

УДК65.01.005

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ С ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛЮ ОБЪЕКТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКЦИИ АВИАСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А.С. Говорков, Н.В. Подрез¹

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

E-mail: govorkov_as@istu.edu, podreznv@ex.istu.edu

Аннотация. В последнее десятилетие многие крупные российские компании, занятые в области проектирования в различных отраслях (нефтегазовой, авиакосмической, строительной, энергетической и других), самостоятельно разрабатывают концепции работы в области информационного моделирования. Этот процесс тесно связан с созданием цифровых моделей объектов, которые в большинстве случаев представляют собой здания, сооружения, транспортные средства, протяженные коммуникации, подземные объекты.

В каждой из этих отраслей цифровая модель объекта обладает специфическими свойствами, которые оказывают влияние на процесс работы с ней, а также на процесс ее создания. От этого процесса зависят график производства проектных работ, количество занятых сотрудников, ее качественные характеристики, а также качество готового продукта.

Основной проблемой работы с цифровой моделью в авиастроительной отрасли является отсутствие структурированности этого процесса, недостаточно эффективный подход к организации процесса взаимодействия отдельных подразделений предприятий, которые создают и модифицируют ее.

Для решения этой проблемы разработаны специфические подходы к процессу проектирования, учитывающие особенности цифровых моделей объектов авиастроительной отрасли, обеспечивающие высокий уровень качества готового продукта и позволяющие обращаться к модели в течение всего периода эксплуатации готового изделия.

Разработана методология работы с моделью, учитывающая все ее специфические особенности.

Ключевые слова: методология, информационная модель объекта, система менеджмента качества, авиастроительная отрасль, информационное пространство объекта.

Введение

В настоящее время в крупных проектных организациях нашей страны стала широко применяться система менеджмента качества (СМК) [1].



© Автор(ы), 2025

¹ Алексей Сергеевич Говорков, кандидат технических наук, доцент, директор института информационных технологий и анализа данных.

Никодим Владимирович Подрез, кандидат технических наук, доцент кафедры самолетостроения и эксплуатации авиационной техники.

СМК используется для поддержания устойчивости всех бизнес-процессов, происходящих на предприятии, а также для контроля качества не только выпускаемой продукции, но и всех технологических процессов, предназначенных для ее выпуска.

СМК позволяет повысить конкурентоспособность предприятия в условиях высоких требований рынка и конечного потребителя. Особенно актуальными являются эти требования для предприятий авиационного и аэрокосмического комплекса, на которых обеспечение высокого качества выпускаемой продукции является одной из главных целей производства.

На любом производстве существует несколько основных причин, обуславливающих необходимость использования функциональной СМК. К таким причинам относятся: увеличение производительности, рост доверия со стороны потребителей продукции, выход на мировые рынки за счет роста сферы влияния компании [2].

Внедрение СМК на предприятии происходит, как правило, в несколько этапов, к которым относятся: анализ ситуации на предприятии и проведение обучения персонала, разработка документации, касающейся повышения качества выпускаемой продукции и роста производительности труда, разработка графика работы и условий труда, разработка документации по внедрению и проведению внутреннего аудита СМК [3, 4].

Важность использования СМК на предприятии требует разработки новых моделей управления и обработки информации, которые описаны ниже.

С целью предупреждения большого количества ошибок при работе с цифровой моделью объекта, а также с учетом значительного объема информации, которая содержится в такой модели, необходимо разработать комплекс правил и мероприятий, позволяющих снизить затраты времени и ресурсов как на разработку модели, так на ее корректировку, проверку и сборку [5].

Кроме того, следует разработать структуру этого процесса для эффективной интеграции цифровой модели в производственную систему предприятия. Интеграция позволит выбрать для создания модели наиболее эффективное программное обеспечение (ПО), объединить базу данных (БД) цифровой модели с общей БД предприятия. Для этого предложено применение специфических подходов, позволяющих учесть все особенности готового объекта [6].

Основные положения методологии предусматривают для всех исполнителей, осуществляющих работу с моделью, свод правил, согласно которым производятся необходимые операции с моделью [7]. Отступление от этих правил недопустимо. Также в составе команды, участвующей в проектировании, выделяют специалистов, которые на разных этапах разработки цифровой модели объекта производят проверку вносимых данных и осуществляют анализ модели на коллизии [10].

Таким образом, весьма важным направлением совершенствования цифровой модели является методология ее разработки и развития с течением всего времени развития объекта, включая его проектирование, производство и эксплуатацию [14].

Содержательная часть

Работа с информационной моделью (ИМ) имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать до начала работ.

Эти особенности рекомендуется оформить в специальный регламент работ, выполнение которого обеспечит [8–10]:

- эффективную работу с ИМ;
- корректность при обращении к информационной модели;
- обеспечение информационной безопасности;
- эффективное использование различного ПО;
- формирование группы специалистов, ответственных за работу с ИМ;
- адаптацию модели под требования заказчика;
- осуществление процесса проверки информационной модели на установленные критерии;
- проведение сборки 3D-модели по различным критериям (по системам, маркам проекта, отдельным узлам и агрегатам);
- обучение сотрудников работе с 3D-моделью и ее базой данных.

Ниже представлена разработанная методология процесса проектирования самолета с использованием информационной модели (ИМ), которая предусматривает учет всех особенностей, характеризующих 3D-модель и связанные с ней объекты проектирования [9].

Основные положения методологии учитывают порядок производства работ при создании информационной модели объекта, разделение работ между участниками, а также порядок проверки модели [10].

Разработанная методология предусматривает следующие основные этапы работы с информационной моделью:

- 1) разработка БД информационной модели и интеграция ее в БД предприятия;
- 2) формирование графика работ с информационной моделью;
- 3) разработка отдельных элементов 3D-модели;
- 4) объединение отдельных элементов в сводную 3D-модель;
- 5) проведение нескольких этапов проверки 3D-модели;
- 6) передача данных из 3D-модели в специализированные ПО для генерации документации (ВОР, смет, чертежей, графиков, спецификаций);
- 7) передача 3D-модели заказчику;
- 8) корректировка модели на всех этапах жизненного цикла объекта.

Визуализация основных этапов разработанной методологии приведена на рис. 1.

Каждый из этапов представляет собой комплекс действий нескольких исполнителей, которые четко разделены во времени, имеют определенный порядок. Этапы характеризуются заранее разработанной структурой и описываются регламентом, который принят руководством предприятия и обязателен для выполнения всеми членами команды, осуществляющей работу с информационной моделью [14].

Порядок следования этапов – последовательный. Замена одного этапа другим либо изменение очередности этапов не допускается.

Каждый этап предусматривает комплекс работ, выполняемых несколькими исполнителями. В середине процесса предусмотрен этап № 5, который является контрольным. Он позволяет оценить качество ИМ, выявить наличие ошибок, идентифицировать элементы модели, которые не отвечают заданным требованиям и критериям [15].

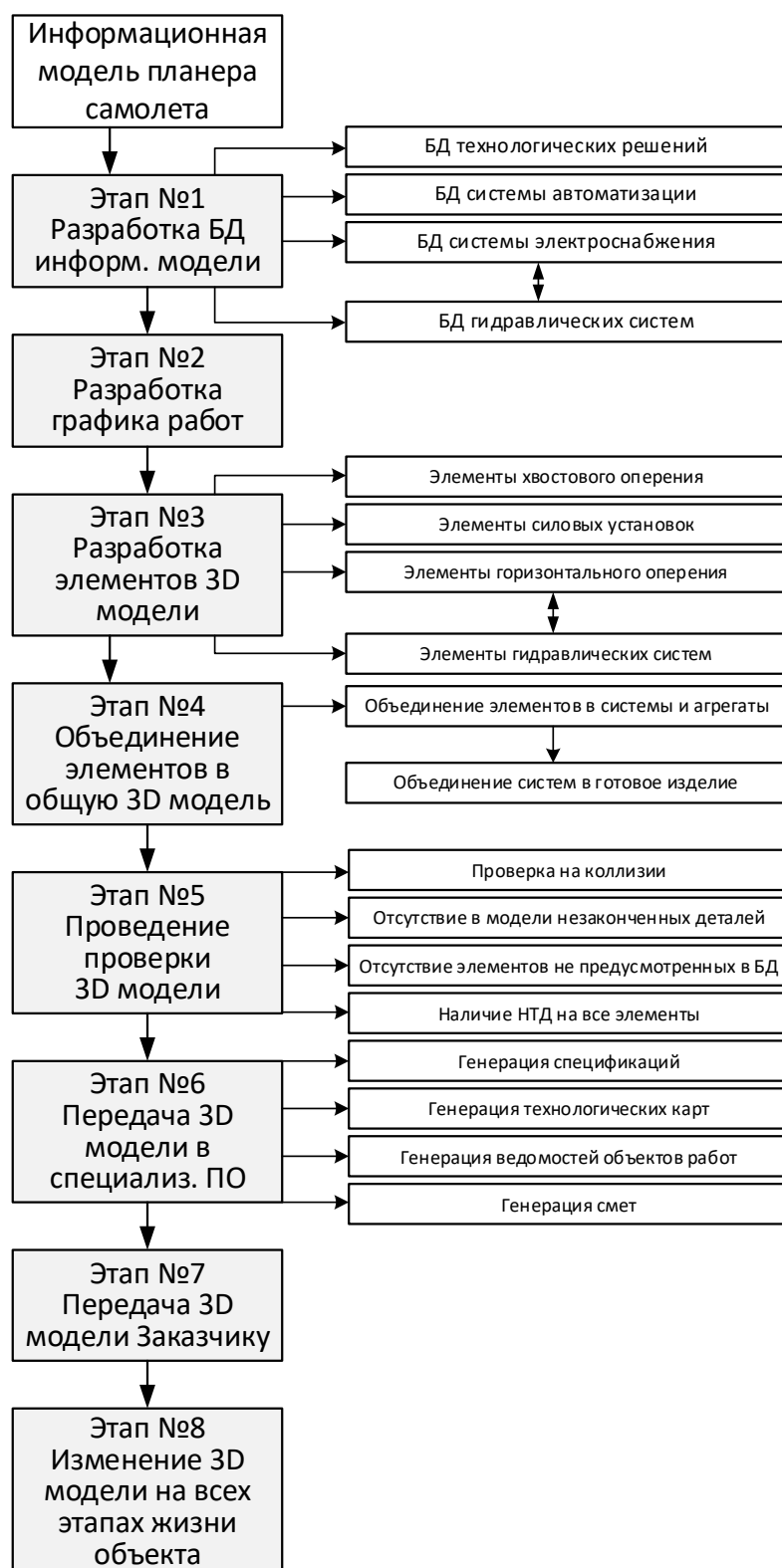


Рис. 1. Методологические этапы работы с информационной моделью изделия

Каждый этап предусматривает назначение специалиста, ответственного за проведение всего комплекса работ, входящих в состав данного этапа. Так, например, при формировании БД изделия ее наполнение производится всеми специалистами, занятыми при разработке модели. Но лишь один специалист – координатор БД осуществляет контроль за внесением информации в БД проекта, оценку правильности каждой из записей элементов, проверку процесса взаимодействия БД проекта с БД предприятия [16].

В общем виде схема этапа № 1 представлена на рис. 2.

На **этапе № 1** производится контроль действий отдельных специалистов, которые направляют сведения об отдельных элементах информационной модели в общую БД проекта.

Специалист, который осуществляет контроль за корректностью записей каждого элемента, с использованием специализированного ПО осуществляет проверку на достаточную информативность записи об элементе, на соответствие БД предприятия, а также нормативной документации. Например, при наведении курсора на отдельный элемент должно появляться всплывающее окно, в котором отображаются характеристики элемента, а также нормативный документ (ТУ, ГОСТ, ОСТ и т. д.), по которому он производится.

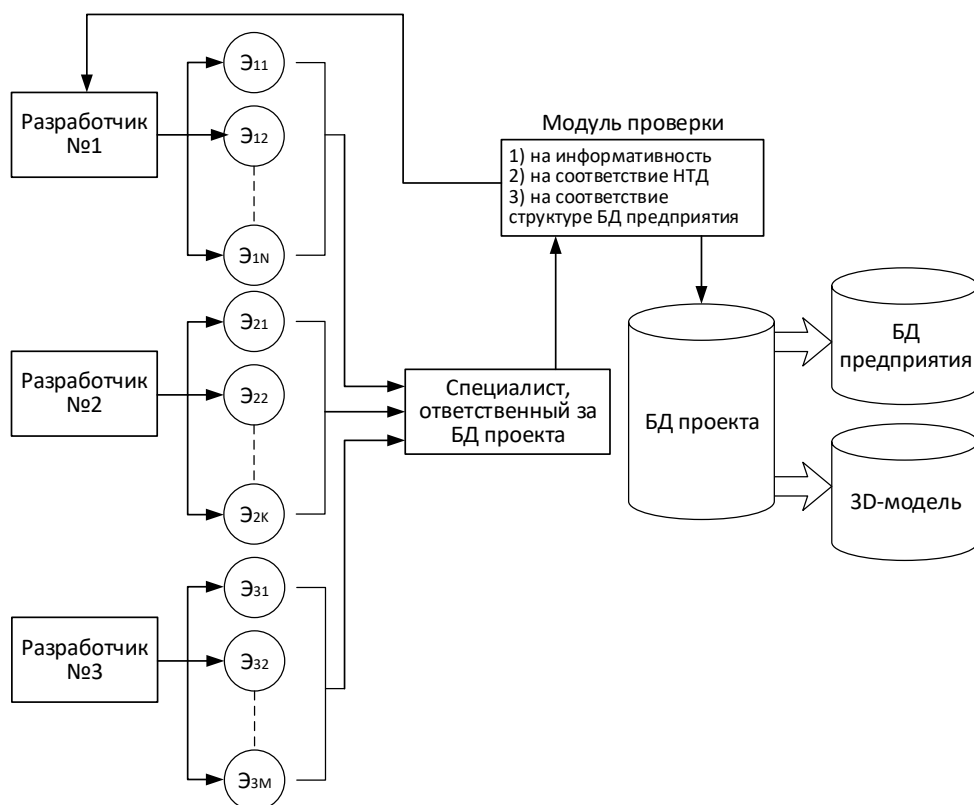


Рис. 2. Схема этапа № 1 работы над цифровой моделью

В рамках развития СМК на предприятии предложено организовать единое информационное пространство отдельного проекта.

Цифровая среда, в которой разрабатывается информационно модель изделия, производится передача всех видов информации, представляет собой вложенные друг в друга информационные пространства, доступ в которые организован строго в зависимости от того, какое место участник проекта занимает в организационной структуре проекта.

Между всеми участниками проекта образуется единое информационное пространство, доступное всем (рис. 3). В нем обращается, изменяется, хранится и обрабатывается информация обо всех характеристиках изделия.

При этом следует учитывать, что структуру информационного пространства организует заказчик. Только он решает, какой объем информации может быть доступен всем или отдельному участнику проекта.

В это пространство интегрируется информационная модель авиационной техники, в состав которой входят все изделия. Однако доступной она в общем случае только для заказчика, подрядчика по проектированию и подрядчика по производству. Остальные участники проекта не могут видеть ее и вносить в нее какие-либо изменения.

Единое информационное пространство предприятия включает следующие основные элементы:

- базу данных оборудования, изделий и материалов;
- базу данных нормативной и технической документации;
- исходные данные для проектирования воздушного судна (техническое задание заказчика);
- сведения обо всех элементах производственной системы предприятия.



Рис. 3. Информационное пространство проекта

На авиационном предприятии, как правило, организована собственная цифровая среда, основной целью которой является полная автоматизация всех бизнес-процессов предприятия.

Цифровая среда предприятия должна отвечать следующим основным принципам [9–11]:

- высокий уровень корпоративной безопасности;
- постоянное развитие;
- управление всеми бизнес-процессами предприятия;

- отечественное производство основных компонентов цифровой среды;
- адаптация под цифровую среду программных продуктов зарубежного производства, не имеющих аналогов в нашей стране;
- организация единого информационного пространства на предприятии, доступного для любого из пользователей;
- обеспечение возможности обучения персонала работе с цифровыми технологиями за счет разработанных стандартов предприятия, руководящих документов и инструкций.

Организация цифровой среды производится с учетом пожеланий и требований пользователей, которые составляют техническое задание на разработку и отладку ее отдельных элементов, интегрируемых затем в общую информационную систему предприятия [13].

Цифровая среда обслуживается ИТ-специалистами предприятия и в любой момент может стать полностью автономной, независимой от внешней информационной среды.

В условиях современных вызовов и проблем автономность цифровой среды имеет ключевое значение, так как позволяет обеспечить наивысший уровень ее безопасности и полную независимость как от зарубежных партнеров, так и от сторонних предприятий и организаций, которые могут прямо или косвенно нанести ущерб информационным ресурсам предприятия авиационной промышленности.

Этап № 2 предусматривает разработку графика работ с моделью. Разработка графика осуществляется с использованием метода *Agima* с учетом его модификации, которая позволяет адаптировать график под конкретные условия предприятия (фактическую загрузку сотрудников, наличие материальных и временных ресурсов).

Этап № 3 включает процесс разработки отдельных элементов модели. На данном этапе происходит отрисовка каждого элемента модели либо включение его в состав узла (агрегата или системы) из БД проекта.

Этап № 4 предусматривает объединение отдельных элементов (либо агрегатов и узлов) в единую информационную модель. Причем объединение происходит под контролем специалиста, который обеспечивает последовательную работу нескольких специалистов, разрабатывающих проект одной системы либо одного узла.

Объединение элементов происходит по посадочным поверхностям, которые специализированное ПО проверяет сразу для двух (или нескольких) элементов, объединяющихся в один объект. Проверка происходит по следующим критериям:

- посадочные размеры;
- допуски;
- шероховатость.

Этап № 5 представляет собой несколько видов проверки информационной модели самолета. Вид проверки «Внутренний» предусматривает проверку модели внутри проектного подразделения. Проверка осуществляется в автоматизированном режиме на следующие несоответствия:

- 1) использование деталей, изготавливаемых без нормативной документации (ТУ, ОСТ, ГОСТ и т. д.);
- 2) несоответствие расположения деталей принятой системе координат;

- 3) отсутствие в БД соответствующего описания детали;
- 4) наличие в информационной модели деталей и изделий с неоконченным моделированием;
- 5) наличие в модели посторонних предметов, объектов, деталей, изделий;
- 6) незаполненность характеристик технологических линий (систем самолета);
- 7) распределение изделий по слоям вне соответствия с принятой на предприятии цифровой кодировкой.

Вид проверки «Внешний» предусматривает следующие проверки информационной модели:

- 1) проверка на коллизии (пересечения деталей внутри одного узла, агрегата, системы);
- 2) проверка на коллизии (взаимные пересечения между собой трубопроводов, узлов, агрегатов в составе всего самолета);
- 3) выборочная проверка отрисовки характеристик изделий, которые вносятся в БД вместе с информацией об изделии, детали, элементе;
- 4) выборочная проверка формирования вспомогательной документации из собранной 3D-модели (видов, разрезов, узлов, сечений, спецификаций, ведомостей объемов работ).

Этап № 6 предназначен для передачи данных из информационной модели в специализированные программные продукты, которые позволяют автоматически формировать:

- технологические карты на производство изделия;
- ведомости объемов работ;
- сметную документацию;
- спецификации.

Эффективность работ на данном этапе зависит от технических возможностей предприятия, на котором разрабатываются специализированные программные комплексы, предназначенные для передачи данных из графических программных комплексов зарубежного производства в отечественное ПО для разработки текстовых документов («Гранд-Смета», «Адепт» и другие).

Любые изменения, которые происходят в информационной модели изделия, позволяют автоматически изменять указанные выше документы, входящие в комплект направляемой заказчику проектной документации.

В основе СМК авиастроительного предприятия лежит принцип последовательной коммуникации между отдельными подразделениями предприятия, которые получают задания от ведущего технологического подразделения, осуществляющего проектирование изделия.

На рис. 4 приведена предлагаемая последовательная коммуникация между отдельными подразделениями предприятия.

Производственные подразделения осуществляют полный комплекс обработки поверхности детали, выполняя все технические требования, которые указаны на рабочих чертежах изделия.

По окончании обработки изделия оно направляется в испытательную лабораторию вместе с сопроводительными документами. Направление изделия также формируется в виде задания от одного подразделения к другому.

В задании содержится вся необходимая информация о том, что необходимо выполнить другому подразделению. Кроме того, в задании указывается автор задания, дата выдачи, необходимые комментарии и согласующие его специали-

сты. Также к заданию прикрепляются все необходимые файлы, содержащие исчерпывающую информацию об объекте, на который выдается задание.



Рис. 4. Схема последовательной коммуникации между подразделениями предприятия с интеграцией в схему СМК

На каждом из этапов производится контроль качества проводимых работ со стороны специалистов СМК, которые отслеживают следующие параметры технологического процесса:

- 1) соответствие графику выполняемых работ;
- 2) соответствие изделия техническому заданию заказчика;
- 3) соответствие изделия требованиям нормативных документов, согласно которым оно производится;
- 4) соответствие приборов контроля и испытательного оборудования методикам измерений.

При несоответствии работ подразделений при изготовлении изделия указанным выше требованиям специалисты СМК выдают предупреждение и отслеживают устранение обнаруженных недостатков.

Внедрение СМК в производственную деятельность предприятия предусматривает проведение комплекса организационных и технических мероприятий, в которых принимают участие все работники предприятия.

Основными этапами интеграции СМК в систему проектирования являются:

- 1) подтверждение международных сертификатов соответствия требованиям международных стандартов (ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, ISO 45001:2018);
- 2) создание структуры управления СМК на предприятии;
- 3) обучение персонала основным положениям СМК;
- 4) разработка структуры документации СМК;
- 5) организация производственного контроля за соблюдением требований промышленной и пожарной безопасности на производстве;
- 6) организация производственного контроля за качеством выпускаемой продукции;
- 7) организация производственного экологического контроля;
- 8) организация инструментов системы для увеличения производительности предприятия и повышения качества продукции.

Этап № 7 представляет собой процесс передачи информационной модели заказчику. На данном этапе специалистами профильных служб заказчика производится проверка ИМ, а также всей сопроводительной документации. При наличии замечаний информационная модель отправляется в проектную организацию на доработку.

Этап № 8 является по времени самым длительным, так как представляет собой процесс внесения всех изменений, модернизаций, модификаций изделия в процессе его строительства и последующей эксплуатации. С использованием информационной модели появляется уникальная возможность следить за всеми ее изменениями при изменении только одного элемента. То есть заказчик получает возможность моделировать различные варианты модификаций изделия, не выполняя их. Сравнение нескольких вариантов модификаций и модернизаций можно производить, сразу получая сводный сметный расчет для экономического сравнения вариантов.

Выводы

Таким образом, разработанная методология работы с информационной моделью обуславливает сокращение трудозатрат предприятия на проектирование и производство изделий авиационной техники за счет:

- 1) организации формы и структуры информационного пространства предприятия, обеспечивающих эффективное и безопасное взаимодействие между участниками;
- 2) построения иерархической структуры процесса проектирования и производства продукции с учетом адаптации этих процессов к изменению внешних условий;
- 3) последовательной автоматизированной коммуникации между отдельными проектными и производственными подразделениями;
- 4) интеграции СМК в систему проектирования;
- 5) оценки экологической безопасности проектных решений;
- 6) введения экологического контроля за процессом производства продукции;

7) организации информационной модели изделия, которая характеризуется интегрированным доступом к ней всех участников проекта в любой момент времени;

8) обеспечения многоуровневого контроля за качеством проектных решений и произведенной продукцией на каждом из этапов.

Такая методология позволяет структурировать процесс разработки модели, адаптировать ее к специфическим особенностям производственной системы предприятия, сформировать и упорядочить работу сотрудников, разрабатывающих модель и осуществляющих ее проверку.

Все этапы, которые включает методология, автоматизированы. Из каждого этапа информация может быть передана главному инженеру проекта, который является координатором всех видов работ над созданием объекта.

Методологические основы предусматривают максимально возможный объем информации о каждом элементе объекта и ее хранение в специализированной базе данных, привязанной к объекту.

Основными преимуществами предлагаемой к реализации методологии являются сокращение времени на разработку ИМ, снижение загрузки сотрудников, рациональное распределение объемов работ внутри коллектива, занятого разработкой модели объекта.

Таким образом, предлагаемые к реализации мероприятия по внедрению единого информационного пространства проекта на предприятии авиастроения позволяют повысить производительность труда за счет эффективного взаимодействия между собой отдельных подразделений. Для этого организуется единое информационное пространство проекта, в котором осуществляются все взаимодействия между заказчиком проекта, проектной организацией и другими участниками. Вся информация, которая обращается в информационном пространстве, может быть доступна всем участникам проекта, если доступ специально не ограничивается. Подобная организация обмена информацией эффективна, так как позволяет специалистам СМК проводить постоянный либо периодический контроль за полнотой, качеством передачи информации и ее графиком. Кроме того, единое информационное пространство обеспечивает возможность проведения внутренних аудитов всех процессов, происходящих внутри конкретного проекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Магкиева З.И.* Разработка и внедрение системы менеджмента качества в соответствии со стандартом ИСО 9001-2015 // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2016. Т. 2. С. 376–380. EDN: VSDMFF
2. *Мингалеев Г.Ф.* Современные методы организации, управления и технологии бережливого производства: учеб. пособие. Казань: Абак-Сервис, 2010. 304 с.
3. *Мельникова Д.И.* Система менеджмента качества в условиях цифровизации: проблемы и перспективы развития // Молодой ученый. 2021. № 47 (389). С. 109–111. EDN: VSCRCQ
4. *Майкова П.Н., Майкова Е.Н., Захарова Ю.О. и др.* Сущность и значение системы менеджмента качества // Форум молодых ученых. 2020. № 10 (50). С. 344–350. EDN: BQFXYI
5. *Елохов А.М., Арбузова Т.А.* Управление качеством. Часть II. Система менеджмента качества: учеб. пособие: в 2 ч. 3-е изд., перераб. и доп. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2020. 188 с. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/eloxov-arbuzova-upravlenie-kachestvom-ch2.pdf>.
6. *Тихомирова О.Г., Галицкий С.В.* Проектирование производственных систем на основе системно-холистического подхода // Фундаментальные исследования. 2018. № 4. С. 120–124. EDN: XOSEZN

7. Павлов Е.О., Монахов В.А. Производственные системы: теоретические аспекты функционального анализа и перспективы инновационного развития // Российское предпринимательство. 2018. Т. 19, № 10. С. 3029–3040. DOI: 10.18334/rp.19.10.39506. EDN: COZSZP
8. Радыгин А.Б., Сердюк А.И., Сергеев А.И. Метод нормирования надежности оборудования при проектировании гибких производственных систем // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 103–108. EDN: YNHQXJ
9. Калева Д.Е. Особенности проектной деятельности в гражданской авиации // Молодой ученый. 2022. № 45 (440). С. 292–294. EDN: EPQFEN
10. Черноусов Е.А. Системы автоматизированного проектирования в реализации задач авиастроения // Шаг в науку. 2022. № 4. С. 81–86. EDN: EPXYCO
11. Гришина В.А. Мотивация персонала в рамках системы менеджмента качества промышленного предприятия // Социально-экономические явления и процессы. 2012. № 1. С. 53–56. EDN: PCDNDX
12. Усик Н.И., Белокуров А.Э., Василенок А.В. Важность системы менеджмента качества на предприятиях // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2016. № 4. С. 70–77. DOI: 10.17586/2310-1172-2016-9-4-70-77. EDN: XDZSHN
13. Основы менеджмента: учебник / под ред. Д.В. Вачугова. М.: Высшая школа, 2002. 145 с.
14. Производственный менеджмент: учебник / под ред. С.Д. Ильенковой. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 185 с.
15. Производственный менеджмент: учебник / под ред. В.А. Козловского. М.: ИНФРА-М, 2003. 574 с.
16. Райзберг Б.А. Курс управления экономикой: учеб. пособие. М.: Юпитер, 2003. 199 с. ISBN: 5-94723-439-4. EDN: QQBMNL
17. Ревуцкий Л.Д. Потенциал и стоимость предприятия. М.: Финансы и статистика, 2002. 208 с.

Статья поступила в редакцию 15.02.2025

BASIC PRINCIPLES OF ORGANIZING WORK WITH AN INFORMATION MODEL OF AN OBJECT IN THE DESIGN AND PRODUCTION OF PRODUCTS IN THE AIRCRAFT INDUSTRY

A.S. Govorkov, N.V. Podrez¹

Irkutsk National Research Technical University
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russian Federation

E-mail: govorkov_as@istu.edu, podreznv@ex.istu.edu

Abstract. *Over the past decade, many large Russian companies engaged in the field of design in various industries (oil and gas, aerospace, construction, energy, and others) have independently developed concepts for working in the field of information modeling. This process is closely related to the creation of digital models of objects, which in most cases are buildings, structures, vehicles, extended communications, and underground facilities. In each of these industries, the digital model of an object has specific properties that affect the process of working with it, as well as the process of its creation. The schedule of project work, the number of interesting employees, its quality characteristics, as well as the quality of the finished product depend on this process. The main problem of working with the digital model in the aircraft industry is the lack of structuring of this process, an insufficiently effective approach to organizing the process of interaction between individual departments of enterprises that create and modify it. To solve this problem, it is necessary to develop specific approaches to the design process that would take into account the features of digital models of aircraft industry facilities, ensure a high level of quality of the finished product and allow access to the model throughout the entire period of operation of the finished product. To unify the design process using a digital model within a single enterprise, it is necessary to develop a methodology for working with the model that would take into account all its specific features.*

Keywords: *methodology, information model of the facility, quality management system, aircraft industry, information space of the facility.*

REFERENCES

1. Magkueva Z.I. Razrabotka i vnedrenie sistemy menedzhmenta kachestva v sootvetstvii so standartom ISO 9001-2015 [Development and implementation of a quality management system in accordance with the ISO 9001-2015 standard] // Nauchno-metodicheskij elektronnyj zhurnal «Koncept». 2016. V. 2. Pp. 376–380. (In Russian)
2. Mingaleev G.F. Sovremennye metody organizacii, upravleniya i tekhnologii berezhlivogo proizvodstva [Modern methods of organization, management and technologies of lean production]: uchebnoe posobie. Kazan: Abak-Servis, 2010. 304 p.



© The Author(s), 2025

¹ Alexey S. Govorkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor, Director of the Institute of Information Technologies and Data Analysis.

Nikodim V. Podrez (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor, Dept. of Aircraft Engineering and Aviation Technology Operation.

3. *Melnikova D.I.* Sistema menedzhmenta kachestva v usloviyah cifrovizacii: problemy i perspektivy razvitiya [Quality management system in the context of digitalization: problems and prospects of development] // *Molodoj uchenyj*. 2021. No. 47 (389). Pp. 109–111. (In Russian)
4. *Majkova P.N., Majkova E.N., Zaharova YU.O. i dr.* Sushchnost i znachenie sistemy menedzhmenta kachestva [The essence and significance of the quality management system] // *Forum molodyh uchenyh*. 2020. No. 10 (50). Pp. 344–350. (In Russian)
5. *Elohov A.M., Arbuzova T.A.* Upravlenie kachestvom. Chast II. Sistema menedzhmenta kachestva [Quality management system]; ucheb. posobie: v 2 ch. 3-e izd., pererab. i dop. Perm: Perm. gos. nac. issled. un-t, 2020. 188 p. URL: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/eloxov-arbuzova-upravlenie-kachestvom-ch2.pdf>. (In Russian)
6. *Tihomirova O.G., Galickij S.V.* Proektirovanie proizvodstvennyh sistem na osnove sistemno-holisticheskogo podhoda [Designing production systems based on a system-holistic approach] // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2018. No. 4. Pp. 120–124. (In Russian)
7. *Pavlov E.O., Monahov V.A.* Proizvodstvennye sistemy: teoreticheskie aspekty funkcional'nogo analiza i perspektivy innovacionnogo razvitiya [Production systems: theoretical aspects of functional analysis and prospects for innovative development] // *Rossijskoe predprinimatel'stvo*. 2018. V. 19, No. 10. Pp. 3029–3040. DOI: 10.18334/rp.19.10.39506. (In Russian)
8. *Radygin A.B., Serdyuk A.I., Sergeev A.I.* Metod normirovaniya nadezhnosti oborudovaniya pri proektirovanii gibkih proizvodstvennyh sistem [Method of rationing equipment reliability in the design of flexible production systems] // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2018. No. 10. Pp. 103–108. (In Russian)
9. *Kaleva D.E.* Osobennosti proektnoj deyatel'nosti v grazhdanskoj aviacii [Features of project activity in civil aviation] // *Molodoj uchenyj*. 2022. No. 45 (440). Pp. 292–294. (In Russian)
10. *Chernousov E.A.* Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya v realizacii zadach aviastroeniya [Computer-aided design systems in the implementation of aircraft engineering tasks] // *Shag v nauku*. 2022. No. 4. Pp. 81–86. (In Russian)
11. *Grishina V.A.* Motivaciya personala v ramkah sistemy menedzhmenta kachestva promyshlennogo predpriyatiya [Motivation of personnel within the framework of the quality management system of an industrial enterprise] // *Sotsialno-ekonomicheskie yavleniya i processy*. 2012. No. 1. Pp. 53–56. (In Russian)
12. *Usik N.I., Belokurov A.E., Vasilenok A.V.* Vazhnost sistemy menedzhmenta kachestva na predpriyatiyah [The importance of a quality management system at enterprises] // *Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Seriya «Ekonomika i ekologicheskij menedzhment»*. 2016. No. 4. Pp. 70–77. DOI: 10.17586/2310-1172-2016-9-4-70-77. (In Russian)
13. *Osnovy menedzhmenta [Fundamentals of management]: uchebnik / pod red. D.V. Vachugova*. M.: Vysshaya shkola, 2002. 145 p. (In Russian)
14. *Proizvodstvennyj menedzhment [Production Management]: uchebnik / pod red. S.D. Ilenkovej*. M.: YUNITI-DANA, 2002. 185 p. (In Russian)
15. *Proizvodstvennyj menedzhment [Production Management]: uchebnik / pod red. V.A. Kozlovskogo*. M.: INFRA-M, 2003. 574 p. (In Russian)
16. *Rajzberg B.A.* Kurs upravleniya ekonomikoj [Economics management course]: ucheb. posobie. M.: Yupiter, 2003. 199 p. (In Russian)
17. *Revuckij L.D.* Potencial i stoimost predpriyatiya [The potential and value of the enterprise]. M.: Finansy i statistika, 2002. 208 p. (In Russian)

Original article submitted 15.02.2025