

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИЗДЕЛИЙ ПО НОВОЙ СКВОЗНОЙ 3D-ТЕХНОЛОГИИ НА ЦИФРОВОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*С. В. Пичугова, А. И. Боровик*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

## Введение

В контексте развития политики импортозамещения особую роль играет применение на современных промышленных предприятиях машиностроения и приборостроения комплексных информационных систем управления жизненным циклом изделий. В РФЯЦ-ВНИИЭФ создана система сквозного 3D-проектирования–подготовки производства, которая базируется на отечественном программном обеспечении (ТИС:PLM). В настоящее время ТИС:PLM тиражируется на предприятия машиностроения и приборостроения.

В связи с этим возникает потребность массовой переподготовки специалистов: конструкторов, технологов, ИТ-специалистов для успешной работы в новой информационной системе и применения технологии сквозного 3D-проектирования – подготовки производства в процессах основной деятельности.

Причем важным критерием обучения является именно не обучение навыкам работы в отдельных программных средах, которое могут предложить и сами разработчики программного обеспечения (ПО). Основное требование к обучению – это максимальное приближение условий и примеров, на которых проводится обучение, к реальным информационным системам, внедряемым на предприятии.

С целью предоставления такого обучения, специалистами создана методика и программа обучения по курсу «Управление данными об изделии». Проведено разворачивание прототипа системы сквозного проектирования на аппаратной платформе учебного класса.

Дисциплина содержит сведения о технологии сквозного проектирования, архитектуре системы сквозного проектирования как основного инструмента управления жизненным циклом изделий. Рассмотрены вопросы применения электронной структуры изделий (ЭСИ), электронных моделей изделий (ЭМИ) в ходе сквозного проектирования, базовые принципы технического электронного документооборота, необходимые квалифицированному инженерному составу при работе на современных высокотехнологичных предприятиях машиностроения и приборостроения. Значительное внимание уделено освоению навыков работы в системе управления данными об изделии, которая является ядром сквозной технологии. Освещены вопросы архитектуры и администрирования системы управления данными. Рассмотрены методики управления потоками работ,

сквозного планирования работ, проектирования изделий на базе ЭСИ, управления конфигурациями и изменениями конструкторско-технологической документации.

Дисциплина «Управление данными об изделии» является углубленными знаниями в области технологии сквозного проектирования. Дисциплина знакомит студентов с основными методами и средствами управления жизненным циклом изделий; особое внимание уделено освоению практических навыков работы с программным инструментарием (PDM-системой). В ходе практических занятий используются типовые сценарии и методики проектирования и технологической подготовки производства изделий машиностроения и приборостроения. Освоение курса проходит с применением отечественного ПО, адаптированного и сконфигурированного в рамках учебного класса, включающего специально разработанные учебные примеры и сценарии бизнес-процессов «3D-проектирование – технологическая подготовка производства».

## Общее описание сквозной технологии

Под *сквозной технологией* (или сквозным циклом) понимается автоматизируемая деятельность в информационной системе, охватывающая следующие стадии жизненного цикла изделий (ЖЦИ): проектирование, технологическая подготовка производства, изготовление, эксплуатация, ликвидация. В состав сквозной технологии входят как основные, так и вспомогательные процессы ЖЦИ.

### Основные процессы:

- разработка технических документов и данных;
- согласование и утверждение документов и данных;
- проведение изменений в документах и данных;
- регистрация и хранение в архиве, выдача и абонентский учет документов;
- обмен данными между системами PDM, EDM, MES, ERP;
- внесение изменений в справочники НСИ.

### Вспомогательные процессы:

- администрирование и защита информации;
- техническая поддержка пользователей на этапе эксплуатации и сопровождение ИС на всех этапах ее жизненного цикла.

Сквозная технология включает компоненты: цели предприятия, бизнес-процессы, персонал, продукция, информационные системы, инфраструктуру.

Основой технологии сквозного проектирования является **комплексная процессная модель** (КПМ) предприятия. КПМ содержит формализованные описания предметных областей, связанных с деятельностью предприятия:

- стратегия, ключевые показатели;
- дерево целей;
- продуктовая линейка;
- организационная структура;
- процессная модель: процессы управления, процессы развития, основные процессы, процессы безопасности и контроля, поддерживающие процессы;
- каталоги знаний, научно-производственной базы, промышленных технологий, документов, ИС.

Предприятия ОПК, в основном, – это комплексные структуры с иерархической формой организации управления. Такая форма исторически была ориентирована на решение специализированных классов задач. Эту форму организации называют **функциональной иерархией**. Каждая структурная единица занимается, в основном, созданием определенного класса продукции.

Для разработки и внедрения автоматизированных систем управления ЖЦИ и построения технологии сквозного проектирования на предприятии необходимо, прежде всего, формализовать его деятельность. Деятельность функциональных иерархий протекает со включением в процесс разных структурных единиц из разных подразделений. Иерархически эти подразделения могут быть не связаны друг с другом (находятся на одном уровне управления), поэтому движение бизнес-процессов в такой организации затруднено. Фактически сквозной бизнес-процесс разработки изделий существует на предприятии, но его формализация и сбор данных по нему затруднены.

При построении технологии сквозного проектирования на предприятии применяется **процессный подход**. Он состоит в том, что работы по созданию продукции разных классов рассматриваются как проекты с установленными сроками, ресурсами и результатом. Поэтому, фактически, в таких проектах имеют место бизнес-процессы, которые реализуются для достижения целей проекта. Каждое изделие рассматривается как совокупность бизнес-процессов по его разработке, изготовлению, поставке и обслуживанию.

Типовой ЖЦИ включает:

- исследование и обоснование разработки;
- разработку;
- производство и поставку;
- надзор в эксплуатации;
- снятие с производства и ликвидацию.

На основе процессного подхода реализуется преобразование бизнес-процессов предприятия в процессы информационных систем. Они сгруппированы по предметным областям и объединены в функциональные блоки.

Таким образом, ЖЦИ – это процессы создания продукции, то **функциональные блоки** – это процессы управления информацией.

В целом на предприятии выделяют два крупных класса информационных систем. Это бизнес-приложения и системы промышленной автоматизации.

**Бизнес-приложения** автоматизируют процессы управления предприятием.

Информационные системы, автоматизирующие процессы управления ЖЦИ, образуют класс **систем промышленной автоматизации**. Система промышленной автоматизации (или система сквозного проектирования) имеет четырехуровневую архитектуру. Она включает: архитектуру бизнес-процессов, архитектуру приложений, архитектуру данных, архитектуру инфраструктуры.

**Система сквозного проектирования** – это комплекс взаимодействующих информационных систем (ИС), обрабатывающих информацию согласно типовым бизнес-процессам и функционирующий в рамках АС в защищенном исполнении и решающий задачи: по управлению ЖЦИ; по обеспечению сквозной технологии 3D-проектирования; по защите информации. Система сквозного проектирования включает типовые функциональные блоки, направленные на автоматизацию решения основных задач управления ЖЦИ (рис. 1).

Существует 9 функциональных блоков, автоматизирующих основные, повторяемые процессы деятельности проектанта, разработчика в ИС, выполняемые им на протяжении всего ЖЦИ. Это функциональные блоки:

- конструкторское проектирование;
- схемотехническое проектирование;
- проектирование экспериментальных установок;
- расчетное моделирование;
- разработка интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР);
- технологическая подготовка производства;
- изготовление;
- экспериментальные исследования;
- сопровождение изготовления, эксплуатации и ликвидации.

Для реализации сквозного цикла в ИС все программные продукты, форматы передаваемых данных, интеграционные взаимосвязи между ними должны быть формализованы и унифицированы. Не допускается применение разнородных программных компонентов, а также расхождения с установленными сценариями работы. Это может привести к потере времени и финансовых ресурсов на конвертирование форматов и сбор данных из систем, не предназначенных для их общего хранения.

На уровне описания архитектуры системы сквозного проектирования применяется понятие «Функция ИС». Это формальный объект модели представления функционального блока.

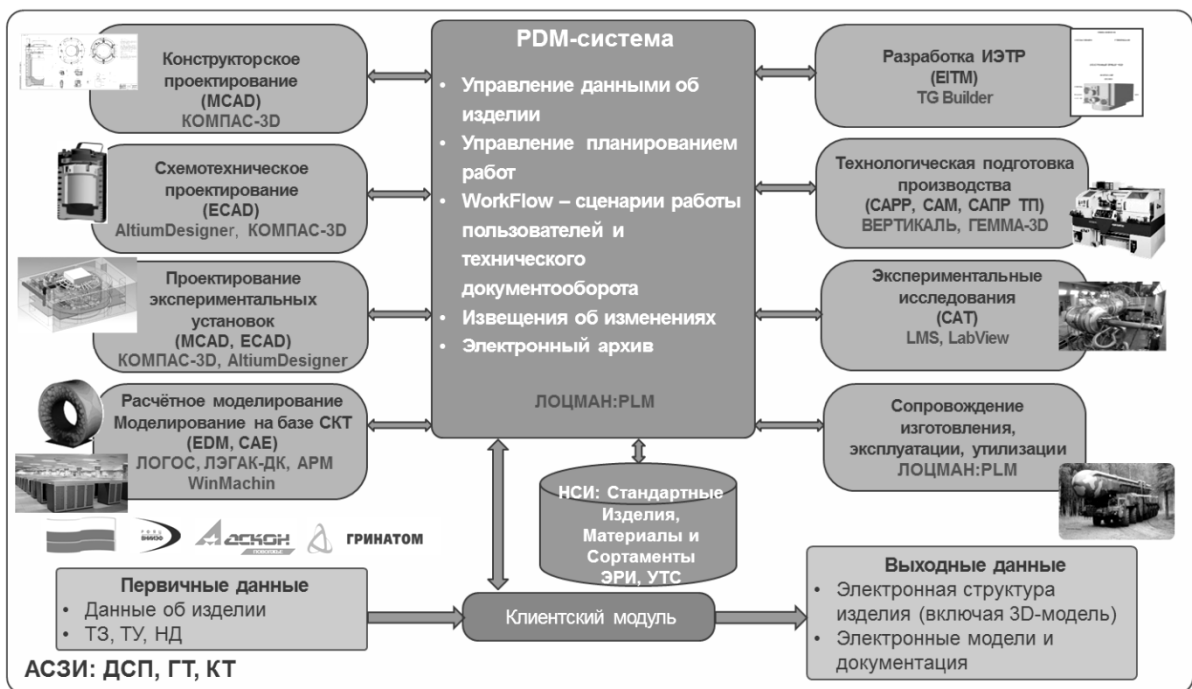


Рис. 1. Типовая архитектура системы сквозного проектирования

Сквозной цикл в системе сквозного проектирования реализуется посредством консолидации всех участников процессов ЖЦИ в ходе разработки электронной структуры изделия (ЭСИ). ЭСИ – конструкторский документ, содержащий в электронной форме состав сборочной единицы, комплекса или комплекта и иерархические отношения (связи) между его составными частями и другие данные в зависимости от его назначения.

ЭСИ содержит информацию в зависимости от этапа, который происходит в ЖЦИ в реальном мире. Поэтому наполнение ЭСИ и уровни доступа участников на разных стадиях ЖЦИ различаются. Однако правила формирования ЭСИ, форматы и структуры данных являются стандартизованными, как и процессы создания изделий в ИС.

Основными компонентами ЭСИ являются электронные модели изделий (ЭМИ) и электронные документы (ДЭ).

ЭМИ представляется в виде набора данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

В зависимости от стадии ЖЦИ различаются следующие виды ЭСИ: функциональный состав; конструкторский состав; технологический состав; производственный состав; физический состав; эксплуатационный состав; логистический состав.

В ЭСИ применяются общие для всех участников и централизованно управляемые корпоративные справочники.

Для успешной и эффективной реализации технологии сквозного проектирования на предприятии необходимо, чтобы каждый участник процессов

ЖЦИ работал в ИС по единым правилам и стандартам. Для этого весь персонал предприятия, задействованный в основных процессах, проходит обучение и последующую аттестацию.

Методика освоения технологии сквозного проектирования включает три уровня обучения:

- 1) инструментальное обучение – обучение работе с ПО.
- 2) сценарное обучение – моделирование реальной работы на тестовых примерах.
- 3) прикладное обучение – применение ПО в реальной производственной деятельности на местах.

### Программа и методика обучения

Основными знаниями, полученными в ходе обучения по курсу «Управление данными об изделии», являются:

– понятия отехнологии сквозного проектирования, системе сквозного проектирования, типовом жизненном цикле изделий (ЖЦИ) и информационной поддержке этапов ЖЦИ, об электронной структуре электронной модели изделияи методах управления ЭСИ и ЭМИ;

– понятия об архитектуре и функциональных возможностях PDM-системы, о способах ее настройки и администрирования;

– знания об информационных объектах, объектной модели изделия в сквозном проектировании, дискреционном управлении доступом к информационным объектам, управлении метаданными;

– знания о механизме планирования и управления потоками работ, об управлении изменениями электронной конструкторско-технологической документации;

– представление о типовых сценариях сквозного проектирования и технологической подготовки производства изделий машиностроения и приборостроения.

Навыками, полученными в ходе освоения курса, являются:

– настройка PDM-системы для работы в рамках технологии сквозного проектирования;

– применение ЭСИ, ЭМИ, электронных документов в ходе сквозного проектирования и осуществление управления доступом и метаданными информационных объектов;

– планирование и управление потоками работ, конфигурирование изделий и проведение изменений;

– осуществление импорта-экспорта данных в PDM-системе, синхронизации баз данных;

– овладение принципами управления данными об изделии на основе ЭСИ, ЭМИ, электронной кон-

структорско-технологической документации и на базе типового сквозного ЖЦИ;

– овладение навыками применения PDM-системы в технологии сквозного проектирования.

В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по ожидаемым образовательным результатам, обучаемый должен получить комплексную систему знаний по дисциплине «Управление данными об изделии» при изучении взаимосвязанных тем.

Курс «Управление данными об изделии» содержит 14 лекционных и 22 практических занятий.

Структура лекционных и практических занятий представлена в табл. 1.

Таблица 1

Лекционные и практические занятия

Номер и наименование лекции	Номер и наименование практического занятия
<i>Тема 1. Технология сквозного проектирования. Определение. Общее описание. Архитектура системы сквозного проектирования. Сквозной цикл в информационной системе</i>	
Лекция 1. Технология сквозного проектирования	
Лекция 2. Архитектура системы сквозного проектирования.	
Лекция 3. Сквозной цикл в информационной системе	
<i>Тема 2. Общие сведения о PDM-системе. Информационный объект. Архитектура Лоцман.PLM</i>	
Лекция 4. Информационный объект	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 1. Настройка Лоцман:PLM</li> <li>• Практическое занятие 2. Клиентский модуль Лоцман:PLM</li> <li>• Практическое занятие 3. Модуль администрирования Лоцман:PLM</li> </ul>
Лекция 5. Архитектура Лоцман:PLM	
<i>Тема 3. Методы и средства управления данными об изделии</i>	
Лекция 6. Методики проектирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 4. Управление данными об изделии</li> </ul>
Лекция 7. Методики проектирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 5. Взаимодействие программных компонентов</li> <li>• Практическое занятие 6. Конфигурирование изделий</li> </ul>
Лекция 8. Методики проектирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 7. Состояния информационных объектов</li> <li>• Практическое занятие 8. Модуль Лоцман:Архив</li> </ul>
<i>Тема 4. Методы и средства управления процессом сквозного проектирования. Управление потоками работ. Управление изменениями электронной документации</i>	
Лекция 9. Методики управления ЖЦИ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 9. Управление версиями объектов</li> </ul>
Лекция 10. Методики управления ЖЦИ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 10. Управление базами данных и метаданными</li> <li>• Практическое занятие 11. Синхронизация баз данных</li> <li>• Практическое занятие 12. Управление доступом к объектам</li> <li>• Практическое занятие 13. Импорт-экспорт данных</li> <li>• Практическое занятие 14. Отчеты и шаблоны ввода</li> </ul>
Лекция 11. Управление потоками работ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 15. Планирование работ</li> <li>• Практическое занятие 16. Модуль Лоцман:WorkFlow</li> <li>• Практическое занятие 17. Управление потоками работ</li> </ul>
Лекция 12. Управление изменениями	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практическое занятие 18. Управление изменениями</li> </ul>
<i>Тема 5. Организация типового процесса сквозного проектирования</i>	
Лекция 13. Организация типового процесса сквозного проектирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практические занятия 19–20. Конструкторское проектирование</li> </ul>
Лекция 14. Организация типового процесса сквозного проектирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Практические занятия 21–22. Технологическая подготовка производства</li> </ul>

Обучение проводится на базе учебного класса в количестве 20 посадочных мест. Для проведения практических занятий необходим проектор, подключенный к компьютеру преподавателя.

Для реализации процесса обучения на базе ТИС:PLM необходима минимальная аппаратная конфигурация, табл. 2.

Таблица 2

Спецификация оборудования

№	Наименование	Кол., шт.
	<i>Оборудование рабочих мест</i>	20
1	Процессор не хуже IntelCore i7	
2	Объем ОЗУ не меньше 8 ГБ	
3	Объем Видеопамяти не менее 1 ГБ	
4	Сетевой адаптер со скоростью передачи не менее 1 Гбит	
5	Манипуляторы, клавиатура и мышь	
6	Наушники	
7	Монитор не менее 22"	
	<i>Оборудование серверов</i>	2
1	Процессор серверного типа не хуже 2,2 ГГц	
2	Объем ОЗУ не меньше 8 ГБ	
3	Объем HDD типа SSD не менее 500 ГБ	
4	Сетевой адаптер со скоростью передачи не менее 1 Гбит	
5	Манипуляторы, клавиатура и мышь	
6	Монитор не менее 22"	

Разворачивание учебного класса базируется на применении виртуальных машин заранее подготовленной конфигурации. Применяются следующие виды конфигурации:

- виртуальная машина – сервер домена;
- виртуальная машина – сервер приложений;
- виртуальная машина – сервер СУБД;
- виртуальная машина – клиентское рабочее место.

Архитектура учебного класса на базе виртуальных машин является легко масштабируемой, и при необходимости может быть растажирирована на несколько классов, или может быть реализовано изменение количества рабочих мест.

В работе учебного класса применяется программное обеспечение, перечень которого приведен в табл. 3.

Лицензии программных продуктов являются сетевыми и располагаются на сервере лицензий. В качестве сервера лицензий может быть использован любой из серверов учебного класса.

Спецификация программного обеспечения

№	Наименование	Кол., шт.
	<i>Базовое программное обеспечение</i>	
1	Windows 7 Russian Максимальная	20
2	OfficeProfessionalPlus 2013 Russian	21
3	Windows Server Standard 2008R2 Russian	2
4	Microsoft SQL Server 2008 R2 Standard x64 Edition	1
	<i>Специализированное программное обеспечение</i>	
1	КОМПАС-3D V16, система трехмерного моделирования	20
2	Электронный Справочник конструктора, редакция 4	20
3	ЛОЦМАН:PLM 2014	20
4	Справочник Материалы и Сортаменты 2014	20
5	Справочник Материалы и Сортаменты 2014: Интерфейс к CAD	20
6	Справочник Стандартные Изделия 2014: Крепеж 2D и 3D	20
7	Справочник Стандартные Изделия 2014: Детали, узлы и конструктивные элементы 2D и 3D	20
8	Справочник Стандартные Изделия 2014: Электрические аппараты и арматура 3D	20
9	Справочник Стандартные Изделия 2014: Интерфейс к CAD	20
10	САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ 2014, система автоматизированного проектирования технологических процессов	20
11	Справочник технолога 2014	20
12	Нормирование материалов 2014	20
13	Нормирование трудозатрат 2014	20
14	ЛОЦМАН:PLM 2014 Интерфейс к CAD	20
15	ЛОЦМАН:PLM 2014, доступ к серверу приложений	1
16	ЛОЦМАН:PLM Архив 2014	20

**Типовой сценарий сквозного процесса конструкторско-технологической подготовки производства**

Разработан типовой сценарий сквозного процесса конструкторско-технологической подготовки производства, который отражает реальный производственный процесс, проходящий на предприятии. Освоение программных средств в контексте данного процесса дает основные практические навыки, которые затем обучаемый может применять в ходе своей производственной деятельности.

Типовой сценарий содержит описание выполнения в системе Лоцман:PLM действий по созданию электронной структуры изделия (ЭСИ) и управлению информационными объектами ЭСИ:

- 1) формирование электронной структуры изделия;

2) формирование плана-графика работ в системе управления планированием Лоцман:PLM. Выдача заданий на разработку. Работа с заданиями плана-графика;

3) разработка электронной структуры сборочной единицы в Лоцман:PLM;

4) создание бизнес-процесса в Лоцман Work-Flow. Работа с заданиями бизнес-процесса;

5) проведение нормоконтроля электронной конструкторской документации на базе вторичного представления;

6) перевод объектов электронной структуры изделия в состояния в Лоцман:PLM;

7) помещение информационных объектов в архив;

8) создание и проведение извещений об изменениях;

9) создание технологического процесса в Лоцман:PLM.

### **Заключение**

В результате работы разработана программа обучения по курсу «Управление данными об изделии», являющемуся составной частью курса «Цифровое предприятие».

Разработаны презентационные материалы лекций и методические рекомендации для выполнения

практических занятий. Материалы и методика описывают процессы сквозного 3D-проектирования – технологической подготовки производства на базе системы управления данными об изделии.

Подготовлен учебный класс для проведения занятий, представляющий собой модель реальной клиент-серверной архитектуры автоматизированной системы предприятия. Учебная конфигурация является адаптивной и масштабируемой, может быть без дополнительных временных затрат развернута в классах, аудиториях, помещениях, предназначенных для обучения слушателей курса.

Проведено обучение 108 студентов – молодых специалистов ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» на базе ВУЗа СарФТИ НИЯУ МИФИ.

Особое внимание при разработке методики и проведении обучения уделено применению новой сквозной технологии разработки изделий, использованию ЭСИ, ЭМИ, ДЭ в процессах проектирования и подготовки производства.

Обучающие материалы базируются на применении программного обеспечения отечественного производства, что полностью соответствует политике импортозамещения, проводимой на государственном уровне.

Программа и методика обучения может быть применена на ведущих предприятиях машиностроения и приборостроения при внедрении ТИС:PLM.