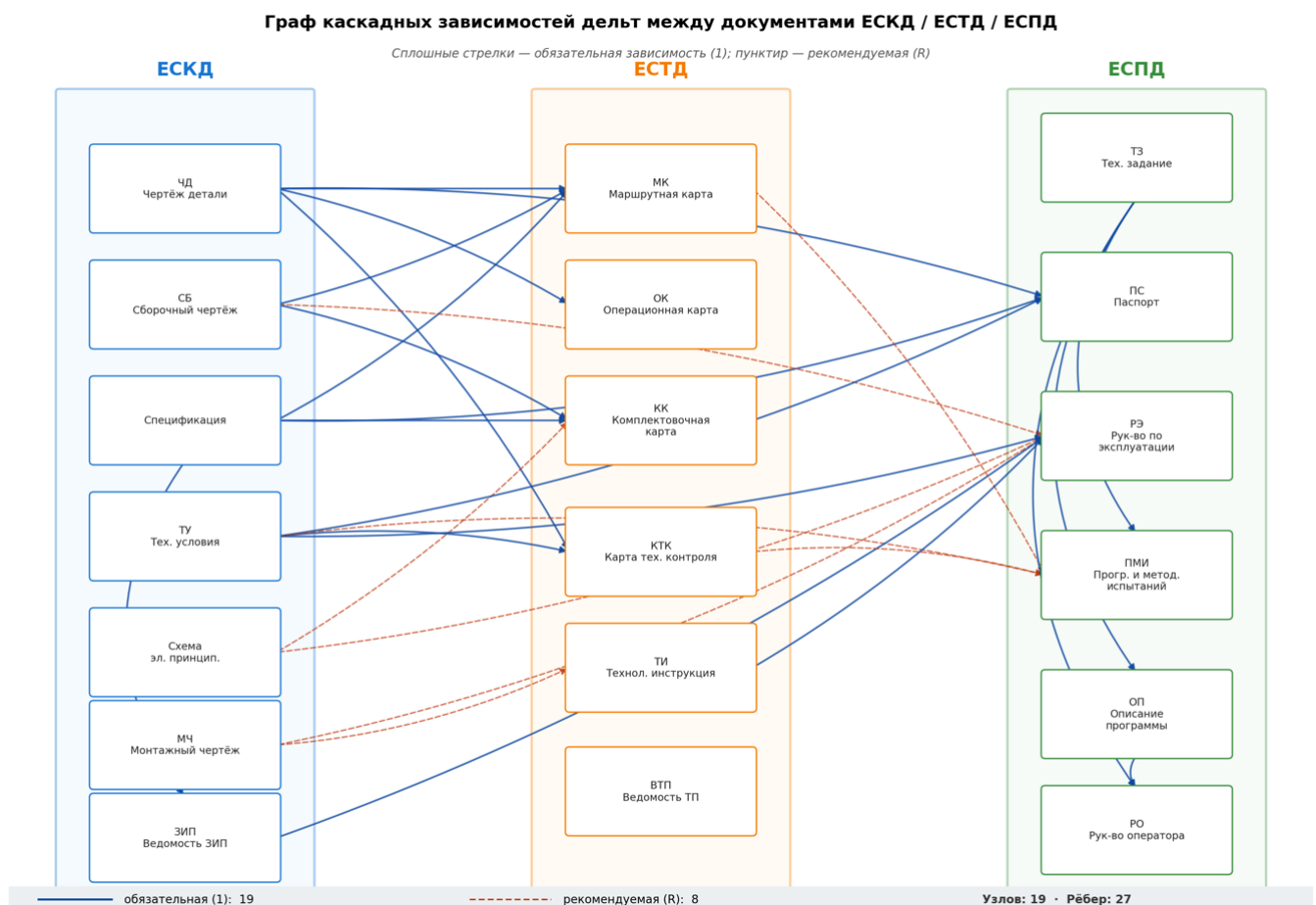


Рис. 2. Граф каскадных зависимостей дельт между документами ЕСКД/ЕСТД/ЕСПД



4. Развёрнутый пример каскада дельт

Сценарий: замена силового транзистора Q7 с модели «А» (ТО-220, 80 Вт) на «Б» (D2PAK, 100 Вт) при разработке ТКО - изменение типа Ω_3 инициирует каскад:

Таблица 8 – Каскад дельт при замене транзистора Q7 (тип Ω_3)

Дельта	Документ (стандарт)	Изменяемое поле	Тип зависимости	Основание
Δ_0	Чертёж платы питания (ЕСКД)	Посадочное место Q7, монтажное отверстие, позиция на поле чертежа	- (исходная дельта)	Решение о замене
Δ_1	Спецификация платы питания (ЕСКД)	Поз. Q7: наименование, обозначение, кол-во	1 (обязательная)	Изм. состава
Δ_2	Ведомость покупных изделий (ЕСКД)	Строка Q7: тип корпуса, мощность	1 (обязательная)	Изм. ВП при изм. спецификации
Δ_3	Маршрутная карта монтажа (ЕСТД)	Операция пайки Q7: режим пайки (корпус D2PAK)	1 (обязательная)	Зависимость ЕСКД→ЕСТД (МК)
Δ_4	Операционная карта пайки (ЕСТД)	Переход: температура, время, тип флюса для D2PAK	1 (обязательная)	Зависимость ЕСКД→ЕСТД (ОК)
Δ_5	Карта технического контроля (ЕСТД)	Операция контроля: визуальный контроль Q7 по новому типоразмеру	R (рекомендуемая)	ЕСКД→ЕСТД (КТК)
Δ_6	Паспорт изделия (ЕСКД/ЕСПД)	Раздел «Технические характеристики»: макс. мощность (80→100 Вт)	1 (обязательная)	Ω_4 - изм. комплексного показателя
Δ_7	Программа и методика испытаний (ЕСПД)	Пункт тепловых испытаний: макс. нагрузка узла питания	R (рекомендуемая)	ЕСТД→ЕСПД (ПМИ)
Δ_8	Руководство по эксплуатации (ЕСКД/ЕСПД)	Приложение: схема платы питания (миниатюра)	R (рекомендуемая)	Изм. ЕСКД→ЕСПД (РЭ)

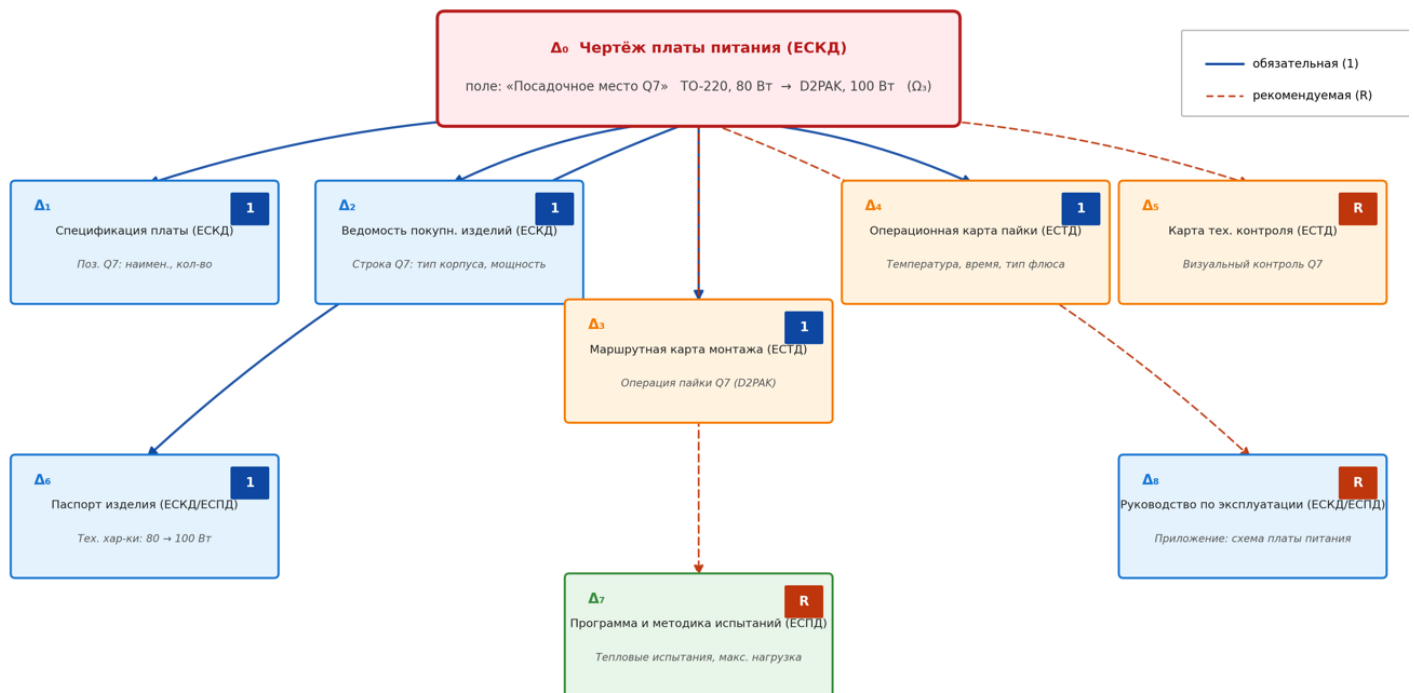
Итого: одно решение о замене компонента порождает 8 зависимых дельт в 8 документах трёх различных стандартов. Без автоматизированной системы управления дельтами вероятность пропуска изменений при ручном ведении документации остаётся высокой [17].

На рис. 3 показана схема каскада: дельта Δ_0 порождает $\Delta_1... \Delta_8$ с типами «1» (обязательная) и «R» (рекомендуемая).



Каскад из 8 зависимых дельт при замене транзистора Q7 (тип Ω_3 — изменение состава)

Δ_0 — исходная дельта (чертёж платы питания); Δ_1 – Δ_8 — автоматически инициированные зависимые дельты



Итого: одна исходная дельта Δ_0 → 8 зависимых дельт в 8 документах трёх стандартов (ЕСКД, ЕСТД, ЕСПД)

Типы зависимостей: 5 обязательных (1) — несоблюдение нарушает ГОСТ Р 2.503–2023, п. 4.2; 3 рекомендуемых (R) — требуется верификация ответственным.

Рис. 3. Пример каскада дельт при замене компонента Ω_3

5. Архитектура системы управления каскадными дельтами

Архитектура СУКД строится как надстройка над существующими системами хранения документов (PLM/PDM, EDM) и реализует пять ключевых компонентов.

5.1. Реестр видов документов и полей (Document Schema Registry)

Хранит формальное описание каждого вида документа из каталога раздела 1: список полей, типы данных, обязательность, нормативный источник. Это машиночитаемый «словарь» стандартов, являющийся основой для идентификации дельт на уровне полей. Описание полей хранится в формате JSON Schema, что обеспечивает совместимость с современными инструментами валидации и интеграции.

5.2. Репозиторий дельт (Delta Repository)

Распределённое хранилище, реализующее Git-подобную модель объектной базы данных. Каждая зафиксированная дельта δ хранится как неизменяемый объект с уникальным хэш-идентификатором. Связанные дельты образуют ориентированный ациклический граф (DAG), аналогичный истории коммитов в Git. Это позволяет восстановить точное состояние любого документа на любой момент времени, а также построить полную историю причинно-следственных связей изменений.

5.3. Движок зависимостей (Dependency Engine)

Реализует логику матрицы M из раздела 3 в виде конфигурируемой базы правил. При поступлении новой дельты δ движок выполняет запрос к матрице: «для DocType_i, Field_f, тип Ω - какие DocType_j и Field_k зависят от данного изменения?». По результатам формируются задачи двух типов: «обязательный пересмотр» (E_1) - зависимая дельта должна быть зафиксирована до закрытия исходной; «рекомендуемая проверка» (E_R) - зависимый документ должен быть верифицирован ответственным лицом.



5.4. Шина событий (Event Bus)

Реализована на основе паттерна publish/subscribe. При фиксации любой дельты в репозитории публикуется событие, которое потребляют: движок зависимостей (для расчёта E), модуль уведомлений (для оповещения ответственных исполнителей), модуль интеграции с внешними системами (PLM, ECM, ERP), модуль журналирования для формирования Листа регистрации изменений по ГОСТ Р 2.503-2023. Событийная архитектура обеспечивает расширяемость системы: новые потребители событий подключаются без модификации ядра.

5.5. Модуль интеллектуального анализа дельт (IA Module)

Отвечает за автоматическую классификацию типа Ω входящей дельты. Для большинства текстовых полей применяется лингвистический анализ: словари ключевых слов, характерных для каждого типа Ω в разрезе каждого вида документа. Для структурированных форматов - специализированные препроцессоры (подробнее в разделе 6). Уверенность классификатора выражается числом в диапазоне $[0, 1]$; при значении ниже порогового система запрашивает уточнение у автора дельты.

На рис. 4 приведена архитектурная схема СУКД с указанием потоков данных между компонентами.

Архитектурная схема СУКД — пять компонентов и потоки данных

надстройка над существующими PDM/PLM/ERP; реализует п. 4.2 ГОСТ Р 2.503-2023

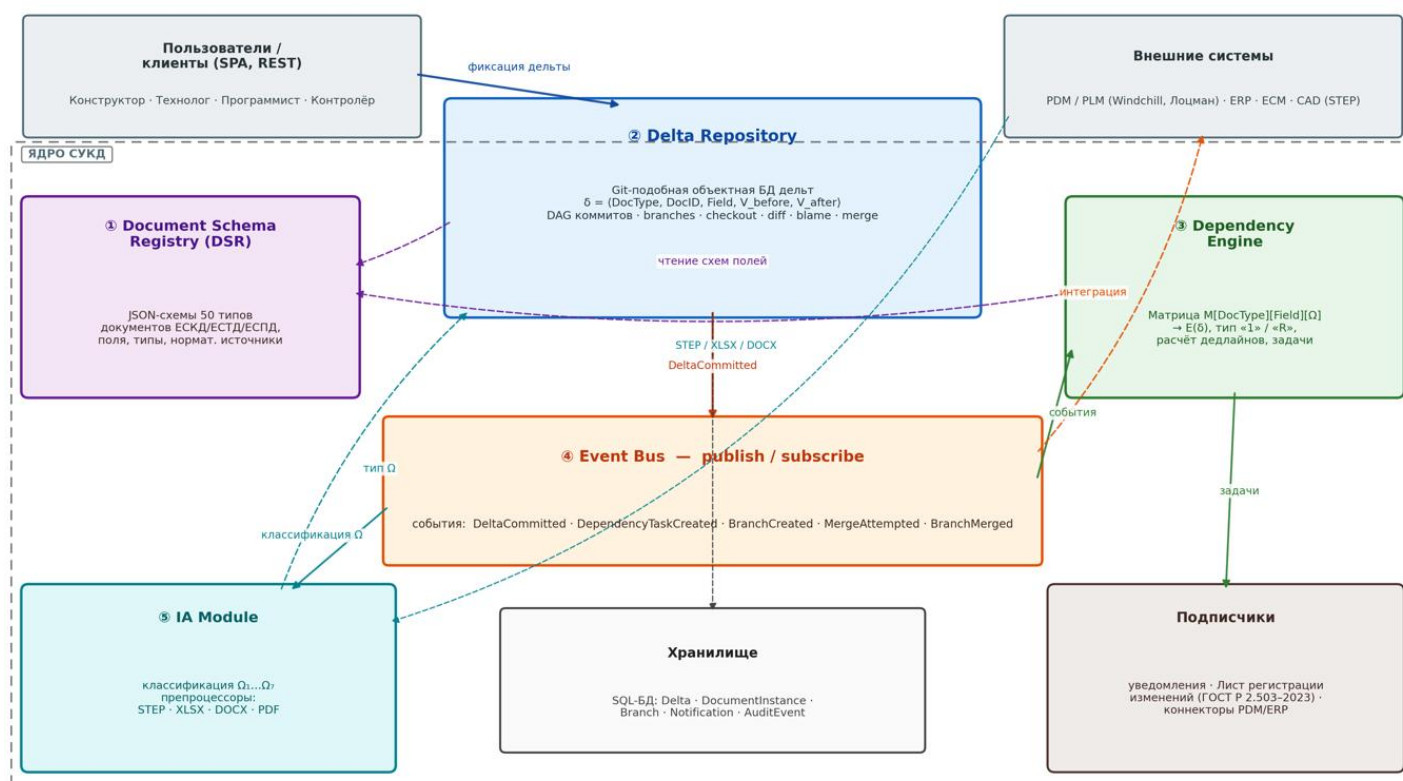


Рис. 4. Архитектурная схема системы управления каскадными дельтами

6. Интеллектуальный анализ дельт в структурированных форматах

6.1. Дельты в формате STEP (ISO 10303-21)

STEP - нейтральный формат обмена данными об изделии в рамках ISO 10303 [18], текстовое представление экземпляров на языке EXPRESS (ISO 10303-11) [19]. Прямое побайтовое сравнение выявляет факт изменения, но не его инженерный смысл - переупорядочивание объектов и изменение идентификаторов без изменения топологии создают «шумовой» diff.



Предлагается трёхэтапный препроцессинг STEP-дельт: (1) нормализация - сортировка объектов по типу и идентификатору, удаление служебных строк; (2) структурный diff - сравнение на уровне экземпляров EXPRESS с заменой неизменённых атрибутов маркером «=»; (3) семантическое обогащение - аннотирование изменённых объектов типом геометрической сущности из онтологии STEP. Алгоритм сокращает объём данных для анализа на 60-80 % по сравнению с сырым diff.

6.2. Дельты в формате XLSX (спецификации, маршрутные карты)

Многие документы ЕСКД и ЕСТД ведутся в табличном формате (спецификации, ведомости, маршрутные карты). Для таких документов, сохранённых в XLSX, дельта извлекается на уровне именованных ячеек с маппингом к полям документа по ГОСТ. Например, изменение ячейки в колонке «Материал» строки позиции 3 спецификации автоматически идентифицируется как дельта поля «Материал» позиции 3, тип Ω_2 - и движок зависимостей немедленно формирует задачи на пересмотр МК и паспорта.

6.3. Дельты в текстовых документах (DOCX, ODT, PDF)

Для текстовых документов (пояснительные записки, ТЗ, РЭ, паспорта) дельта извлекается алгоритмом структурного diff на уровне абзацев с привязкой к разделам документа. Система знает структуру каждого вида документа (из Document Schema Registry) и может соотнести изменённый абзац с конкретным полем: например, изменение в разделе 3.2 «Технические характеристики» паспорта классифицируется как дельта поля «Техн. хар-ки», и движок проверяет, не требует ли это обновления ТУ или РЭ.

6.4. Ограничения применения универсальных LLM и переход к специализированным классификаторам

Применение универсальных языковых моделей (LLM) для оценки инженерной существенности дельт сопряжено с принципиальными ограничениями:

- Недетерминированность: ответ модели варьируется от сеанса к сеансу при одинаковом входе. В производственной системе два идентичных изменения должны получать идентичную классификацию [20].
- Нет верифицируемой точности: при отсутствии размеченного тестового набора невозможно измерить precision/recall классификатора; «оценка» LLM основана на общих паттернах, не специфичных для инженерной документации [21].
- Высокое потребление ресурсов: полное STEP-представление сложного узла может занимать значительную долю контекстного окна, что при промышленном объёме (сотни дельт в сутки) создаёт неприемлемые операционные затраты [22].

Обоснованный путь развития IA Module: на этапе прототипирования – универсальная LLM для разметки экспертами; по мере накопления корпуса - обучение специализированного лёгкого классификатора (BERT-like, градиентный бустинг) на парах (дельта, тип Ω , существенность), что обеспечивает детерминированный, верифицируемый и ресурсно-эффективный результат.

7. Применение СУКД в управлении ЖЦ телекоммуникационного оборудования

СУКД была апробирована в управлении ЖЦ телекоммуникационного оборудования (ТКО) и СВТ в университетской среде – контексте с разнородным парком устройств, децентрализованным документооборотом и обязательным соответствием государственным стандартам [23, 24]. ЖЦ ТКО включает семь стадий (проектирование, производство, внедрение, эксплуатация, ТО, модернизация, утилизация [25]); переходы между стадиями – зоны наибольшей вероятности рассинхронизации документации.

Практическое применение СУКД позволяет автоматически маршрутизировать изменения при типовых сценариях: поступление оборудования, плановое ТО ($\Omega_5 \rightarrow$ проверка паспорта), модернизация ($\Omega_3 \rightarrow$ полный каскад), обновление нормативной базы ($\Omega_6 \rightarrow$ поиск зависимых документов). Сравнительный анализ СУКД с существующими подходами представлен в табл. 9.



Таблица 9 – Сравнительный анализ СУКД с существующими подходами

Критерий	Ручной докум.	1С: ITIL	ServiceNow	PTC Windchill	СУКД (предл.)
Охват документов (ЕСКД/ЕСТД/ЕСПД)	Полный (ручной)	Частичный	Частичный	ЕСКД/PDM	Полный (авт.)
Уровень гранулярности дельты	Документ	Документ	Документ	Документ	Поле документа
Межстандартные зависимости	-	-	-	-	+
Каскадное распространение изменений	Ручное	-	Частично	-	+
Нормативное основание (ГОСТ Р 2.503-2023)	Требование без авт.	Частично	-	-	+
Механизм ИИ (извещение об изменении)	Ручной	Частично	-	-	Автоматический
Соответствие рос. стандартам	+	+	Частично	Частично	+
Стоимость внедрения	Низкая	Низкая	Высокая	Очень высокая	Средняя

Заключение

В работе предложена и формализована концепция системы управления каскадными дельтами (СУКД) для технической документации, охватывающей полный спектр видов документов, регламентированных ЕСКД, ЕСТД и ЕСПД. Основные научные результаты:

1. Проведена систематизация около 60 видов документов из трёх стандартных систем с указанием их полей, стадий жизненного цикла и нормативных оснований. Это формирует полный реестр объектов управления для СУКД.
2. Введено понятие дельты как изменения конкретного поля конкретного вида документа (а не документа целиком), что обеспечивает точную идентификацию зависимостей. Предложена классификация семи типов дельт (Ω_1 - Ω_7).
3. Построена матрица каскадных зависимостей для более 30 пар типов документов (опирающаяся на п. 4.2 ГОСТ Р 2.503-2023) и приведён развёрнутый пример каскада из 8 зависимых дельт при замене компонента (тип Ω_3).
4. Описана пятикомпонентная архитектура СУКД (реестр схем, репозиторий дельт Git-like, движок зависимостей, шина событий, ИА-модуль) и обоснованы ограничения универсальных LLM для классификации структурированных дельт с предложенным переходом к специализированным обученным классификаторам.

Дальнейшие исследования направлены на: (1) разработку и разметку корпуса дельт технической документации для обучения специализированного ИА-классификатора; (2) реализацию полнофункционального прототипа СУКД и его апробацию на реальном



комплекте документации; (3) формализацию правил матрицы М для отраслевых применений (ТКО, медицинское оборудование, авиационная техника).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.
2. ГОСТ 3.1102-2011. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 12 с.
3. ГОСТ 19.101-77. Единая система программной документации. Виды программ и программных документов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 5 с.
4. ГОСТ Р 2.503-2023. Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений. – М.: Стандартинформ, 2024. – 32 с.
5. Stark J. Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation. 4th ed. / J. Stark. – Cham: Springer, 2020. – 734 p.
6. Saaksvuori A. Product Lifecycle Management. 3rd ed / A. Saaksvuori, A. Immonen. – Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. – 253 p.
7. Жаринов И. О. Оценка и анализ данных об изделии на этапах жизненного цикла в PLM-системах / И.О. Жаринов, О.О. Жаринов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 57-65.
8. ГОСТ 2.104-2006. Единая система конструкторской документации. Основные надписи. – М.: Стандартинформ, 2007. – 18 с.
9. ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. – М.: Стандартинформ, 2014. – 40 с.
10. ГОСТ 3.1118-82. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления маршрутных карт. – М.: Стандартинформ, 2012. – 22 с.
11. ГОСТ 3.1502-85. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов на технический контроль. – М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
12. ГОСТ 3.1105-84. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
13. ГОСТ 19.201-78. Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Стандартинформ, 2010. – 7 с.
14. ГОСТ 19.505-79. Единая система программной документации. Руководство оператора. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.
15. ГОСТ 19.402-78. Единая система программной документации. Описание программы. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Стандартинформ, 2010. – 4 с.
16. ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – М.: Стандартинформ, 2017. – 90 с.
17. Grieves M. Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking / M. Grieves. – New York: McGraw-Hill, 2006. – 319 p.
18. ISO 10303-1:2021. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles. – Geneva: ISO, 2021. – 78 p.
19. ISO 10303-21:2016. Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 21: Clear text encoding. – Geneva: ISO, 2016. – 80 p.
20. Bender E. M. On the Dangers of Stochastic Parrots: Can Language Models Be Too Big? / E. M. Bender, T. Gebru, A. McMillan-Major, S. Shmitchell // Proc. FAccT '21. – New York: ACM, 2021. – P. 610-623.



21. On the Opportunities and Risks of Foundation Models / R. Bommasani [et al.] // arXiv:2108.07258. – Stanford University, 2021. – 214 p.
22. Liu N. F. Lost in the Middle: How Language Models Use Long Contexts / N. F. Liu, K. Lin, J. Hewitt, A. Parikh, P. Liang // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2024. – Vol. 12. – P. 157-173.
23. Судов Е. В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е. В. Судов, А. И. Левин, А. Н. Давыдов. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. – 28 с.
24. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 16 с.
25. Норенков И. П. Информационная поддержка наукоёмких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Олимпиев Алексей Александрович

Канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: olimpiev@guap.ru

Осадченко Андрей Андреевич

Студент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: 200200add@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Olimpiev Alexey Alexandrovich

PhD. tech. Sciences, associate Professor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: olimpiev@guap.ru

Osadchenko Andrei Andreyevich

Student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: 200200add@gmail.com

Дата поступления: 18.05.2026

Дата принятия: 29.05.2026