

Высшее профессиональное образование

---

БАКАЛАВРИАТ

**А. В. СКВОРЦОВ, А. Г. СХИРТЛАДЗЕ,  
Д. А. ЧМЫРЬ**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ПРОДУКЦИИ**

**УЧЕБНИК**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
по образованию в области автоматизированного  
машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся  
по направлению подготовки  
«Автоматизация технологических процессов и производств»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 681.5(075.8)  
ББК 32.965я73  
С427

Рецензент —

зам. декана факультета информатики СГАУ, доц., канд. техн. наук *О. П. Солдатова*

### **Скворцов А.В.**

С427 Автоматизация управления жизненным циклом продукции : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / А. В. Скворцов, А. Г. Схиртладзе, Д. А. Чмырь. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 320 с. — (Сер. Бакалавриат).  
ISBN 978-5-7695-6848-0

Учебник создан в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» (квалификация «бакалавр»).

Приведено описание информационной поддержки жизненного цикла продукции, ее систем и компонентов. Выявлены взаимосвязи информационных технологий производственного и постпроизводственного типов, системный подход к проектированию единого информационного пространства. Даны принципы построения информационных моделей продукции, базовые сведения о стандарте STEP CALS-технологий и языках представления сведений и моделях продукции класса Express. Показана связь информационных моделей продукции с этапами жизненного цикла. Описаны методы проектирования информационного моделирования на основе нотаций UML и IDEF. Рассмотрены аппаратно-программные средства и системы CALS-технологий, инструментальные средства для реализации унифицированных транзакций обмена данными о продукции на основе теории многоагентных систем, методы управления конфигурацией и функционально-стоимостного анализа продукции.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 681.5(075.8)  
ББК 32.965я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым  
способом без согласия правообладателя запрещается*

© Скворцов А. В., Схиртладзе А. Г., Чмырь Д. А., 2013  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2013  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2013

ISBN 978-5-7695-6848-0

Российская Федерация уверенно вступила в современную интеллектуальную научно-техническую цивилизацию и мировую рыночную экономическую систему инновационного типа. В сфере материальных производств, например машиностроительных, рыночные отношения в условиях жесткой конкуренции предполагают ориентацию на выпуск сложной принципиально новой наукоемкой продукции высокого качества в кратчайшие сроки при минимальных затратах расходуемых ресурсов. Конкурентоспособная продукция обладает свойствами, реализуемыми при использовании самых совершенных (высоких) технологий и автоматизированного оборудования.

Выпуск такой продукции наиболее эффективен в рамках реконфигурируемых распределенных производственных систем (РПС) на основе сетевых взаимодействий и технологий. Информационные компьютерные технологии (ИКТ) получили широчайшее распространение в цивилизованном мире посредством развития сети Интернет. Они составляют неотъемлемую часть поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции (изделий, по терминологии ЕСКД) на протяжении всех стадий их существования. Виртуальные ИКТ обеспечивают пространственное проектирование и конструирование, проведение уникальных по сложности расчетов конструкций с использованием конечно-элементного анализа, подготовку и ведение производства. Возможно автоматическое создание программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ), компьютерное управление производственными процессами (ПП) и многое другое.

Экономическая эффективность создания продукции реализуется в рамках *программно-целевого метода* (ПЦМ) создания продукции и компьютерного *функционально-стоимостного анализа* (ФСА). Совершенствованию данных методов во многом способствовали работы советских и российских ученых, отечественная научно-производственная практика [14, 28].

Необходимость создания продукции высокой сложности и надежности обуславливает развитие спирального проектирования [23], которое значительно отличается от последовательного проектирования. Методология спирального проектирования переносится и в сферы материального производства. Условия рынка определяют *компонентный подход* к созданию продукции на основе компонентов многократного рыночного применения. Важнейшее значение имеют

стандарты серии ГОСТ Р ИСО 9000, относящиеся к системе административного управления (менеджмента) качеством продукции и процессов.

Ускорение темпов внедрения ИКТ промышленного назначения произошло в результате появления концепции технологий CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) компьютерной информационной поддержки жизненного цикла изделий (ИПИ). Базовые принципы CALS, такие как всеобщее управление качеством, постоянный реинжиниринг (улучшение) бизнес-процессов, возможность использования параллельного инжиниринга (проектирования) значительно изменили и усовершенствовали подходы к созданию продукции. Большую роль в этом процессе играет информационное описание состава (структуры) изделий на основе интегрированной информационной среды (ИИС), моделей объектов, производственной среды и процессов. Последние выполняются в унифицированной транскрипции с использованием электронных документов (ЭД), скрепленных кодированными электронными цифровыми подписями (ЭЦП), которым по законодательству РФ придан официальный статус. Необходимо руководствоваться стандартами и языками представления информационных моделей продукции и их связи с этапами ЖЦ изделий. Следует обратить внимание на внедрение принципиально новых стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) ГОСТ 2.051 — 2006, касающегося применения ЭД, ГОСТ 2.053 — 2006, определяющего различные виды электронных структур изделия (ЭСИ). Стандарты соединяют в единое целое отечественную методологию создания изделий ЕСКД и основополагающую систему стандартов CALS/ИПИ-технологий ГОСТ Р ИСО 10303.

Компонентный подход к созданию продукции выражает необходимость учета требований каждого потребителя. Поэтому современная продукция может иметь тысячи возможных конфигураций. Управление конфигурацией продукции (УКП) или изделий (УКИ) на протяжении их полного ЖЦ составляет особую значимую задачу обеспечения качества. Конфигурационный менеджмент основывается на применении комплексов ЭСИ, имеющих весьма сложное и многоуровневое представление. Данное направление методов создания и производства продукции должно получить опережающее научное развитие и промышленное внедрение.

Для установления информационных взаимодействий общего и специализированного типов необходимо наличие локальных (ЛКС), корпоративных, региональных, национальных и глобальных (ГКС) компьютерных сетей при обеспечении возможности обмена информации в гетерогенных средах, построенных на разнородной программно-технической базе. Следует анализировать большой объем сведений о протоколах обмена информацией, методах организации баз данных (БД) и баз знаний (БЗ). Необходимы системный подход к проектированию ИИС и их информационно-программная

интеграция при использовании графического визуального моделирования. Методы проектирования современных ИИС и программного обеспечения (ПО) имеют итерационный характер. Они выполняются на базе объектно-ориентированного программирования (ООП) с использованием классов, коллекций и др.

Применение ИКТ позволяет сократить циклы создания новой техники, сроки технической подготовки производства (ТехПП). В нашей стране широко известны работы Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова, В. В. Павлова [6], И. П. Норенкова [16], Е. В. Судова [10], Н. М. Капустина, П. М. Кузнецова [8], А. Ф. Колчина [34], С. П. Крюкова, С. Д. Бодрунова, Л. Н. Александровской [7]. Быстро развиваются современные компьютерные системы CALS/ИПИ-технологий рыночного исполнения [1, 3, 24].

Практическое воплощение CALS-технологий связано с целесообразностью оснащения предприятий компьютерными программами и сетевыми системами, совершенствования производств. Необходима подготовка кадров высокой квалификации в области проектирования ЭСИ, компьютерного управления ЖЦ, качеством и конфигурацией продукции.

## СИСТЕМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОДУКЦИИ

---

### 1.1. Определения продукции, изделий и их компонентов

Наличие жесткой конкуренции на мировом рынке стимулирует выпуск ориентированной на потребителя сложной наукоемкой высококачественной продукции. Одновременно необходимо обеспечивать достижение экономической эффективности предприятий, соблюдать сроки и контрактные условия продаж, гарантийного обслуживания, поставок запасных частей и т.п. Это предполагает внедрение оптимальных методов создания продукции, использование новых технологий, включение в научно-техническую и экономическую сферы всего интеллектуального потенциала персонала предприятия.

Результатами деятельности любого предприятия являются продукция и услуги, производимые за счет реализации бизнес-процессов. Термины «продукция» и «бизнес-процесс» необходимо рассматривать в наиболее широком смысле. *Продукция* является итоговым результатом деятельности предприятия (обработки, переработки, сборки, проектирования, программирования и т.п.). В данной книге результат деятельности в виде оказания услуг технологического или информационного характера также будет включен в понятие «продукция».

Согласно определению международной ассоциации Workflow Management Coalition (WfMC) под *бизнес-процессом* в рамках определенной организационной структуры с четко описанными ролями и взаимосвязями понимается совокупность процедур и отдельных операций, позволяющих реализовать некоторую бизнес-задачу и обеспечить достижение коммерческой прибыли.

К важнейшим бизнес-процессам предприятия следует отнести производственные и, в частности, технологические (ТП) процессы, процессы конструирования продукции. Их целевыми функциями являются экономические показатели: минимизация себестоимости,

получение прибыли, возврат инвестиций и т. п. К вспомогательным целям можно отнести укрепление позиций в заданных секторах рынка, выход на новые рынки, повышение имиджа фирмы и др.

В информационном смысле согласно Р.50.1.028 — 2001 «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования» под *бизнес-процессом* понимается совокупность операций, преобразующих материалы и (или) информационные потоки в соответствующие потоки с другими свойствами. Однако данное определение не отражает рыночного характера понятия «бизнес-процесс», так как бизнесом (business — дело) в общепринятом понимании считается предпринимательская деятельность, направленная на получение прибыли.

*Продукцией машиностроительного производства* является изделие, которое, согласно ГОСТ 2.101 — 68 ЕСКД, представляет собой предмет или набор предметов, подлежащих изготовлению на предприятии (рис. 1.1). *Деталью* называется изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций. Деталь изготавливается из одного куска материала, который может быть получен, например, методом формовки и спекания. Деталь может быть изготовлена с применением местной сварки, пайки, например коробка, вырезанная из одного листа металла и сваренная по своим углам. Для такого вида изделий согласно ЕСКД выпускаются детализировочные чертежи.

*Сборочная единица* — это изделие или его часть, которая произведена с применением сборочных операций (сочленения, свинчивания, сварки, пайки, склеивания, клепки, сшивки, развальцовки, запрессовки, закладки, укладки и т. п.). Основными конструкторскими документами для сборочных единиц являются сборочные чертежи, чертежи общего вида, схемы и спецификации.

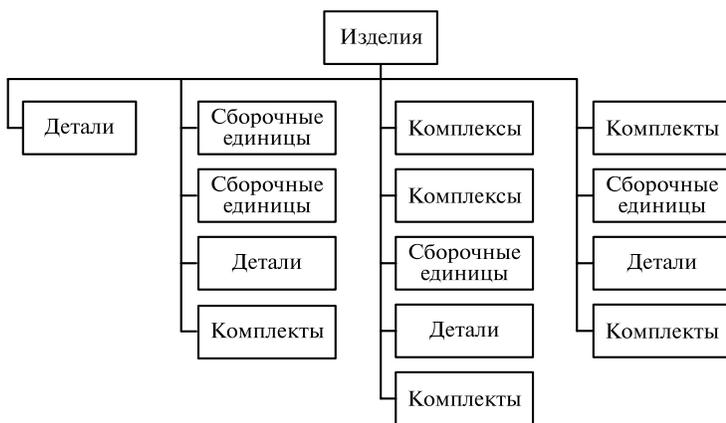


Рис. 1.1. Структура изделия согласно ГОСТ 2.101 — 68

*Комплексом* называется многофункциональное изделие, предназначенное для выполнения взаимосвязных функций, которое не соединяется на предприятии-изготовителе методами сборки, а монтируется на месте своей эксплуатации, поскольку его окончательная сборка или монтаж на заводе-изготовителе невозможна или нецелесообразна. К комплексам относятся металлорежущие станки, буровые, пусковые ракетные установки, прокатные станы, персональные компьютеры (ПК), системные блоки которых снабжены периферийным оборудованием: монитором, клавиатурой, кабелями и т. п. Для комплексов выпускаются чертежи общего вида, монтажные чертежи и схемы, спецификации.

*Комплект* — это изделие в виде набора элементов, не соединенных между собой методами сборки, которое предназначено для выполнения функций вспомогательного характера (комплекты запасных частей, инструментов, приспособлений, измерительных приборов и т. п.). Для комплектов целесообразен выпуск чертежей общего вида и спецификаций.

В современных условиях возрастающее по значимости место занимает создание программной (ПрП) и информационной (ИП) продукции. Программная продукция реализуется в виде логически однозначно выстроенной структурированной совокупности программных кодов, записанных на одном или нескольких конвертируемых между собой языках программирования. Она относится к наиболее сложным и трудоемким видам продукции, имеющим разветвленное построение, для проектирования которых следует применять специальные методы.

К ИП относятся любые совокупности сведений, зафиксированные на одном из видов носителей информации, обеспечивающих их запись, хранение, обработку, передачу, воспроизведение, восприятие человеком или техническим устройством. Наиболее удобна ИП, представленная в виде компьютерных БД и БЗ.

*Базой данных* называется упорядоченная совокупность информации, записанная в цифровой форме и хранящаяся в памяти компьютера. Следует отличать электронные БД от совокупности файловых записей. *Файл* — это поименованная запись, размещенная в определенном порядке, как правило, по алфавиту своих заголовков. Базы данных в отличие от файлов позволяют производить с размещенными данными различные манипуляции: выборки сведений, формирование новых структур информации, группирование и распечатку различных бланков, форм, отчетов, отвечать на запросы. Специальные программы системы управления базами данных (СУБД) позволяют формировать их структуру, осуществлять ввод информации, ее обновление, включать новые блоки сведений, удалять ненужные данные, управлять правами доступа к данным и др.

*Базой знаний* называется упорядоченная и логически структурированная совокупность информации, записанная в цифровой форме

и хранящаяся в памяти компьютера, позволяющая автоматически выполнять целенаправленные действия или операции по обработке информации и (или) управлению техническими системами.

Объемы от реализации ПрП и ИП во всем мире превышают один триллион долларов. Классическим примером этого является компьютерная сеть Интернет, имеющая как материальную компоненту в виде ПК, суперЭВМ (майнфреймов), серверов, сетей и аппаратуры передачи данных, так и значительные по стоимости программную и информационную компоненты.

Тенденции мировой экономики показывают, что в основе эффективности деятельности предприятия, особенно в сфере достижений науки, изобретательства, разработки компьютерных программ и ИП лежит интеллектуальная собственность, обладающая высокой стоимостью. Потребительские свойства новой продукции должны быть конкурентоспособны, т. е. они должны превышать мировой уровень или, по крайней мере, соответствовать ему. Их можно условно охарактеризовать показателем наукоемкости:

$$P_n = C_{e.n} / C_{m.э}, \quad (1.1)$$

где  $C_{e.n}$  — цена единицы выпускаемой продукции, формируемая на открытом рынке;  $C_{m.э}$  — стоимость приобретаемых предприятием материальных элементов (сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих) и энергии, непосредственно затрачиваемых на единицу продукции.

Показатель  $P_n$  по некоторым оценкам для станкостроения и автомобильной промышленности достигает  $10 \dots 10^2$ , для промышленных роботов, авиационной, космической, электронной, атомной техники —  $10^2 \dots 10^3$ , а для компьютерных программ —  $10^4 \dots 10^6$ .

Конкуренция и общее развитие цивилизации стимулируют научно-технический прогресс (НТП) и инвестиционную деятельность в сферу науки и высоких технологий, в результате которых создается значимая интеллектуальная собственность, защищаемая патентами, товарными знаками, лицензиями и т. п.

Таким образом, продукция может быть материальной в виде изделий, интеллектуальной в виде результатов научного, аналитического, технического, технологического, организационно-экономического и других видов творчества, а также в виде услуг различного характера. Она реализуется на открытом рынке или выполняется по заказу государственных и муниципальных органов власти.

Следует различать понятия «продукция» и «экземпляр продукции». *Экземпляр продукции* — это единичный представитель продукции, имеющий код исполнения соответственно действующему на момент выпуска заказу и комплекту технической документации с присвоением ему серийного номера и указания даты выпуска. В производственном смысле под понятием «продукция» понимается все множество исполнений, типоразмеров и реализаций объектов производства (ОП)

в виде партий или серий экземпляров продукции, соответствующих некоторому комплексу технической документации (чертежей, схем, отчетов, совокупности программных кодов и др.). Учитывая непрерывный характер НТП, необходимо осуществлять быстрый переход к серийному и массовому производству постоянно совершенствуемой продукции рыночного исполнения требуемого и стабильного качества с высокой экономической эффективностью.

## 1.2. Основные понятия о жизненном цикле продукции

Ускорение процессов создания изделий, необходимость повышения конкурентоспособности предприятия предполагает отслеживание всего процесса ЖЦ продукции. Это понятие охватывает все стадии информационного представления продукции от выявления потребностей и анализа научно-технических возможностей выпуска продукции наивысшего на данный момент качества до снятия ее с производства, вывода из эксплуатации и утилизации после окончания срока службы. Рыночная деятельность в сфере создания, производства и эксплуатации высокоинтеллектуальной продукции предполагает высокую степень автоматизации процессов переработки огромного объема сопутствующей информации. Внедрение современных ИКТ позволяет получать полную информацию о продукции, оптимизировать ее параметры, работать на рынке в условиях конкуренции.

По определению ГОСТ Р ИСО 9004—1, ЖЦ продукции — это совокупность процессов, выполняемых в течение реального времени от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукции (рис. 1.2). Во временном и функциональном выражении ЖЦ разделяется на *стадии*, а стадии можно условно подразделить на более конкретные составляющие — *этапы*. Регламентированные ГОСТ 2.103—68 ЕСКД стадии разработки проекта можно условно относить к этапам ЖЦ стадии проектирования. В частности, в договорных отношениях используются такие понятия, как этапы работ. При составлении планов-графиков работ могут быть введены подэтапы различного уровня.

Следовательно, ЖЦ представляет собой совокупность стадий и этапов, через которые проходит изделие в течение времени своего существования: научные исследования, разработка технического задания (ТЗ), проектирование и конструирование, технологическая подготовка производства (ТПП), изготовление, испытания и приемка, поставка, эксплуатация и утилизация и др.

Реализация любого достаточно сложного изделия основана на необходимости соблюдения единства требований и концепций, выраже-

ние которых предполагает использование информации значительной емкости. Крупное изделие, например пассажирский самолет, состоит из десятков и даже сотен тысяч компонентов различной природы, каждый из которых требует совершенного (полного и достоверного) информационного описания в технической, производственной и экс-

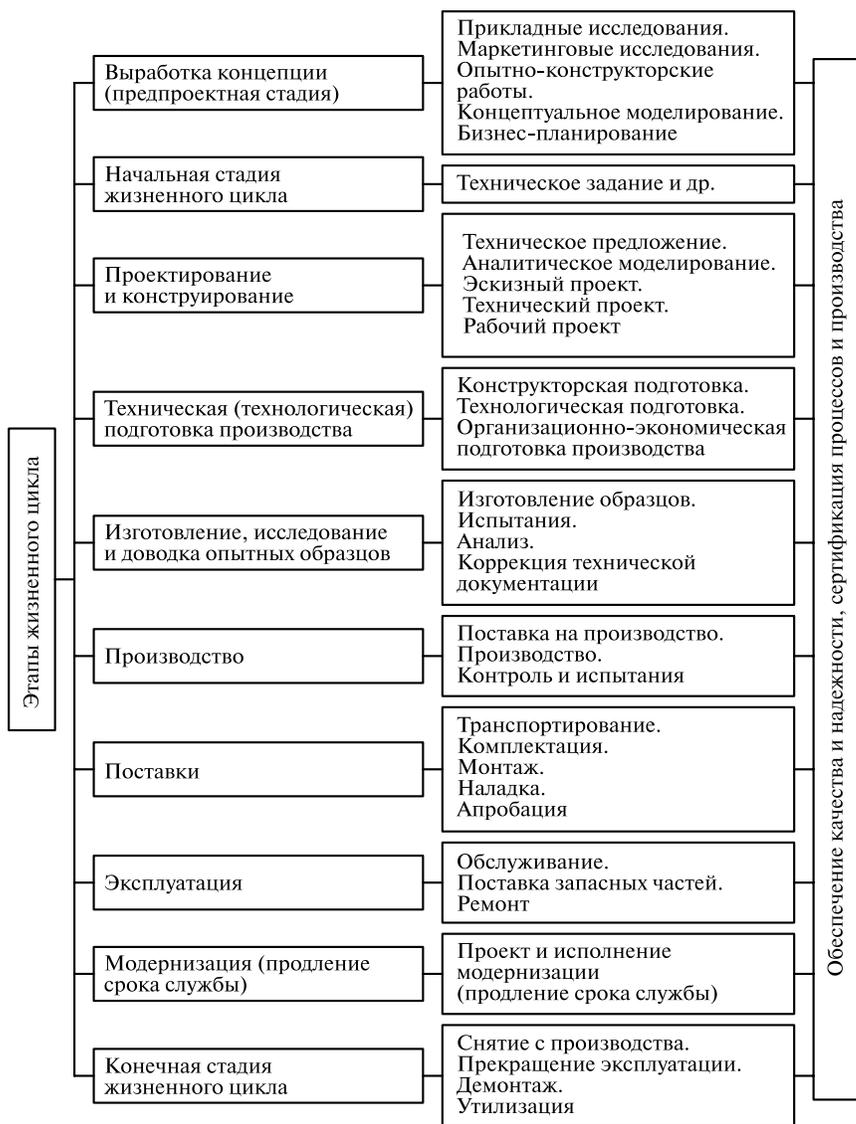


Рис. 1.2. Основные стадии жизненного цикла продукции

платационной документации. Такое изделие для своего минимально достаточного информационного представления требует более чем  $10^{12} \dots 10^{13}$  байт информации. На каждой стадии ЖЦ виртуальное представление об изделии отличается формами, способами и объемами используемой информации.

Такое представление при продвижении ЖЦ от стадии к стадии структурируется, трансформируется, расширяется, объединяется и т.п. Наиболее информационно-емкие стадии приходятся на ТПП и собственно производство. Так, описание технологической операции обработки детали на станке с ЧПУ или иного сложного ТП может занимать сотни килобайт информации. Каждая стадия или этап стадии ЖЦ выражается одной или несколькими структурами моделей информации. Любое нарушение ее полноты и целостности неизбежно приводит к остановке процесса рассматриваемой стадии ЖЦ, к прекращению существования изделия или к переходу его в неработоспособное состояние.

В докомпьютерную эпоху информационные модели реализовывались в бумажной форме в виде графических чертежей, изображений, текстового, математического, символьного и табличного описания. Для этих целей использовались специальные технологии и стандарты представления, архивирования, размножения технической документации, внесения изменений и соблюдения целостности информации, сформированной на бумажных носителях. Это требовало значительной трудоемкости и затрат материальных ресурсов. Нередко целостность информации об изделиях нарушалась при переходе от одной стадии ЖЦ к другой. Использование ИКТ позволяет моделировать продукцию значительно качественнее, полнее и достовернее. Многие трудоемкие формальные операции автоматизируются, используется представление изделия на основе единых моделей. Например, при применении ИКТ формирование технологии и программ обработки на станках с ЧПУ осуществляется автоматически с использованием постпроцессоров на основе конструкторской пространственной 3D модели детали. Передача модели может быть осуществлена абсолютно без искажений в цифровой форме по компьютерным сетям.

В современном понимании обеспечивается информационная поддержка ЖЦ продукции в рамках создания единого информационного пространства (ЕИП), что создает условия для свободного информационного обмена сведениями о продукции. Единое информационное пространство должно создавать условия для выработки, распределения, передачи, обработки, хранения и использования информации по всем необходимым направлениям ее функционального назначения при обеспечении очень высоких степеней надежности и достоверности.

Понятие ЖЦ изделий в зависимости от их сложности (см. рис. 1.2) включает в себя различные стадии, реализуемые адекватными про-

цессами. Для сложного наукоемкого изделия к их числу относятся: выработка концепции (предпроектная стадия), начальная стадия ЖЦ, проектирование и конструирование, ТехПП, включая ТПП. В ряде случаев целесообразно выделить в отдельную стадию изготовления, исследования, испытаний и доводки опытных образцов. Создание маршевого двигателя крупной ракеты требует, например, проведения длительных испытаний и доводочных работ. Причем затраты на такие работы могут превышать 1 млрд долларов. На следующих стадиях осуществляется производство, поставки, эксплуатация, модернизация (продление срока службы), вывод из эксплуатации. При описании ЖЦ используются несколько тысяч государственных, международных и корпоративных стандартов, технических нормалей, ограничителей и т. п.

В зависимости от сложности изделия, его служебного назначения и предъявляемых требований стадии ЖЦ могут объединяться. Возможно исключение некоторых стадий и введение новых. Поэтому разбиение на стадии и этапы ЖЦ продукции достаточно условно. Внедрение современных ИКТ для поддержки ЖЦ продукции позволяет за счет компьютерного моделирования процессов создать конечную продукцию за минимальное количество стадий. Для этого на передовых предприятиях внедряются станки, другое высокоточное и производительное технологическое оборудование с компьютерным управлением. В настоящее время интенсивно задействуется компьютерная техника, графические станции, компьютерные сети и БД значительного объема, развитое ПО.

### **1.3. Стадии и этапы жизненного цикла сложных наукоемких изделий**

Наиболее полно и наглядно этапы ЖЦ можно рассмотреть на примере сложного наукоемкого изделия, например магистрального пассажирского самолета, автомобиля бизнес-класса или образца вооружений и военной техники (ВВТ). Они должны обладать высочайшим уровнем качества и конкурентоспособности, иметь высокие степени надежности и безопасности применительно к условиям эксплуатации в различных климатических и географических условиях. Значительное место при их создании отводится на предпроектную стадию ЖЦ, сопровождающуюся трудоемкими научными исследованиями, моделированием и аналитическими методами анализа. Подобные изделия могут быть созданы крупными корпорациями с централизованным финансированием. Рассмотрение стадий ЖЦ будем осуществлять с использованием нотации бизнес-моделирования ARIS. Модели, созданные в этой среде, наглядны и достаточно просты по своему существу.

На предпроектной стадии, информационная модель которой представлена на рис. 1.3, проводятся различные научно-технические и маркетинговые исследования, которые обеспечивают определение актуальности изделия и пути обеспечения его тактико-технических характеристик. В наиболее общем случае на этой стадии финансируется проведение фундаментальных научно-исследовательских работ (НИР), на базе которых оптимизируются процессы создания принципиально новых изделий. Так, проведение исследований полупроводниковых гетерогенных структур, проведенных под руководством акад. Ж. Алферова, открыло направления развития современной микроэлектроники и создания сверхбольших интегральных схем. Внедрение достижений фундаментальной науки может привести к созданию принципиально новых изделий и даже к возникновению новых отраслей промышленности.

*Фундаментальные НИР* создают научный теоретико-экспериментальный задел создания изделий с наиболее высоким уровнем качества, аналоги которых отсутствуют на рынке. *Поисковые НИР* обеспечивают поиск путей оптимизации и технической реализации результатов фундаментальных исследований в специализированных направлениях. *Прикладные НИР* обеспечивают создание технического и технологического задела для выпуска изделий с заданными потребительскими свойствами. *Опытно-конструкторские работы (ОКР)* служат средством проверки закладываемых в структуру, схему и конструкцию изделия новых технических и технологических решений для получения позитивного результата. Поисковые и прикладные НИР в значительной степени способствуют нахождению экологически чистых технологий на основе применения достижений водородной и солнечной энергетики.

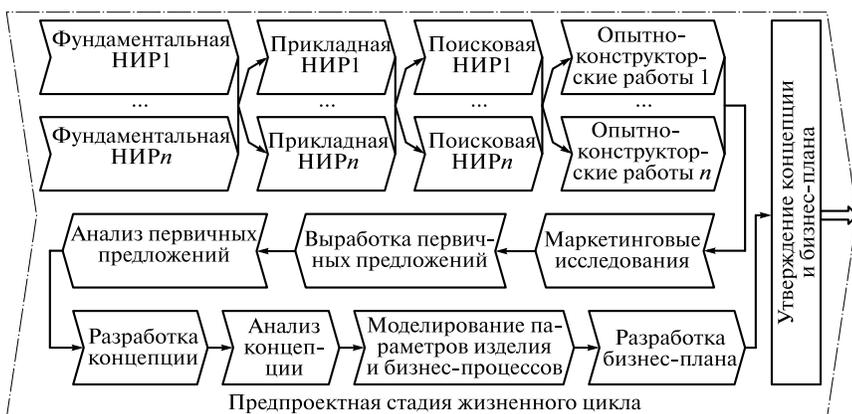


Рис. 1.3. Информационная модель предпроектной стадии жизненного цикла продукции