

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

---

УДК 338.2+004:33

© О. И. Антипова<sup>1</sup>, И. Н. Хаймович<sup>2</sup>, А. Н. Чекмарев<sup>3</sup>, С. В. Чурилин<sup>4</sup>, 2020

<sup>1</sup> Тольяттинский государственный  
университет (ТГУ), Россия

<sup>2,3</sup> Самарский национальный исследовательский  
университет им. академика С. П. Королева  
(Самарский университет), Россия

<sup>2</sup> Самарский университет государственного управления  
«Международный институт рынка»  
(Университет «МИР»), Россия

<sup>4</sup> Акционерное общество «Ракетно-космический центр  
«Прогресс», г. Самара, Россия

E-mail <sup>1,2,3</sup>: kovalek68@mail.ru

E-mail <sup>4</sup>: sergejkupanov@gmail.com

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗОВОЙ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДАННЫХ

*Определение базовой концептуальной модели данных конструкторско-технологической подготовки производства в едином информационном пространстве обусловлено необходимостью успешного внедрения технологий информационной поддержки изделия в процессы подготовки производства. Статья посвящена разработке механизма управления в системе «Центр – конструкторы – технологи» с принятием решений по улучшению конструкции изделия с учетом совершенствования модуля «Конструкторско-технологическая подготовка» на основе базовой концептуальной модели данных.*

**Ключевые слова:** конструкторско-технологическая подготовка производства, информационная поддержка изделия, базовая концептуальная модель данных.

В настоящее время на мировом рынке наукоемких изделий сложилось устойчивое представление о том, что современный уровень разработки невозможен без обеспечения сквозного подхода к эффек-

тивности производства изделия (сокращение сроков, повышение эффективности и качества разработки, сокращение сроков разработки) на всех этапах его жизненного цикла. Повышение эффективности процессов управления жизненным циклом создаваемых изделий достигается за счет экономии ресурсов и совершенствования управления всеми видами ресурсов [1]. Для этого используется специальный математический аппарат и имитационные модели формирования информационной системы предприятия [3, 4, 5].

В основе реализации этих задач лежит создание единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников жизненного цикла разрабатываемого изделия [2], т.е. внедрение информационной поддержки изделия (ИПИ-технологий) в процессы конструкторско-технологической подготовки производства.

*Цель данной работы* заключается в разработке механизма управления в системе «Центр — конструкторы — технологи» с принятием решений по улучшению конструкции изделия с учетом совершенствования модуля «Конструкторско-технологическая подготовка», который сможет интегрировать работу конструкторских и технологических отделов через информационное взаимодействие специалистов.

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что технологам и конструкторам необходимо большое количество времени для принятия согласованного решения по поводу улучшения конструкции изделия. Это ведет к увеличению сроков вывода продукции на рынок [9]. Для уменьшения времени принятия решений можно использовать базовую концептуальную модель данных (БКМД) в конструкторско-технологической подготовке производства (КТПП) — *объекте исследования*.

*Предмет исследования* — автоматизация системы менеджмента качества конструкторско-технологической подготовки производства.

Для достижения поставленной в работе цели необходимо создать новую БКМД, которая приведет к согласованию управления в конструкторско-технологической подготовке производства, а следовательно, к сокращению сроков разработки и вывода продукции на рынок.

Принципиальным моментом реального применения ИПИ-технологий для конкретной задачи информационного моделирования действительности является достаточная полнота представления предметной области рассматриваемой задачи (проблемы). При этом обязательно наличие электронного представления не только всех

данных, отображающих этапы жизненного цикла изделия (ЖЦИ) по единым системам конструкторской и технологической документации, но и информации, явно и неявно используемой в процессе функционирования предприятия, ее связи с предшествующим опытом, реально действующими стандартами предприятия, инструкциями и т.д. Только глубоко и полно формализованное электронное представление может обеспечить нужный уровень эффективности управления ресурсами.

Внедрение ИПИ-технологий в процессы должно реализоваться на основе концепции PLM (Product Lifecycle Management) – управления жизненным циклом изделия.

Концепция PLM включает в себя разработку и внедрение взаимосвязанных прикладных решений, содержащих необходимые программные компоненты обеспечения коммуникаций, интеграции модулей автоматизированного проектирования, визуализации и других решений, охватывающих полный ЖЦИ – от идеи до утилизации. Процессы создания, производства, поставки и эксплуатационного обслуживания изделий должны рассматриваться как целостный сквозной процесс на основе полного электронного описания изделия (ПЭОИ) с применением информационных технологий (ИТ).

ПЭОИ – это совокупность данных в электронном виде, полученных на разных этапах жизненного цикла изделия, максимально полно описывающих изделие. Эти данные должны быть взаимосвязаны и обладать следующими свойствами [7]:

- наследуемость при переходе изделия от одного этапа ЖЦИ к другому;

- управляемость;

- доступность в соответствии с правами доступа пользователей – участников проектирования, изготовления, эксплуатации.

Основной массив данных ПЭОИ должен быть организован в виде электронных технических документов, имеющих аналоги технических документов, которые создаются при традиционной (бумажной) системе проектирования.

ПЭОИ создается с применением набора систем автоматизированного проектирования (САД), инженерных расчетов и виртуального моделирования (САЕ), технологической подготовки производств (САМ), управления данными изделия (PDM).

В создании ПЭОИ с применением обозначенного выше набора систем участвуют все участники, привлеченные к разработке изделия на всех этапах ЖЦИ.

Выпуск всей необходимой проектной, конструкторской, технологической и эксплуатационной документации осуществляется на основе ПЭОИ в сквозном цикле [6].

Опишем новую БКМД (ее основные компоненты) КТПП в ЕИП на основе ПЭОИ с применением ИТ.

*1. Система управления данными об изделии.*

Разработка изделия должна вестись под управлением PDM-системы, включая проектирование, конструирование, технологическую подготовку производства (ТПП), организацию и управление самим производством [1]. Все данные об изделиях (в том числе результаты научно-исследовательских работ, расчетов различных характеристик изделия, описания технологических процессов и т.д.) должны быть доступны через систему управления данными об изделии (согласно регламентированным правам доступа). PDM-система должна управлять всем конструкторско-технологическим массивом информации об изделиях.

Основные задачи по применению PDM-системы:

- управление электронными техническими документами;
- создание библиотеки данных по материалам, геометрических моделей стандартных и покупных изделий;
- разработка технологии управления конфигурацией изделия при ведении работ в PDM-системе;
- расширение функциональности процедур выпуска workflow (потока работ) и интеграция их в единую систему планирования работ проекта;
- внедрение процедур проведения изменений, увязанных процедурами управления конфигурацией изделий;
- ведение системы управления различными представлениями (отображениями) состава изделий (инженерным, технологическим, и т.д.);
- управление составом каждого экземпляра изделия (стенды и штатное изделие) и историей его изменения.

*2. Управление структурой и составом изделия.*

Структура изделия – совокупность составных частей изделия и связей между ними, определяющих входимость составных частей. Например, в системе управления инженерными данными об изделии Windchill PDMLink структура изделия должна состоять из объектов типа «Часть» и связанных с ними видов технической документации (CAD документов и т.п.). «Части» представляют собой основные физические элементы, формирующие структуру изделия. Объекты типа «Часть» хранят в себе только атрибутивную информацию, не хранят никакого содержимого и не содержат файлов.

Конечное изделие представляет собой фактически особый вид «Части», представляющий функциональную единицу, которая собирается и поставляется обособленно. Изделие, как правило, рассматривается как некоторый реальный объект, который был произведен и продан заказчиком. Система Windchill расширяет эту концепцию изделия, дополняя ее средой, в которой пользователи работают коллективно над созданием этого конечного продукта. Эта среда, известная как контекст изделия, организует и управляет всей информацией, связанной с готовым произведенным изделием.

Очень часто с изделием может быть связано множество различных файлов. Примерами являются различного рода требования, спецификации или документация. В системе Windchill имеются средства управления документами, которые позволяют связывать документы, такие как требования, спецификации, или документацию с «Частями». Все это, как правило, хранится в контексте изделия.

Структура изделия должна быть создана прежде, чем начинаются любые работы в САД-системе. Создаются «Части», затем, с использованием маршрутов пересылки, назначаются задания по созданию САД-моделей участникам команды, осуществляющей работу по изделию. В ряде случаев в связи с нехваткой данных к сроку создания САД-моделей невозможно получить заранее полную структуру изделия, Windchill может автоматически доформировать структуру изделия после выгрузки САД-моделей, например, из системы автоматизированного проектирования (САПР) Creo Parametric в систему Windchill.

Элементы, формирующие структуру, создаются в контексте изделия разработчиками изделий или другими пользователями с соответствующими правами. Формирование команды участников, занятых в работе над изделием, и делегирование им прав доступа осуществляют разработчики изделия.

Просмотр, редактирование структуры изделия осуществляется с помощью навигатора структуры изделия – приложения, запускаемого через стандартный интерфейс пользователя Windchill и предназначенного для создания структуры изделия.

Навигатор структуры изделия отображает структуру изделия с входящими в него составными частями, связи между ними, атрибутивную информацию, а также графическое представление выбранного объекта.

Модуль управления структурой изделия поддерживает несколько видов спецификаций (представлений). По-разному организованные спецификации (представления) одной и той же сборки



могут иметь различные права доступа и применяться для различных целей. Например, конструкторы могут использовать функциональный вид спецификации, технологи — технологический вид. Данный модуль поддерживает конфигурационный контроль в процессах, связанных с внесением изменений, с моделями сборок в CAD-системах, поддерживает различные инструменты анализа.

### *3. Управление конфигурацией изделия.*

Состав изделия управляется с использованием двух инструментариев: применимости и опциональности использования компонентов.

Применимость — запланированная дата, партия или серийный номер, по наступлению которой старая версия части заменяется новой версией части в производстве.

Опциональность — это отфильтрованная выборка деталей в структуре изделия.

Применимость используется для управления ревизиями деталей, сборочных единиц, а опциональность — для управления элементами изделия, которые могут быть включены дополнительно.

На каждую выпускаемую ревизией деталь и сборочную единицу (ДСЕ) задается перечень изделий, в которых актуально применение данной ДСЕ.

Таким образом, чтобы получить состав конкретного изделия необходимо на сформированный состав изделия два фильтра:

- фильтр, описывающий опциональные правила;
- фильтр, определяющий применимость на конкретное изделие.

### *4. Управление процессами и потоками работ.*

Процесс потока работ — это последовательность predetermined заданий, которые соответствуют бизнес-процессу организации. Процесс потока работ автоматизирует бизнес-процедуры организации, в которых информация, задачи и документы передаются от одного участника процесса к другому. В зависимости от роли в бизнес-процессах, механизмом потока работ могут быть предоставлены задания на создание или согласование данных об изделии.

Задание представляет собой элемент работы, который является частью автоматизированного процесса потока работ, установленного администратором для эффективного исполнения бизнес-процессов.

Если необходимо, чтобы объект был рассмотрен или утвержден другими участниками команды или просто ознакомить других

участников команды с существованием такого объекта в системе, можно направить его по маршруту. Например, система Windchill предоставляет маршруты, с помощью которых можно отправить выбранным участникам уведомления по электронной почте и назначить задания согласовать или утвердить объект. В системе могут быть созданы и использоваться сразу несколько маршрутов. После того как объект направлен по одному из маршрутов, система Windchill автоматически посылает каждому выбранному участнику уведомление о назначении ему задания. Данные задания появляются в списке на странице заданий для каждого участника маршрута. После того как прохождение объекта по маршруту завершено, система Windchill изменяет статус объекта, посылает всем участникам маршрута уведомления и удаляет из списка заданий все незаконченные задания. После того как объект направлен по маршруту, система Windchill позволяет просмотреть детализированную информацию о маршруте, текущем статусе или состоянии жизненного цикла.

Подсистема управления жизненным циклом объекта является центральным звеном функциональности системы Windchill по управлению зрелостью объекта, то есть состоянием его жизненного цикла. Для каждого типа объекта системы Windchill могут быть созданы уникальные состояния его жизненного цикла и политики управления доступом, определяемые для каждого состояния. Для определения жизненного цикла данному типу объекта при его создании в системе используются правила инициализации объекта. Процессы потока работ, связанные с жизненным циклом объекта, управляют развитием объекта на каждом этапе его жизненного цикла посредством шаблонов заданий потоков работ. Для управления зрелостью объекта в системе является важным то, каким образом построен жизненный цикл объекта. В зависимости от некоторых бизнес-условий (например, команда разработки, законченность объекта или тип объекта), жизненный цикл может включать определенные бизнес-функции, а также определение, как эти функции должны быть выполнены. Правила перехода, используемые в жизненном цикле, позволяют применять определенные бизнес-процессы для каждой стадии развития объекта.

#### *5. Управление изменениями.*

PDM-система позволяет отслеживать внесение изменений в инженерные данные, включая в себя организацию запроса на изменение, сбор замечаний специалистов по вносимому изменению, построение ссылок на любую необходимую информацию, связанную как с самим изменением, так и с процессом его реализации. При этом

сохраняется управляемый уровень доступа к данным, необходимый для анализа и выполнения предлагаемых изменений, а также ведется история изделия и любой его части по версиям и итерациям.

*6. Система автоматизированного проектирования (САПР) конструкторской документации.*

В качестве САПР при разработке электронных моделей конструкции изделия необходимо рассматривать интегрированный программный комплекс.

Использование САПР, интегрированной в PDM-систему, в единой информационной модели изделия дает возможность различным инженерным группам (конструкторам, технологам, расчетчикам) вести параллельную работу над проектом, оптимально используя коллективный опыт. Это значительно сокращает время и средства, затрачиваемые на конструкторско-технологическое проектирование, и позволяет получать на выходе действительно качественный продукт.

*7. Справочники.*

При проведении проектно-конструкторских работ, подготовке конструкторской документации, в технологической подготовке производства (ТПП) может потребоваться справочная информация, например, о материалах, применяемых при изготовлении изделий (например, обозначения черных и цветных металлов и их сплавов, неметаллических материалов, смазок и технических жидкостей, их физико-механические, технологические свойства, химический состав, назначение и области применения, используемые сортаменты).

*8. Технологическая подготовка производства.*

Организация и управление ТПП регламентируются государственными стандартами единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП), которая позволяет использовать достижения научно-технического прогресса для эффективной подготовки производства нового изделия [8].

Основными функциями ТПП являются:

- обеспечение технологичности конструкции на стадиях ТПП;
- разработка технологических процессов (ТП);
- проектирование и изготовление средств технологического оснащения;
- организация и управление процессом ТПП, наладка и внедрение спроектированных технологических процессов.

Сокращение трудоемкости и сроков ТПП обеспечивают проводимые в рамках ЕСТПП различные организационно-технологические мероприятия, в частности, технологическую стандартизацию и унификацию, типизацию технологических процессов и групповую обработку, агрегатирование и стандартизацию оборудования, унифика-



цию технологической оснастки, исключение дублирования работ путем организации поиска технологической документации с помощью информационно-поисковых систем, внедрение САПР.

Автоматизация ТПП на предприятии – важный шаг к сокращению затрат на выпуск новых видов изделий. Грамотное использование САПР и других информационных систем и технологий открывает перспективы для сокращения объема рутинной канцелярской работы инженеров-технологов.

В свою очередь, в рамках определения БКМД КТПП в ЕИП, БКМД ТПП состоит из пяти основных компонентов:

- 1) разработки межцеховых технологических маршрутов;
- 2) разработка ТП;
- 3) разработки средств технологического оснащения (СТО);
- 4) разработки управляющих программ (УП);
- 5) выверки, отладки и сдачи ТП.

*Первой стадией ТПП* является разработка межцеховых технологических маршрутов (расцеховок), которые устанавливают последовательность прохождения заготовок, деталей, сборочных единиц по подразделениям. До запуска конструкторской документации (КД) проводится предварительная технологическая проработка КД в PDM-системе. Это позволяет выявить недочеты конструкции и КД на этапе разработки и в дальнейшем уменьшить количество изменений КД.

Расцеховки создаются с использованием специального модуля, который интегрирован с PDM-системой. При создании межцеховых маршрутов используется конструкторский состав изделия и 3D-модель изделия. Технологическая проработка КД в системе PDM дает возможность вести проработку одновременно нескольким технологическим подразделениям, что сокращает срок проработки. В процессе технологической проработки в PDM-системе завершается формирование модели данных, необходимой для разработки ТП в САПР ТП. Результатом данной стадии является получение структурированных данных о том, где и в какой последовательности будет изготавливаться изделие.

*Вторая стадия ТПП* – разработка технологического процесса. В ТП указываются операции, переходы, технологические режимы, исполнители, средства технологического оснащения, нормы затрат материалов и рабочего времени. Электронный ТП создается в PDM-системе с использованием САПР технологической документации. Например, для автоматизированной разработки ТП может использоваться САПР ТП Вертикаль, обеспечивающая выпуск полного

комплекта ТД для различных видов производств (механообработка, сборка, штамповка, гальваника, сварка и др.).

Разработанный таким образом электронный ТП проходит согласование и утверждение в PDM-системе. После утверждения данные из ТП передаются в автоматизированную систему управления предприятием (АСУП) для решения задач внутрицехового и межцехового планирования, заказа специальных средств технологического оснащения (СТО) и заказа материалов, расчета цены изделия и его составляющих.

Глубина проработки ТП позволяет выполнить и технико-экономическое обоснование ТП, выбрать специальное оборудование, установить оптимальные коэффициенты оснащенности, типажа и номенклатуры необходимого специального, универсального и унифицированного оснащения, провести технико-экономическое обоснование выбора и применения оснастки, в том числе и контрольно-измерительного инструмента.

*Третья стадия ТПП* – разработка средств технологического оснащения. При создании СТО на всех этапах используются как технологические, так и конструкторские данные.

Если проектирование технологической оснастки осуществляться, например, в САПР Creo Parametric в комплексе с системой Windchill по методологии нисходящего проектирования, с использованием высоко функциональных инструментов параметрического моделирования, то геометрия электронных моделей деталей и узлов стапеля, созданных со ссылками и привязками на мастер-геометрию СТО, управляется путем изменения мастер-геометрии стапеля [7].

Использование методологии нисходящего проектирования при разработке оснастки позволяет создать ассоциативную связь электронной модели СТО с электронной моделью изделия, что дает возможность осуществлять параллельную и совместную работу конструкторских и технологических подразделений при разработке изделия и оснастки, а также сократить сроки проведения изменений в КД на оснастку при внесении изменений в изделие.

Таким образом, комплексное использование возможностей программного обеспечения позволяет организовать совместную параллельную работу различных технологических служб предприятия на этапе технологической подготовки производства, значительно сократив время выпуска комплекта технологической документации и всего изделия в целом.

Разработанная оснастка проходит согласование и утверждение в PDM-системе, после чего данные об СТО с помощью настроенных

сервисов выгружаются в АСУП для планирования изготовления. После проектирования и изготовления оснастки технические службы цехов-потребителей извещаются о готовности оснастки для ее отладки на местах использования. Данные о полном или частичном изготовлении оснастки автоматически попадают из АСУП в PDM-систему Windchill с помощью специально настроенного сервиса.

*Четвертая стадия ТПП* – разработка управляющих программ. Разработка УП для изготовления деталей на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) может быть выполнена, например, в САПР Creo Parametric под управлением системы Windchill. УП разрабатывается на основе конструкторской 3D-модели, 3D-модели заготовки и разработанного технологического процесса. Для операционного инструмента (фреза, резец, сверло, зенкер и т.д.) разрабатывается 3D-модель инструмента, которая ассоциативно связана с моделью детали и заготовки. При любой модификации модели все ассоциативно связанные с ней операции обработки обновляются. САПР Creo Parametric обеспечивает общее решение задачи расчета траектории инструмента и его ориентации в зависимости от формы обрабатываемой детали, выбранной в САМ-системе стратегии обработки и формы используемого инструмента. Результатом решения этой задачи является формат CLDATA (Cutter Location Data) – набор данных о последовательном положении инструмента и его ориентации, а также другие данные, необходимые для разработки УП. CLDATA контролируется в САМ-системе методами визуализации съема материала и контроля на подрезы ссылочной 3D-модели детали. Для поддержания жизненного цикла УП (разработка, контроль, хранение, внедрение, выдача копий в цеха, изменение и т.д.) необходимо использовать систему PDM. Практика показала, что разработка и контроль УП на основе электронного прототипа (3D-модель детали) сокращает сроки разработки качественного комплекта УП и решает задачи:

- повышения производительности;
- сокращения сроков внедрения новых изделий;
- выпуска продукции со стабильным заданным качеством;
- снижения времени простоя оборудования.

После завершения процесса разработки, контроля и внедрения УП передается для хранения в корпоративный архив предприятия. Передача УП непосредственно на станок с ЧПУ осуществляется по локальной вычислительной сети предприятия, что позволяет обеспечить оборудование с ЧПУ актуальной и достоверной информацией, повысить эффективность использования оборудования.

Пятая стадия ТПП – выверка, отладка и сдача ТП. На данной стадии проводится экспериментальная проверка разработанных ТП, оснастки, оборудования.

По результатам проведенного исследования были зафиксированы основные компоненты БКМД КТПП в ЕИП (рис. 1) с описанием их применения и взаимодействия между собой, что позволяет определить необходимый порядок действий для эффективного внедрения ИПИ-технологий в процессы КТПП.



Рис. 1. Общий вид БКМД КТПП в ЕИП

Внедрение разработанного механизма управления в системе «Центр – конструкторы – технологи» позволит сформировать модуль «Конструкторско-технологическая подготовка», который сможет интегрировать работу конструкторских и технологических отделов через информационное взаимодействие специалистов. Это, в свою очередь, приведет к достижению таких целей, как уменьшение издержек и повышение конкурентоспособности предприятия, обеспечение заданного уровня качества выпускаемой продукции в условиях постоянного совершенствования производственных про-

цессов, сокращение сроков изготовления продукции и применение современных методов стратегического и оперативного планирования, основанных на использовании актуальной информации.

### **Литература**

1. Герасимов Б. Н. Развитие процесса управления операционной политикой предприятия // Вестник Международного института рынка. 2015. № 1. С. 49-58.

2. ГОСТ 2.054-2013. Единая система конструкторской документации. Электронное описание изделия. Общие положения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200115350>.

3. Дровяников В. И., Хаймович И. Н., Чумак В. Г. Математический аппарат для выбора стратегии вуза в конкурентной среде // Научное обозрение. 2012. № 4. С. 388-392.

4. Китаев Д. Ф., Макаров А. А., Макарова Л. В., Смольников С. Д. Информационная система для разработки имитационной модели оценки коллектива // Вестник Международного института рынка. 2016. № 1. С. 190-198.

5. Китаев Д. Ф., Макаров А. А., Смольников С. Д. Анализ имитационной модели оценки эффективности обучения в группе // Вестник Международного института рынка. 2016. № 1. С. 206-210.

6. Ковалькова Е. А., Хаймович И. Н. Автоматизация проектирования документоориентированных процессов конструкторско-технологической подготовки производства // Вестник Международного института рынка. 2016. № 1. С. 199-205.

7. Филатов А. Н. Разработка методов и моделей параллельного нисходящего проектирования ракетно-космической техники в едином информационном пространстве предприятия: дис. ... канд. тех. наук / А. Н. Филатов. Самара, 2014. 163 с.

8. Хаймович И. Н. Применение методологии SADT при моделировании бизнес-процессов технологической подготовки производства машиностроительного предприятия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. № 3. С. 933-939.

9. Хаймович И. Н. Методология организации согласованных механизмов управления процессом конструкторско-технологической подготовки производства на основе информационно-технологических моделей: автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра тех. наук / И. Н. Хаймович. Самара, 2008. 35 с.

*Статья поступила в редакцию 17.02.20 г.  
Рекомендуется к опубликованию членом Экспертного совета  
канд. экон. наук М. М. Васильевым*