

Для цитирования

Оболенская Е.А. *Методология разработки модели цифрового двойника на базе применения технологии онтологии в авиастроении / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 581–587.*

УДК 658.512

МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА НА БАЗЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОНТОЛОГИИ В АВИАСТРОЕНИИ

Оболенская Е.А., аспирант кафедры 1105 «Управление качеством и сертификация» Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

Рассмотрены ключевые аспекты управления качеством в авиастроении, определяемые высокими рисками и ответственностью. Описаны показатели качества продукции согласно стандартам ИСО серии 9000, пути повышения качества с помощью управления знаниями для реализации стандартов. Подчеркнута важность современных подходов к управлению проектами и продукцией в рамках цифровой трансформации. Приведено обоснование использования онтологий для повышения точности проектирования и оптимизации жизненного цикла изделия.

Ключевые слова: управление качеством, управление знаниями, авиастроение, технология онтологии, повышение качества.

METHODOLOGY FOR DEVELOPING A DIGITAL TWIN MODEL BASED ON THE APPLICATION OF ONTOLOGY TECHNOLOGY IN AIRCRAFT ENGINEERING

Obolenskaya E.A., Postgraduate student of Department 1105 "Quality Management and Certification" Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

The key aspects of quality management in the aircraft industry, determined by high risks and responsibilities, are considered. Product quality indicators according to ISO 9000 standards are described, as well as ways to improve quality through knowledge management for the implementation of standards. The importance of modern approaches to project and product management in the context of digital transformation is emphasized. The rationale for using ontologies to improve the accuracy of design and optimize the product lifecycle is given.

Keywords: quality management, knowledge management, aircraft engineering, technology of ontology, quality improvement.

Авиастроение является одной из наиболее сложных отраслей промышленности, характеризующейся высоким уровнем риска и ответственности. Качество продукции авиационной отрасли оказывает непосредственное влияние на безопасность полетов, эффективность эксплуатации воздушных судов и конкурентоспособность предприятий-производителей. Управление качеством в авиастроении представляет собой комплекс мероприятий, направленных на обеспечение соответствия производимой продукции установленным требованиям и стандартам [1].

Качество продукции авиастроения определяется рядом показателей, среди которых можно выделить [2]:

- Безопасность: продукция должна соответствовать международным нормам и правилам, обеспечивающим безопасность пассажиров и экипажа.

- Надежность: способность изделия сохранять работоспособность в течение заданного срока службы.

- Ремонтопригодность: удобство обслуживания и ремонта изделий в процессе эксплуатации.
- Экономичность: оптимизация затрат на производство и эксплуатацию продукции.
- Экологичность: минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

Система менеджмента качества (СМК) в авиастроении основывается на стандартах серии ИСО 9000, которые устанавливают требования к организации процессов проектирования, производства, контроля и сертификации продукции [3, 4].

Серия стандартов ИСО 9000 представляет собой международно признанную систему управления качеством, предназначенную для обеспечения стабильности и улучшения качества продукции и услуг. Основной целью данных стандартов является удовлетворение потребностей и ожиданий потребителя путем установления четких критериев и процессов управления деятельностью организации. Применительно к авиастроению рассмотрим следующие стандарты:

- ГОСТ Р ИСО 9000–2015: Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
- ГОСТ Р ИСО 9001–2015: Системы менеджмента качества. Требования.
- ГОСТ Р ИСО 9004–2019: Менеджмент качества. Качество организаций. Руководство по достижению устойчивого успеха организации.

Основными принципами системы управления качеством по стандартам ИСО серии 9000 являются:

- ориентация на потребителя;
- лидерство;
- взаимодействие работников;
- процессный подход;
- улучшение;
- принятие решений на основе свидетельств;
- менеджмент взаимоотношений.

Эти принципы обеспечивают надежную основу для организации процессов, гарантирующих стабильность и улучшение качества продукции.

Согласно требованиям стандарта, ГОСТ Р ИСО 9000–2015, ключевыми путями повышения качества продукции являются [3, 4]:

- Определение и измерение показателей качества. Организации обязаны устанавливать ясные количественные и качественные индикаторы, которые могут объективно оценивать степень удовлетворения нужд потребителей.
- Постоянное улучшение процессов. Необходимо регулярно отслеживать выполнение процессов, анализировать полученные данные и предпринимать корректирующие действия для устранения отклонений.
- Контроль сырья и материалов. Поставщики должны соответствовать установленным критериям качества, а поступающее сырье подлежит тщательной проверке.
- Мониторинг производственной среды. Все факторы, влияющие на конечный продукт, подлежат контролю и оценке, чтобы исключить негативное влияние окружающей среды на продукцию.
- Регулярное обучение персонала. Сотрудники должны иметь достаточный уровень подготовки и постоянно повышать квалификацию, чтобы гарантировать качественное исполнение своей роли в процессе производства.
- Документированная процедура внесения изменений. Любые изменения в процессах или продукции должны проходить процедуру одобрения и контролироваться соответствующими подразделениями.
- Анализ и устранение несоответствий. Несоответствия в качестве продукции немедленно выявляются и устраняются, а причины возникновения устанавливаются для предотвращения повторных нарушений.

– Оценка удовлетворенности потребителей. Получаемая обратная связь от потребителей учитывается при планировании мероприятий по улучшению качества продукции.

Практическое применение принципов менеджмента качества невозможно без качественной базы знаний. Под управлением знаниями понимается совокупность процессов, направленных на идентификацию, получение, хранение, передачу и использование знаний, накопленных организацией, а также обмен лучшими практиками. Основными целями управления знаниями являются улучшение производительности, повышение инновационного потенциала и обеспечение устойчивого роста организации.

На сегодняшний день российские стандарты в области качества определяют требования к качеству продукции и услуг, однако прямое регулирование процессов управления знаниями отсутствует. Тем не менее существует тесная связь между этими двумя областями, поскольку эффективное управление знаниями способствует достижению высоких показателей качества продукции и услуг, а также росту инновационного потенциала компании [5].

Российская практика показала, что успешное внедрение стандартов качества часто сопровождается улучшением управления знаниями. Причина кроется в следующем. Система управления качеством предусматривает регулярный аудит и оценку результатов деятельности. Эффективное управление знаниями позволяет накапливать опыт предыдущих аудитов, что ведет к своевременному выявлению слабых мест и устранению недостатков. Нормативные документы, регулирующие деятельность организации, формируют хранилище ценных знаний. Организация и систематизация таких документов создают предпосылки для оперативного поиска нужной информации сотрудниками [6].

Регулярные обновления и изменения в стандартах требуют постоянного обучения персонала. Процессы управления знаниями обеспечивают быстрое распространение актуальной информации и поддержание компетенции сотрудников на высоком уровне. Постоянное стремление к совершенствованию процессов и качества продукции подразумевает необходимость постоянного анализа опыта конкурентов и лучших практик рынка. Управление знаниями помогает интегрировать внешние знания в повседневную работу организации.

Российский подход к управлению знаниями включает несколько этапов:

1. Идентификация и классификация знаний: установление приоритетов и разделение знаний на явные и неявные.
2. Создание инфраструктуры: разработка информационной системы для хранения и распространения знаний.
3. Разработка процедур и инструкций: регламентация процессов управления знаниями.
4. Оценка эффективности: периодический анализ влияния управления знаниями на достижение стратегических целей организации.

Такая методика хорошо сочетается с системой качества, предусматривающей постоянный цикл PDCA (Plan-Do-Check-Act), где каждый этап поддерживается знаниями и компетентностью работников.

В российских компаниях, сертифицированных по стандартам ИСО, отмечается тенденция перехода от простых процессов документооборота к комплексной стратегии управления знаниями. Особенно важны такие меры для предприятий оборонно-промышленного комплекса, энергетического сектора и строительной отрасли, где высокие требования к качеству сочетаются с необходимостью поддержания уникального технологического наследия. В результате грамотного сочетания принципов управления знаниями и требований стандартов качества наблюдается рост удовлетворенности потребителей, сокращение числа дефектов и увеличение скорости выхода инновационных продуктов на рынок [7].

Современные международные нормы управления организациями, включая недавно принятые государственные стандарты Российской Федерации, настоятельно рекомендуют активизацию процессов управления знаниями. Однако существующие информационно-технические средства недостаточно поддерживают указанные процедуры, вследствие чего

управление знаниями становится сложной задачей, практически трудно осуществимой на предприятиях.

Предлагаемая методология предполагает реализацию механизма управления знаниями через создание специализированных баз знаний, организуемых в форме онтологий – концептуальных сетей понятий и отношений соответствующей предметной области. Сегодня база знаний предприятия способна создаваться на принципах технологий Семантического Веба (Semantic Web). Такие базы формируются с использованием специальных онтологических редакторов и языков программирования (например, OWL (Web Ontology Language), SHOЕ и другие), предназначенных для формализации знаний в соответствующих предметных областях [8].

Центральным компонентом баз знаний выступают онтологии, фиксирующие понятия и отношения, характерные для определенных аспектов деятельности предприятия, такие, как продукция, персонал, внутренние процессы и прочие важные категории. Подобные базы знаний помогают унифицировать знания, обеспечивать автоматические выводы и логически строгие заключения, облегчать принятие управленческих решений.

Технологии онтологий представляют собой инструментальное средство для структурированного представления и управления знаниями в определенной предметной области. Основная цель онтологии состоит в описании сущностей, их свойств и взаимоотношений таким образом, чтобы обеспечить понимание смысла и логики предметов и процессов.

Термин «онтология» имеет древнегреческое происхождение и означает учение о бытии. В информатике онтологией называют эксплицитную специфику какой-то части мира, включающей объекты, их свойства и взаимоотношения. По сути, это попытка описать мир с точки зрения компьютерной программы, позволяя ей интерпретировать знания так же, как человек воспринимает реальность.

Основные компоненты онтологии включают [9]:

- Классы (concepts);
- Свойства (properties);
- Отношения (relations);
- Ограничения (constraints);
- Правила (rules).

Эти элементы объединяются в формализованную структуру, которая служит основой для понимания, хранения и обработки информации.

Как было описано выше, авиастроение является одной из наиболее высокотехнологичных отраслей промышленности, характеризующейся сложной структурой процессов проектирования, производства и эксплуатации авиационной техники. Современные самолеты представляют собой сложные инженерные системы, состоящие из множества взаимосвязанных компонентов и подсистем. В связи с этим управление такими системами требует эффективного взаимодействия различных дисциплин и областей знания, включая аэродинамику, конструкцию материалов, электронику, автоматизацию управления полетом и безопасность полета.

Одной из ключевых проблем современного авиастроения является сложность интеграции разнородных данных и знаний, полученных из разных источников. Традиционные подходы к управлению информацией часто приводят к дублированию усилий, ошибкам в проектировании и повышенному риску отказов оборудования. Это особенно актуально в условиях постоянного роста требований к надежности и эффективности воздушных судов, а также ужесточения экологических норм и стандартов безопасности [10].

По этой причине предлагается использовать технологию онтологии, которая позволяет систематизировать и структурировать знания, обеспечивая единое представление всех аспектов разработки самолета. Онтология представляет собой формальное описание понятий и отношений внутри определенной предметной области, что помогает устранить семантический разрыв между различными дисциплинами и участниками процесса разработки.

Применение онтологического подхода обеспечивает прозрачность и согласованность проекта, позволяя выявлять противоречия и улучшать качество принимаемых решений.

Применение онтологической модели в авиастроении имеет ряд значимых преимуществ:

–Повышение качества проектирования: использование общей терминологии и структуры данных снижает вероятность ошибок и несоответствий на этапах проектирования и производства.

–Оптимизация жизненного цикла изделия: формализация и стандартизация процессов способствует сокращению сроков вывода новых моделей самолетов на рынок, снижению затрат на обслуживание и ремонт.

–Обеспечение совместимости систем: благодаря четкому определению интерфейсов и протоколов, обеспечивается совместимость различных подсистем воздушного судна.

–Интеграция инженерных данных: обеспечивая интеграцию разнородных источников данных, технология онтологии упрощает процесс принятия обоснованных технических решений.

Данная технология по предлагаемой методологии будет использоваться в качестве модуля для создания модели цифрового двойника на стадии проектирования летательного аппарата и управления жизненным циклом изделия.

Для этого представим схему предлагаемой методологии на базе технологии «онтологии» для стадии проектирования летательного аппарата (см. рисунок).

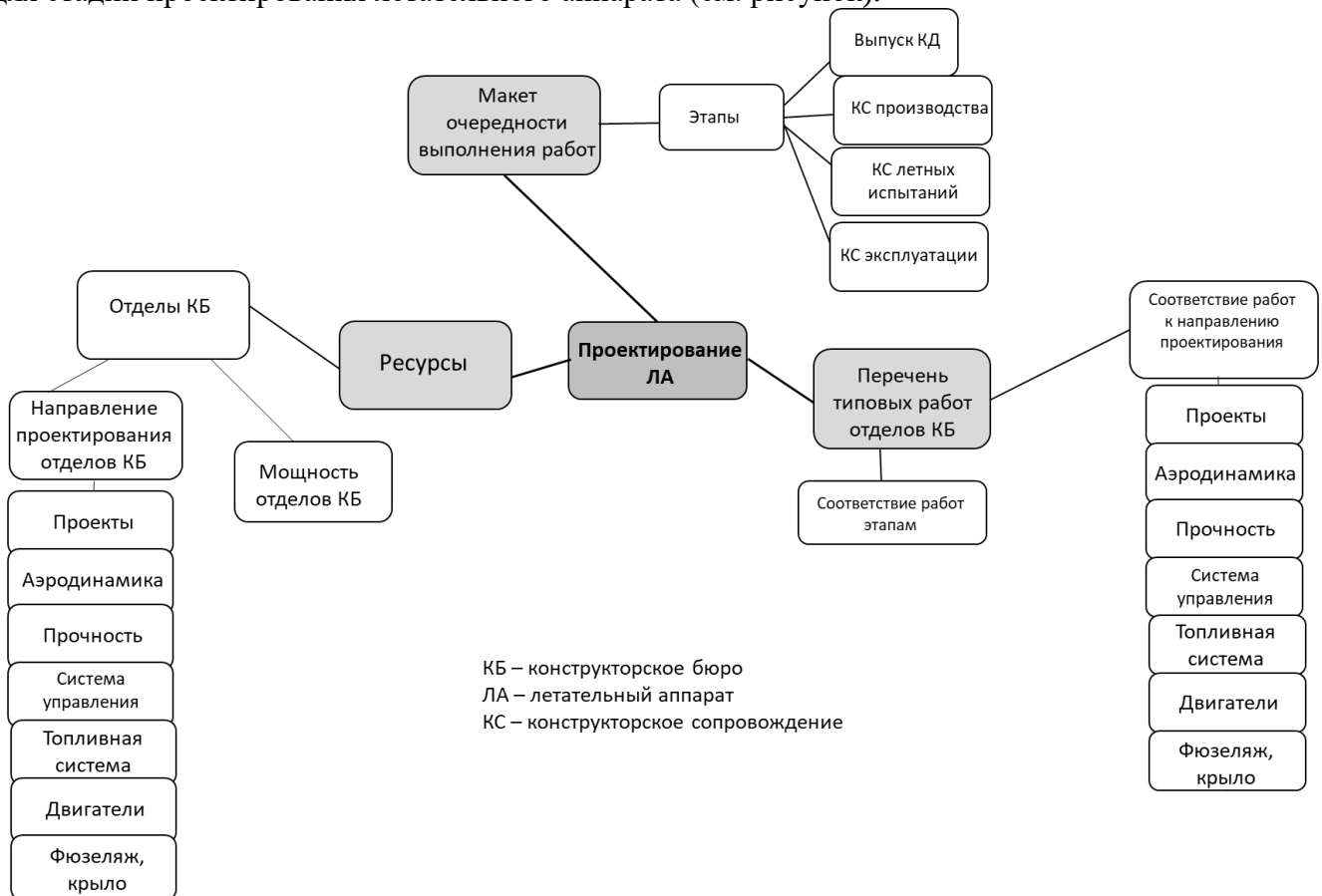


Схема онтологии для этапа «Проектирование ЛА»

Данная схема показывает, что для проектирования летательного аппарата нужно создать базу знаний об этом процессе. Эта база знаний включает в себя:

1. Сведения о ресурсах (в данном случае это сведения об отделах КБ):

1.1. Направление проектирования отделов КБ (перечень отделов с их принадлежностью к направлению проектирования)

1.2. Мощность отделов КБ (суммарное количество трудоемкости, которое могут выработать отделы КБ)

2. Перечень типовых работ отделов КБ.

2.1. Соответствие работ этапам.

2.2. Принадлежность работ к направлению проектирования (это необходимо для составления макета очередности выполнения работ).

3. Макет очередности выполнения работ

3.1. Этапы

Исходя из построенной базы знаний, можно построить календарно-сетевой план проектирования ЛА. На вход будут поступать следующие данные: наименование работ с указанием отдела и сроков выполнения. Далее по словам или словосочетаниям из входных данных будет определяться соответствие работ направлению проектирования (по отделу и наименованию работы), а также соответствие этапам выполнения.

В макет очередности выполнения работ будут подтягиваться данные из перечня типовых работ отделов КБ по атрибуту «принадлежности работ к направлению проектирования» (с указанием конкретного отдела КБ и мощности) и далее выстраиваться в этапы проектирования. Таким образом, мы получаем картину жизненного цикла этапа проектирования, которым можно оперативно управлять на всех его этапах. В случае возникновения обстоятельств из внешней и внутренней среды предприятия, управление будет осуществляться по принципу «адаптивного» планирования. И чем больше задать данных в базу знаний с помощью технологии онтологии, тем более точную картину или ответ можно получить на выходе.

Таким образом, применение технологии онтологии в авиастроении становится необходимым условием повышения конкурентоспособности предприятий отрасли. Эффективное управление знаниями и интеграция сложных инженерных данных способствуют созданию надежных и эффективных самолетов нового поколения, соответствующих современным требованиям рынка и потребителей.

Список литературы

1. Cai H., Zhang W., & Zhu Z. Quality Management and Analysis of Aircraft Final Assembly Based on Digital Twin. 2019 11th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2019.
2. Lesik E. Analysis of the objectives of managing product requirements and product quality. Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2023.
3. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества, 2015.
4. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Системы менеджмента качества. Требования», 2015.
5. Saini, P., Jain, R., & Jain, N. Knowledge Management. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 2023.
6. Farooq, R. Developing a conceptual framework of knowledge management. International Journal of Innovation Science, 2019.
7. Стариков, Д.А. Модель оценки эффективности систем управления знаниями в высокотехнологичных компаниях / Д.А. Стариков // Вестник евразийской науки. – 2025 – Т. 17 – № 2.
8. Gorda, O., & Tsiutsiura, M. Cognitive technologies of the subject area based on ontology. Management of Development of Complex Systems, 2023.
9. Сычев О.А., Пенской Н.А., Терехов Г.В. Метод разработки интеллектуальных тренажеров на основе онтологии предметной области. Онтология проектирования. 2025 Т.15, №1(55). С. 67–81.
10. Kovrigin E., & Vasiliev V. Trends in the development of a digital quality management system in the aerospace industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.

References

1. Cai H., Zhang W., & Zhu Z. Quality Management and Analysis of Aircraft Final Assembly Based on Digital Twin. 2019 11th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2019.
2. Lesik E. Analysis of the objectives of managing product requirements and product quality. Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2023.
3. GOST R ISO 9000–2015. The national standard of the Russian Federation. "Quality Management Systems", 2015.

4. GOST R ISO 9001–2015. The national standard of the Russian Federation. Quality management systems. Requirements", 2015.
5. Saini P., Jain, R., & Jain, N. Knowledge Management. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 2023.
6. Farooq, R. Developing a conceptual framework of knowledge management. International Journal of Innovation Science, 2019.
7. Starikov D.A. Model for evaluating the effectiveness of knowledge management systems in high-tech companies. The Eurasian Scientific Journal. 2025;17(s2).
8. Gorda O., & Tsiutsiura M. Cognitive technologies of the subject area based on ontology. Management of Development of Complex Systems, 2023.
9. Sychev O.A., Penskoi N.A., Terekhov G.V. A method for developing intelligent simulators based on domain ontology. The ontology of design. 2025 Vol.15, No. 1(55). Pp. 67–81.
10. Kovrigin E., & Vasiliev V. Trends in the development of a digital quality management system in the aerospace industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020.