

П.Ю. Бунаков  
А.В. Стариков  
А.А. Старикова  
В.Н. Харин

# **НОВАЯ ПАРАДИГМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ САПР СЛОЖНОЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ ДЛЯ ПОЗАКАЗНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**



ГОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»  
ГОУ ВПО «Коломенский институт (филиал) Московского  
государственного открытого университета»  
ООО «Базис-Центр»

П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, А.А. Старикова, В.Н. Харин

**НОВАЯ ПАРАДИГМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ САПР  
СЛОЖНОЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ  
ДЛЯ ПОЗАКАЗНОГО  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**



Москва  
Издательство Московского государственного университета леса  
2007

УДК 684.04:004.09

ББК 37.134.1:30.2

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Рыкунин С.Н., заведующий кафедрой технологии лесопиления и деревообработки Московского государственного университета леса;

доктор технических наук, профессор Трушков А.С., главный специалист отдела 122 Конструкторского бюро машиностроения

В монографии представлены результаты исследований по разработке перспективных подходов, методов, моделей и программных средств автоматизации процессов проектирования, визуализации и технологической подготовки производства корпусных мебельных изделий и ансамблей. В ней подробно рассмотрены основные положения концепции безошибочного проектирования и производства в качестве концептуальной базы разработки перспективных комплексных САПР.

Монография предназначена для широкого круга специалистов в области автоматизации конструкторского и технологического проектирования мебельных изделий, аспирантов и студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 250303 – Технология деревообработки, 220301 – Автоматизация технологических процессов и производств и 230105 – Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем.

## Содержание

Список сокращений.....	6
Введение.....	8
Глава 1. Традиционная парадигма проектирования САПР корпусных мебельных изделий.....	14
1.1. Традиционный процесс проектирования корпусной мебели.....	14
1.1.1. Структура традиционного процесса проектирования мебели...	16
1.1.2. Анализ структуры традиционного процесса проектирования мебели.....	18
1.1.3. Особенности традиционной парадигмы автоматизированного проектирования корпусной мебели.....	22
1.2. Системы автоматизации традиционного процесса проектирования корпусной мебели.....	24
1.2.1 САПР «БАЗИС».....	25
1.2.2 САПР «bCAD для Мебельщика».....	28
1.2.3 САПР «КЗ-Мебель».....	31
1.2.4 САПР «Woody».....	33
1.2.5 САПР «3D-Constructor».....	36
1.3. Обобщенная структура САПР корпусной мебели.....	40
1.3.1. Графическая подсистема САПР корпусной мебели.....	41
1.3.2. Подсистема параметрического проектирования корпусной мебели.....	51
1.3.3. Подсистема визуализации объектов проектирования в САПР корпусной мебели.....	59
1.3.4. Подсистема конструкторско-технологической подготовки производства корпусной мебели.....	61
1.3.5. Автоматизация приема заказов на корпусную мебель.....	68
1.3.6. Ограничения традиционной парадигмы проектирования САПР.....	69
Глава 2. Новая парадигма проектирования САПР сложной корпусной мебели для использования в условиях позаказного промышленного производства.....	71
2.1. Позаказное промышленное производство корпусной мебели.....	71
2.1.1. Разновидности организации позаказного производства мебели.	72
2.1.2. Особенности позаказного промышленного производства мебели.....	75

2.2. Автоматизированное проектирование корпусной мебели в условиях позаказного промышленного производства.....	78
2.2.1. Инжиниринг корпусных мебельных изделий.....	84
2.2.2. Автоматизация решения задач инжиниринга изделий корпусной мебели в модуле «БАЗИС-Шкаф».....	89
2.2.3. Реинжиниринг корпусных мебельных изделий.....	95
2.2.4. Автоматизация решения задач реинжиниринга изделий корпусной мебели в системе Armaio.....	99
2.2.5. Автоматизация решения задач реинжиниринга изделий кухонной мебели с помощью программы WinGRAF.....	106
2.3. Система конструкторско-технологических требований и ограничений.....	115
2.4. Объектно-ориентированное проектирование КМИА.....	120
2.5. Сравнительный анализ традиционной и новой парадигм автоматизированного проектирования КМИА.....	128
Глава 3. Концепция безошибочного проектирования и производства корпусных мебельных изделий и ансамблей.....	131
3.1. Информатизация предприятий мебельной промышленности.....	132
3.1.1. Автоматизированные информационные системы и их классификация.....	133
3.1.2. Автоматизация производственно-хозяйственной деятельности мебельных предприятий.....	138
3.1.3. Мебельное предприятие как производительная система.....	141
3.2. Основные положения концепции безошибочного проектирования и производства корпусных мебельных изделий и ансамблей.....	145
3.3. Моделирование информационной инфраструктуры САПР.....	150
3.4. Автоматизация управления информационной инфраструктурой комплексной САПР.....	158
Глава 4. Математическое моделирование высокоуровневого проектирования сложных корпусных мебельных изделий и ансамблей...	171
4.1. Эскизно-структурное и структурно-атрибутивное моделирование объектов проектирования в САПР корпусной мебели.....	172
4.1.1. Эскизно-структурное описание объекта проектирования.....	172
4.1.2. Графо-аналитическое описание объекта проектирования.....	175
4.1.3. Структурно-атрибутивное описание объекта проектирования.....	177
4.2. Структурно-атрибутивное моделирование в системе технологической подготовки производства.....	179
4.2.1. Обобщенная информационная модель объекта и процесса проектирования ТПП.....	183

4.2.2. Закономерности преобразования информации при технологическом проектировании.....	186
4.2.3. Математическая модель оптимизации технологического процесса изготовления КМИА.....	189
Глава 5. Визуализация высокоуровневых представлений корпусных мебельных изделий и ансамблей.....	196
5.1. Понятие геометрического ядра моделирования.....	196
5.1.1. Классификация ядер геометрического моделирования.....	198
5.1.2. Пример организации ядра геометрического моделирования...	200
5.1.3. Стандартные графические библиотеки.....	203
5.1.4. Язык моделирования виртуальной реальности и программные средства его поддержки.....	210
5.2. Внешняя модель высокоуровневого представления КМИА.....	218
5.3. Анимация и интерактивное выделение объектов модели КМИА...	222
5.4. Управление высокоуровневым представлением КМИА.....	225
5.5. Динамическая высокоуровневая модель КМИА.....	228
Глава 6. Особенности организации технологической подготовки производства корпусных мебельных изделий и ансамблей.....	230
6.1. Организационная подготовка позаказного промышленного производства КМИА.....	232
6.2. Методика автоматизации процесса ТПП .....	236
6.3. Обеспечение технологичности конструкции КМИА .....	239
6.4. Задача раскроя материалов.....	245
6.5. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ .....	252
6.6. Выпуск технологической документации.....	257
6.7. Нормирование изготовления изделия.....	260
6.8. Расчет производственных мощностей .....	265
Глава 7. Информационная инфраструктура мебельного предприятия и задача формирования единого информационного пространства в условиях позаказного промышленного производства.....	273
7.1. Общая характеристика информационных потоков позаказного промышленного производства.....	275
7.2. Информационная модель структуры предприятия.....	281
7.3. CALS-технологии – стратегия формирования ЕИП.....	286
7.4. Критерии и принципы информатизации мебельного предприятия.....	291
7.5. Формализация и средства решения задачи формирования ЕИП...	293
Заключение.....	298
Библиографический список.....	302
Предметный указатель.....	316

## Список сокращений

BMS	– Business Management System (система управления бизнес-процессами)
BPR	– Business Process Reengineering (реинжиниринг бизнес-процессов)
CAD	– Computer Aided Design (автоматизированное проектирование)
CAM	– Computer Aided Manufacturing (автоматизированная подготовка производства)
CAE	– Computer Aided Engineering (автоматизированная инженерная разработка)
CASE	– Computer Aided System/Software Engineering (автоматизированная разработка систем)
COM	– Component Object Model (Объектная компонентная модель)
ERP	– Enterprise Resource Planning (планирование ресурсов предприятия)
PDM	– Product Data Management (управление информацией об изделии)
RAD	– Rapid Application Development (быстрая разработка приложений)
UML	– Unified Modeling Language (универсальный язык моделирования)
VRML	– Virtual Reality Modeling Language (язык моделирования виртуальной реальности)
X3D	– eXtensible 3D (расширяемый язык трехмерного моделирования)
АТГР	– автоинтерактивный таблично-графический редактор
АИС	– автоматизированная информационная система
АИТ	– автоматизированная информационная технология
АРМ	– автоматизированное рабочее место
АСУП	– автоматизированная система управления предприятием
АСТПП	– автоматизированная система технологической подготовки производства
БД	– база данных
БИП	– блочно-иерархический подход
БнД	– банк данных
БОПП	– безошибочное проектирование и производство
ГАП	– гибкое автоматизированное производство
ГПВ	– граница производственных возможностей
ГРМ	– генератор рабочей модели проекта

ДБСП	– декоративный бумажно-слоистый пластик
ДВП	– древесноволокнистая плита
ДСтП	– древесностружечная плита
ЕИП	– единое информационное пространство
ЖЦ	– жизненный цикл
ЖЦИ	– жизненный цикл изделия
ИС	– информационная система
ИИС	– интегрированная информационная система (среда)
КИС	– комплексная (корпоративная) информационная система
КИМ	– коэффициент использования материала
КМИА	– корпусное мебельное изделие и/или ансамбль
КПП	– конструкторская подготовка производства
КТПП	– конструкторско-технологическая подготовка производства
КТТО	– конструкторско-технологические требования и ограничения
ЛМС	– локальная мониторинговая система
ЛПК	– лесопромышленный комплекс
ЛПР	– лицо, принимающее решение
МИС	– маркетинговая информационная система
МДФ	– мелкодисперсная фракция (ДВП средней плотности сухого способа производства)
ОБДИ	– общая база данных об изделии
ООП	– объектно-ориентированный подход (проектирование)
ОПП	– организационная подготовка производства
ОСАМ	– объектная структурно-атрибутивная модель
ОТПП	– организационно-технологическая подготовка производства
ПП	– проектная процедура
РБП	– реинжиниринг бизнес-процессов
САПР	– система автоматизированного проектирования
СУ	– система управления
СУБД	– система управления базами данных
ТД	– технологическая документация
ТП	– технологический процесс
ТПП	– технологическая подготовка производства
ГМП	– генератор модели проекта
ГМП	– генератор модели проекта
УП	– управляющая программа
ЧПУ	– числовое программное управление



## Введение

Мебельная промышленность – одна из важнейших подотраслей лесопромышленного комплекса (ЛПК) России, обеспечивающая выпуск жизненно необходимых товаров народного потребления (ТНП). Согласно официальной статистике, в 2000 г. в ее состав входило 5785 предприятий, среди которых 536 (9,3 %) относилось к крупным и средним предприятиям<sup>1</sup> [1]. К началу 2006 г. общее их количество сократилось на 15 единиц и составило соответственно 5770 и 521 предприятие [2].

Все мебельные предприятия в России приватизированы, т.е. являются либо акционерными обществами (открытого или закрытого типа), либо частными фирмами. На них трудятся более 169,1 тыс. человек, что составляет 15,3 % и 31,7 % от всех занятых в ЛПК и деревообрабатывающей промышленности соответственно [3, 4].

По состоянию на конец 2004 г. доля мебельной промышленности в совокупном объеме продукции ЛПК составляла 11,7 %, в стоимостном выражении – около 36,4 млрд руб. В объеме продукции деревообрабатывающей промышленности доля мебели представлена 30,5 %. Доля основных фондов мебельной промышленности в объеме фондов ЛПК и деревообрабатывающей промышленности составляет 8,5 % и 30,6 % соответственно [5].

Основной объем мебели (88,6 %) производится крупными и средними предприятиями. Число работающих на этих предприятиях превышает 107,5 тыс. человек или 63,6 % от всех официально занятых в мебельной промышленности [3]. Наибольшее количество мебели производится в Центральном федеральном округе (45,1 %), далее следуют Приволжский (19,4 %), Северо-Западный (11,2 %), Южный (10,6 %), Уральский (7,5 %), Сибирский (4,2 %) и Дальневосточный (2 %) федеральные округа. Анализ современного состояния отечественного мебельного рынка не выявил существенной динамики в объемах выпуска мебельной продукции. За последнее время отмечено уменьшение производства мебели на 1,5–2 % в СЗФО, в остальных же федеральных округах изменения составляют десятые доли процента, причем как в сторону снижения, так и в сторону увеличения объемов выпускаемой продукции (лишь в ПФО прирост составил около 1,5 %) [6].

---

<sup>1</sup> В России мебельное предприятие считается крупным, если число работающих на нем составляет более 300 человек, средним по масштабу – от 100 до 300 человек, малым – менее 100 человек.

Производство мебели в основном сконцентрировано в относительно небольшом числе субъектов РФ: 10 областей (из 79, в которых производится мебель), Москва и Санкт-Петербург обеспечивают более 60 % от общего объема. К числу «мебельных» регионов относится и Воронежская область, вносящая свой вклад в размере 9,2 % в общий объем мебели, изготавливаемой в Центральном федеральном округе (два года назад он был больше и составлял 12,4 %). Для сравнения отметим, что Московская область и г. Москва дают соответственно 58,0 % и 10,3 % мебельной продукции от общего объема ЦФО. В наименьшей степени производители мебели представлены в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, где имеются мощные деревообрабатывающие предприятия, но крупные центры производства мебели пока не сформировались [4].

Экономико-политические преобразования, начавшиеся в России 15 лет назад и продолжающиеся до сих пор, отразились и на состоянии мебельной промышленности. К началу 1991 г. отечественная мебельная промышленность развивалась высокими темпами, что обеспечивалось постоянно возрастающим спросом на ее продукцию. Этому способствовала общая социальная направленность государственной политики, выражавшаяся, в том числе, и в больших объемах жилья, вводимого в стране ежегодно. Мебель в то время являлась одним из важнейших видов ТНП и относилась к разряду дефицитных товаров (наряду с легковым автотранспортом и сложной бытовой техникой). В подобных условиях производители мебели были озабочены, главным образом, увеличением валовых показателей выпуска продукции, оставляя решение задач совершенствования дизайна и конструкции изделий, расширения ассортиментного ряда и повышения качества изделий на более отдаленное будущее. Однако в последующие годы экономика отрасли претерпела кардинальные изменения, что непосредственно отразилось как на ее состоянии, так и на динамике развития и структуре мебельного рынка России.

В 1991–92 гг. в результате жесткого реформирования советской плановой экономики, получившего название «шоковой терапии», резко изменились внешние факторы функционирования предприятий России. Предприятия, ранее работавшие на дефицитном рынке, были поставлены в условия не просто конкурентного рынка, а в условия мировой конкуренции. При этом промежуточный этап – «конкурентный рынок в национальном масштабе», когда внутренние товаропроизводители защищены государством от внешних конкурентов – был пропущен (идеология так называемого «большого скачка», автором которой считается Е. Гайдар) [7].

В 1991–98 гг. наблюдался резкий спад мебельного производства, происходящий на фоне общего затяжного кризиса российской экономики

(рис. 0.1) [2]. По оценкам специалистов, за это время совокупный объем мебельной продукции, производимой в России, сократился вдвое. Одновременно наблюдалась нарастающая экспансия мебельного импорта из стран ближнего и дальнего зарубежья (Белоруссия, Украина, Польша, Румыния, Словения, Германия, Италия, Испания и др.). Объем импортной мебели, продававшейся в России к 1998 году, составлял около 50 % от общего количества [8].



*Рис. 0.1. Динамика производства мебели в России в 1990-2001 гг.*

В настоящее время Россия занимает 38 место в мире по уровню развития производства мебели, внося в общий объем мировой мебельной продукции всего лишь 0,4 %. Эти данные, предоставленные CSIL Milano – Центром исследований промышленного развития (г. Милан, Италия), свидетельствуют о наличии серьезных проблем в отечественной мебельной отрасли. В их ряду необходимо выделить такие, как низкий уровень оснащения предприятий современным деревообрабатывающим оборудованием, высокая степень износа используемого станочного парка, низкая средняя выработка на одного работающего, возрастающий дефицит квалифицированных рабочих кадров, высокая доля непроизводственных издержек в себестоимости продукции, низкий уровень внедрения и недостаточная эффективность применения проблемно-ориентированных автоматизированных информационных технологий (АИТ).

Современное состояние отечественной мебельной промышленности оценивается многими экспертами как близкое к стагнации. Рост выпуска мебельной продукции, отмеченный в 1999–2000 гг., практически прекратился. Более того, на протяжении последних четырех-пяти лет наблюдается снижение производства мебели (в натуральном выражении) по ряду номенклатурных позиций. За это время цены на мебель выросли в среднем в 1,5–2 раза.

Платежеспособный спрос на мебель в России по-прежнему остается невысоким и составляет около 1,5 млрд долл. США, что объясняется низким уровнем жизни большинства населения (для сравнения – в мире выпускается мебели приблизительно на 200 млрд долл.). Около половины объема продаж на российском мебельном рынке приходится на долю импортной мебели, поток которой постоянно возрастает. Необходимо отметить, что в последние годы в Россию стала поступать относительно недорогая, но достаточно качественная мебельная продукция, т.е. импортеры начали вытеснять с внутреннего рынка отечественных производителей, занимающих на нем ниши с нижним и средним ценовыми уровнями.

Чтобы обеспечить гарантированный сбыт своей продукции многие малые и средние мебельные предприятия переходят полностью, а крупные предприятия – частично, от серийного и массового производства мебели к позаказному. При этом им приходится пересматривать подходы и способы осуществления своей производственно-хозяйственной деятельности и приводить их в соответствии с существующими экономическими условиями или, другими словами, выполнять реинжиниринг бизнес-процессов (РБП) [9].

Англоязычный термин «Business Process Reengineering» (BPR) означает фундаментальное переосмысление и радикальную перестройку бизнес-процессов предприятия с целью улучшения основных показателей его деятельности, таких как стоимость, качество, объем и номенклатура предоставляемых услуг и скорость обслуживания. Квалифицированной разработкой планов РБП и их реализацией занимается ряд российских и зарубежных консалтинговых компаний. Необходимо отметить, что проведение подобных мероприятий требует существенных финансовых затрат, значительная часть которых приходится на внедрение современных автоматизированных информационных технологий [10]. Тем не менее, сегодня все больше руководителей мебельных предприятий приходят к выводу о необходимости вложения денежных средств в РБП и АИТ для получения существенных конкурентных преимуществ в будущем.

В условиях обострившейся конкуренции задача привлечения клиентов может быть решена за счет более полного удовлетворения их потребностей

в современной и качественной мебели, предоставления широкого комплекса гарантийных и послегарантийных услуг, сокращения сроков приема и исполнения заказов, уменьшения числа посредников между предприятием и потребителями его продукции. Чтобы способствовать решению данной задачи предприятия открывают «фирменные» мебельные салоны и создают специализированные дизайнерские студии в качестве «контактных площадок» для встреч с потенциальными клиентами. Подобные места оснащаются современными системами автоматизированного проектирования (САПР) мебели и интерьера, осуществляется переход к полностью электронной форме хранения и передачи проектной и производственной информации, организуется сквозная информационная поддержка реализуемых проектов. Дополнительно могут быть организованы места «виртуального» общения с потенциальными клиентами в виде мебельных Интернет-салонов или Web-порталов предприятий.

Позаказное промышленное производство корпусной мебели сочетает в себе положительные черты индивидуального (единичного) и серийного типов производства. С одной стороны, оно предлагает потребителям обширный ряд моделей мебели, широкий выбор облицовочных материалов, комплектующих и аксессуаров; с другой стороны, – обеспечивает уровень качества, цены и сроки изготовления изделий, соответствующие промышленным критериям.

Позаказное промышленное производство предъявляет повышенные требования к обеспечению сквозной информационной поддержки процессов, составляющих жизненный цикл мебельных изделий, и к управлению информационной инфраструктурой предприятия. При этом особая роль отводится специализированным комплексным системам автоматизированного проектирования (САПР, или CAD/CAM/CAE/PDM-системам) как важнейшим элементам CALS-технологий.

Концептуальная база известных коммерческих САПР мебели не рассчитана на эффективную реализацию решений, удовлетворяющих различным, в ряде случаев противоречивым требованиям позаказного промышленного производства:

- максимальный учет пожеланий клиента и архитектурно-строительных особенностей его жилища в рамках имеющихся технологических возможностей предприятия;
- разработка проекта в короткие сроки с минимизацией числа субъективных ошибок проектирования, а также возможностью их обнаружения и устранения на ранних стадиях (до начала изготовления изделий);

- обеспечение сквозной информационной поддержки процесса изготовления изделий с гарантированно высоким уровнем их качества по приемлемой цене и т.д.

В этой связи представляется актуальной задача формирования, теоретического обоснования и практической реализации новой парадигмы (от греч. *παράδειγμα* – пример, образец) автоматизированного проектирования корпусной мебели для использования в условиях позаказного промышленного производства. В монографии представлены основные результаты, полученные авторами в ходе исследований по разработке перспективных подходов, методов, моделей и программных средств автоматизации процессов проектирования, визуализации и технологической подготовки производства корпусных мебельных изделий и ансамблей (КМИА).

## **ГЛАВА 1**

### **ТРАДИЦИОННАЯ ПАРАДИГМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ САПР КОРПУСНЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Традиционно в России преобладает серийное и массовое производство корпусной мебели, организованное на крупных и средних государственных предприятиях. Индивидуальное производство, при котором мебельные изделия выпускаются в небольших количествах, и обычно их повторный выпуск более не предусматривается, ранее практически отсутствовало. Однако в «перестроечное» время, начиная со второй половины 1980-х гг., появилось достаточное количество так называемых «гаражных» кооперативов, которые при наличии минимума технологического оборудования, а зачастую и профессиональных навыков своих работников, пытались удовлетворить индивидуальные запросы потребителей в корпусной мебели. В условиях тотального товарного дефицита конца 1980-х – начала 1990-х гг. этот вид бизнеса приносил его владельцам устойчивый доход, но вопрос о какой-либо серьезной конкуренции их с промышленными мебельными предприятиями не рассматривался.

Таким образом, традиционным типом отечественного мебельного производства является серийный выпуск продукции, который обладает рядом преимуществ. В частности, организация подобного типа производства проще и дешевле, чем в случае индивидуального (позаказного) производства, и, кроме того, чем больше серия изделий, тем ощутимее выгоды производителя. При этом определенные преимущества имеют также покупатели, поскольку понравившуюся мебель они могут приобрести сразу и по цене, которая, как правило, ниже, чем в случае индивидуального производства.

При организации серийного производства используются такие основные критерии эффективности, как технологичность, экономичность и надежность мебельных конструкций. Соответственно традиционный процесс проектирования корпусной мебели должен быть ориентирован на достижение максимальных показателей для перечисленных критериев.

#### **1.1. Традиционный процесс проектирования корпусной мебели**

Проектирование мебельных изделий имеет свою специфику, обусловленную материально-художественной сущностью объектов проектирования. С одной стороны, предметы мебели являются важнейшими функциональными составляющими оборудования интерьеров жилых, общест-

венных и производственных помещений, призванными обеспечить комфортные условия существования людей. С другой стороны, предметы мебели нередко выполняют определенную эстетическую функцию, выступая в качестве художественного дополнения и украшения помещений, подчеркивающих их архитектурно-строительные и стилевые особенности. В ряде случаев, эстетический компонент превалирует над функциональным назначением предмета мебели, превращая последний в произведение художественно-прикладного искусства.

Ранее проектирование мебельных изделий и их наборов выполнялось по договору предприятий со специализированными проектно-конструкторскими организациями, либо силами своих конструкторских отделов. Однако в начале 1990-х гг., после отказа государства от централизованного управления мебельной промышленностью, на большинстве предприятий вынуждены были решать задачу организации собственной конструкторско-дизайнерской службы. Это обуславливалось тем, что на раннем этапе становления рыночных отношений мебельные предприятия, зажатые в тиски дефицита денежных средств, пытались экономить буквально на всем и, в первую очередь, на финансировании проектных и конструкторских работ. В результате – оставшиеся без финансирования специализированные проектно-конструкторские и технологические бюро (ПКТБ) и институты, существовавшие в рамках крупных мебельных объединений и обслуживающие запросы входящих в них предприятий, либо были перепрофилированы, либо вообще закрылись.

К сожалению, подобная участь постигла и широко известный Всесоюзный (позднее – Всероссийский) проектно-конструкторский и технологический институт мебели (ВПКТИМ), который на протяжении 40 лет был флагманом отечественных мебельных технологий. В стенах ВПКТИМ трудился коллектив из 900 специалистов, среди которых было несколько десятков высококвалифицированных дизайнеров, определяющих направления развития отечественного дизайна и конструирования мебели. Отсутствие надлежащего финансирования и, как следствие, резкое сокращение штата сотрудников, а также последующая продажа комплекса зданий, принадлежащих институту, привели к тому, что в июне 2003 г. ОАО «ВПКТИМ» прекратило свое существование. Тем самым, отечественной мебельной промышленности был нанесен громадный и практически невозполнимый ущерб<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Позднее было создано ЗАО «ВПКТИМ Технолоджи», считающее себя правопреемником известного института, однако его научно-технический потенциал пока еще невелик, а круг решаемых задач достаточно узок.



В настоящее время продукция многих отечественных мебельных предприятий не может конкурировать с импортной мебелью, уступая ей по таким параметрам как дизайн, качество исполнения, надежность. Художественно-конструкторские решения отдельных изделий и наборов мебели в целом не отличаются ни новизной, ни оригинальностью. На большинстве предприятий сохраняется общий характер предложений прошлых лет, а пополнение ассортиментного ряда выполняется путем копирования далеко не лучших зарубежных образцов мебели. В значительной степени это обусловлено отсутствием профессиональных дизайнеров на многих предприятиях [3].

### **1.1.1. Структура традиционного процесса проектирования мебели**

Традиционный процесс проектирования сложных мебельных изделий, требующих художественной проработки, включает следующие четыре стадии (этапа)<sup>3</sup> [11]:

- подготовительную, или функционально-аналитическую;
- художественно-конструкторского предложения;
- художественно-конструкторского проекта;
- реализации художественно-конструкторского решения, или рабочего проектирования.

Подготовительная, или функционально-аналитическая стадия необходима для изучения предварительного задания на проектирование и подробного ознакомления с темой проекта.

Целью изучения задания на проектирование является: уяснение целей, задач, заданных условий, параметров и основных характеристик изделия и среды его функционирования; системный анализ структуры изделия и связей между его компонентами; изучение различных источников информации по теме; знакомство со сроками и разработка сетевых графиков проектирования.

Знакомство с темой проекта осуществляется в ходе предпроектного анализа, который включает: анализ функционирования изделия, его особенности, учет опыта эксплуатации аналогичных изделий; анализ парамет-

---

<sup>3</sup> Некоторые авторы также разделяют процесс проектирования мебели на четыре этапа, используя для них названия, отличные от приведенных выше, а именно [12]: I-й этап – исследовательский, II-й – поисковый, III-й – проектный, IV-й – рабочего проектирования. Содержательно перечисленные этапы идентичны рассматриваемым стадиям проектирования мебельных изделий.

ров для создания оптимальных эргономических условий работы человека; изучение возможных вариантов построения изделия, включая его конструкцию, композицию формы, технико-экономические показатели и другие компоненты.

Стадия художественно-конструкторского предложения направлена на подготовку эскиза изделия и текста пояснительной записки, которые в максимальной степени раскрывают замысел конструктора-дизайнера.

Основой для разработки художественно-конструкторского предложения могут служить: чертежи унифицированных и стандартизированных деталей, включенных в каталог отраслевой системы унификации щитов корпусной мебели; стандарты и технические условия, определяющие функциональные размеры изделий; заранее разработанные части конструкции – модули; выводы и результаты первой аналитической стадии проектирования.

Стадия художественно-конструкторского проекта необходима для развития и углубления художественно-конструкторского предложения, доведения объема проекта до уровня, который определен в задании на проектирование. Здесь сохраняется основной композиционный замысел предыдущей стадии проектирования, но развиваются и уточняются необходимые сведения о деталях изделия.

Основываясь на результатах предыдущей стадии, представляющих объемно-пространственное решение и состав компонентов изделия, окончательно уточняют масштабное решение всех деталей, пропорций, сечений; вводят такие детали, как ребра жесткости и подбирают профили конструктивных опорных элементов; обеспечивают подобие целого и его частей, производят проработку пластики форм, конкретизируют цветовое оформление, наполняют большей информативностью внешнюю форму; ведут макетное моделирование, завершают конструктивные чертежи, составляют пояснительную записку и аннотацию с аргументированным обоснованием принятых решений.

Стадия рабочего проектирования (реализации художественно-конструкторского решения) включает разработку технологических процессов изготовления всех деталей изделия с участием технологов конкретного предприятия, соответствующих его возможностям, предполагаемому объему выпуска изделий; изготовление опытного образца, его испытания и апробацию в эксплуатации; выявление мнения о нем потребителей (например, при показах на выставках); внесение коррективов.

Следует отметить, что в зависимости от вида изделий, некоторые операции могут быть исключены, если, конечно, это не приведет к снижению качества продукции.

### 1.1.2. Анализ структуры традиционного процесса проектирования мебели

Решение задачи анализа процесса проектирования предполагает всестороннее его изучение как составной части общего жизненного цикла (ЖЦ) изделий. При этом в ЖЦ любого промышленного изделия, включая и предметы мебели, можно выделить две существенно различающиеся фазы: внутреннюю и внешнюю. Внутренняя фаза существования изделия определяет ряд процессов ЖЦ (от начала работ по проектированию мебельного изделия до окончания его изготовления и последующей отгрузки заказчику), протекающих внутри предприятия; внешняя – процессы ЖЦ изделия вне предприятия (от момента поставки изделия потребителю и в течение всего фактического срока его использования).

Дальнейший структурный анализ внутренней фазы ЖЦ, содержащей процессы проектирования и изготовления промышленных изделий, включая и сложные мебельные конструкции, позволяет выделить следующие два возможных варианта: проектирование нового изделия и подготовка стандартизованного изделия [13].

Проектирование нового изделия включает в себя следующие этапы:

- **эскизное проектирование** (определение внешних ограничений, выбор вариантов конструкции и методов их реализации, предварительные расчеты, разработка опытного образца и его испытания). Применительно к мебельным изделиям, эскизное проектирование включает в себя стадии: подготовительную (функционально-аналитическую), художественно-конструкторского предложения и художественно-конструкторского проекта;
- **рабочее проектирование** (этап «индустриализации» изделия, состоящий, в частности, из разработки рабочих чертежей изделия);
- **технологическая подготовка производства** (чрезвычайно важный этап, обеспечивающий взаимодействие проектирования и изготовления и требующий тесной связи между проектированием и методами изготовления);
- **изготовление** (разработка производственных графиков, запуск изделия в производство и собственно производство);
- **техническое обслуживание** (гарантийное и послегарантийное обслуживание изготовленного изделия).

Стандартизованное изделие – это такое изделие, которое можно спроектировать на основе уже имеющихся (ранее спроектированных) изделий. Этап эскизного проектирования в данном случае оказывается сокращенным, поскольку исходные данные, необходимые для последующего

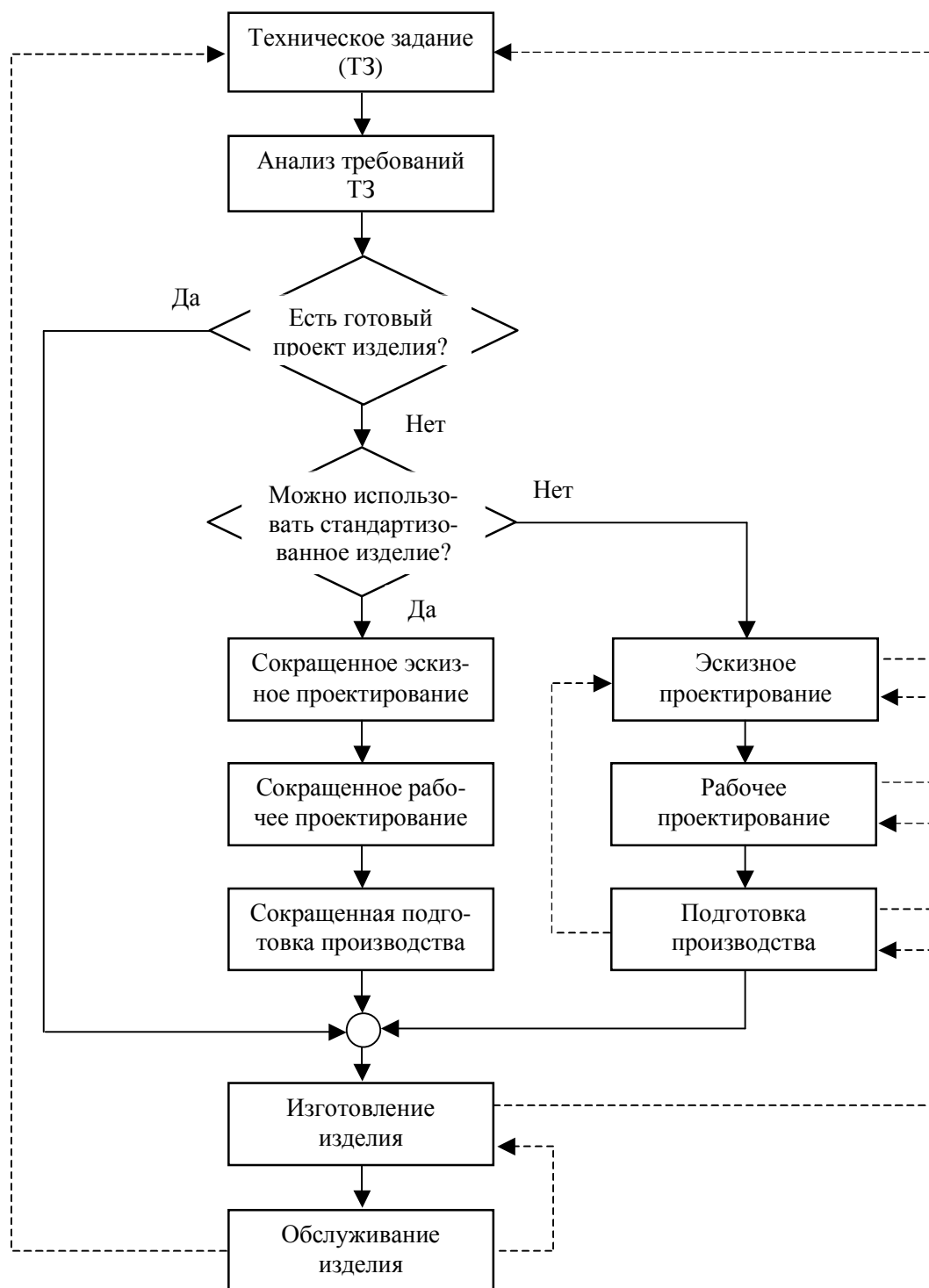
этапа рабочего проектирования, известны, и разработка опытного образца (реального или в виде компьютерной модели) обычно не требуется.

Основным содержанием эскизного проекта является расчет сметной стоимости, основанный на анализе предыдущих проектных решений, для того чтобы из решений, ранее использованных на предприятии, выбрать решение, которое в наибольшей степени соответствует требованиям технического задания.

В общем случае структура процессов проектирования и изготовления промышленного изделия может быть представлена укрупненной схемой, показанной на рис. 1.1. При этом необходимо отметить итерационную природу процесса проектирования нового изделия, обусловленную необходимостью возврата на ранее выполненные этапы (пунктирные линии) – для пересмотра принятых проектных решений в случае невозможности выполнения требований, сформулированных в техническом задании.

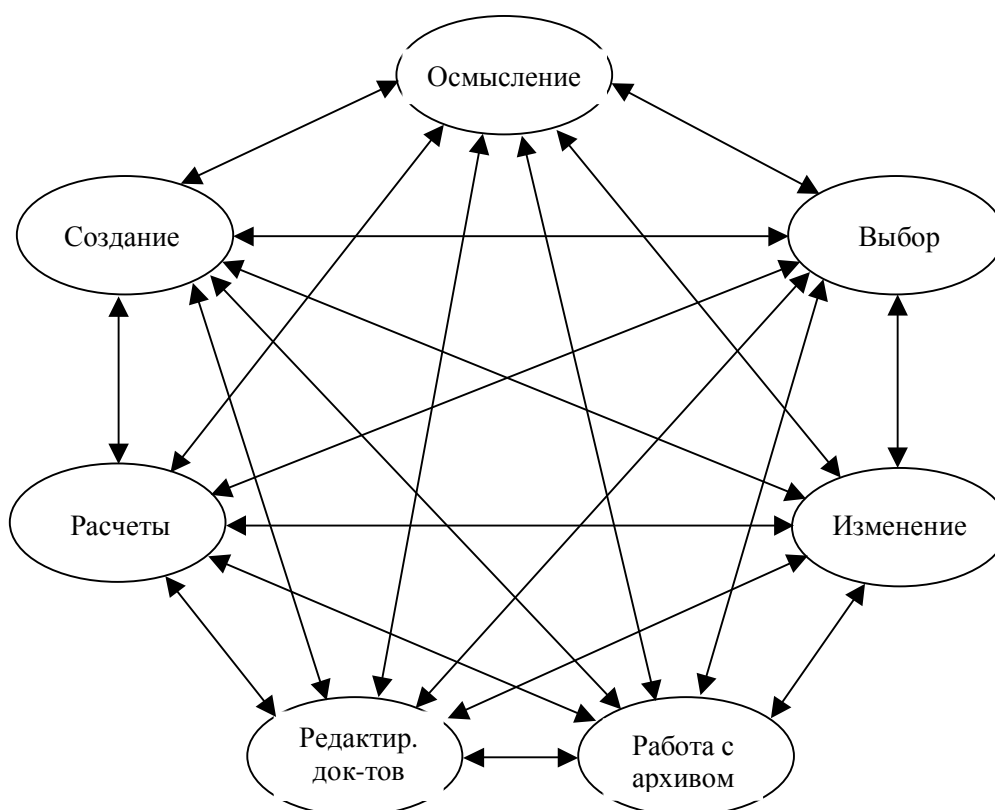
С функциональной точки зрения, проектирование может рассматриваться как совокупность видов проектных действий (групп функций) и отношений между ними и представляться полносвязным графом (рис. 1.2). В общем случае процесс проектирования промышленных изделий включает следующие основные виды деятельности [13]:

- **осмысление**, во время которого формулируются задачи проектирования или сравниваются различные проектные решения;
- **создание** новых изделий или методов решения задачи проектирования;
- **расчеты**, выполняющиеся в процессе моделирования, позволяющего работать с виртуальными прототипами изделий;
- **выбор** среди возможных вариантов решения задачи проектирования на основе имеющихся технических данных (чертежей, расчетов и т.д.);
- **изменения** в существующих объектах проектирования;
- **редактирование документов**, составляющих проектные решения и описывающих объекты проектирования (спецификации, сметы, чертежи и т.д.);
- **работа с архивами**, заключающаяся в поиске уже существующих проектных решений, использовании каталогов комплектующих изделий или ознакомлении с историей видоизменения конкретного изделия.



**Рис. 1.1. Укрупненная структурная схема традиционных процессов проектирования и изготовления промышленного изделия**

Полносвязный граф отражает наличие творческого начала в проектной деятельности. В нем подчеркивается тот факт, что обычно порядок следования видов проектной деятельности жестко не фиксируется, и на практике переход от одного вида деятельности к другому происходит без каких-либо реальных приоритетов. Указанные виды деятельности выполняются на разных этапах процесса проектирования и, соответственно, работают с проектом, характеризуемым различной степенью его детализации (готовности).



*Рис. 1.2. Полносвязный граф видов проектной деятельности*

В то же время, исторически построение большинства коммерческих САПР выполнялось путем последовательной автоматизации различных видов деятельности (функциональных групп) процесса проектирования, т.е. приоритетность решения задач проектирования определялась степенью их насущности в той или иной предметной области. При этом наибольшее распространение получили САПР, в которых обеспечивается единообразный способ использования средств автоматизации для какого-либо вида деятельности на разных этапах процесса проектирования, т.е. реализуют унифицированные проектные процедуры. Для достижения этой цели целе-

сообразно разместить в центре структуры САПР информационное «ядро» – многоуровневую и многоаспектную модель объекта проектирования, с которой взаимодействуют и которую наполняют различные виды деятельности и средства их автоматизации на разных этапах процесса проектирования.

### **1.1.3. Особенности традиционной парадигмы автоматизированного проектирования корпусной мебели**

Современные методики проектирования мебели предполагают тесную взаимосвязь инженерного (конструкторского) и дизайнерского (художественного) проектирования [14–16]. С одной стороны, мебельные изделия должны быть технически совершенными, иметь рациональную и технологичную конструкцию, обеспечивать необходимую прочность, устойчивость, жесткость и долговечность. С другой стороны, мебель, являясь объектом дизайнерской разработки, представляет собой художественно-промышленное изделие. Серийное и массовое производство мебели не исключает дизайнерского проектирования, оно лишь предполагает такое изменение параметров дизайна, когда первостепенное значение приобретает принцип модификации, позволяющий совершенствовать эстетический облик изделия путем изменения его функций, использования новых стилей и обновления декора.

В этой связи целесообразно выделить характерные особенности традиционной парадигмы автоматизированного проектирования корпусной мебели, которые позволят более точно определить границы инженерной (конструкторской) и творческой (дизайнерской) составляющих в общем процессе проектирования.

Современные программные средства автоматизации конструкторско-технологических работ, используемые при разработке новых или модификации существующих мебельных изделий, достаточно жестко регламентируют деятельность конструктора. Это связано с тем, что любая продуктивная работа в среде специализированной САПР мебели предполагает следование определенному технологическому маршруту проектирования. Другими словами, инструментальные средства САПР, представленные программными модулями, образуют информационный конвейер, выходом которого является проект (совокупность проектных решений), необходимый для изготовления и сопровождения разрабатываемого изделия. Несогласованность в форматах данных или в последовательности обработки данных модулями системы обычно приводит к остановке конвейера и сбоям в работе над проектами.

Традиционный маршрут проектирования включает следующие проектные процедуры и операции:

- разработка геометрической модели мебельного изделия (в настоящее время используется, как правило, трехмерное моделирование) и ее визуализация;
- формирование конструкторско-технологической документации, которая включает в себя сборочный чертеж, рабочие чертежи деталей и спецификацию разрабатываемого изделия;
- расчет сметной стоимости изделия и подготовка данных для передачи в программы производственно-аналитического учета;
- разработка технологических процессов изготовления изделия, включая формирование плана (карт) раскроя листовых материалов;
- подготовка данных и управляющих программ для передачи в станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Очередность выполнения указанных процедур маршрута, за исключением первой, может варьироваться, что, однако, не сказывается на общей производительности конвейера проектирования. Таким образом, основополагающей в работе САПР мебели является геометрическая модель проектируемого объекта. При этом необходимо выделить следующие особенности современных коммерческих САПР корпусной мебели:

- 1) Выполнение проектирования на сравнительно низком уровне абстракции, поскольку для формирования геометрической модели требуется задание так называемых исполнительных координат элементов модели. Корректность ввода множества координат трудно проверить и, как следствие, невозможно исключить субъективный фактор и обнаружить ошибки на ранних стадиях конструирования, т.е. до начала изготовления изделия.
- 2) Отсутствие адекватных средств для задания и хранения информации о структурной классификации элементов конструкции проектируемого изделия, за исключением возможности описания мебельных сборок (блоков) – поименованных групп графических объектов, представленных щитовыми элементами (панелями), крепежными элементами и т.д. Это не позволяет выполнить структурно-логический анализ конструкции изделия, т.е. ввести дополнительный уровень в системе контроля качества проектирования.
- 3) Базовым графическим элементом при проектировании корпусного мебельного изделия является листовая панель, представляющая основные конструкционные материалы мебельной промышленности – ДСтП, МДФ, ДВП и другие. При этом многие операции про-



ектирования, реализованные в большинстве специализированных САПР мебели, не «чувствуют» материала панелей, допуская их взаимные наложения, пересечения и иные некорректности, что является потенциальным источником конструкторских ошибок. Отдельные САПР для контроля и исправления подобных ситуаций включают специальные функции, например, операцию удаления дубликатов («bCAD для Мебельщика») или автоматический контроль корректной установки крепежной фурнитуры («БАЗИС»).

- 4) Отсутствие каких-либо формальных средств контроля ошибок при изменении конструкции ранее разработанных изделий, что также не снижает влияние субъективного фактора при выполнении проектирования.

## **1.2. Системы автоматизации традиционного процесса проектирования корпусной мебели**

В настоящее время эффективная разработка проектов сложных корпусных мебельных изделий и ансамблей невозможна без использования современных средств автоматизации проектирования, технологической подготовки производства и управления. Наличие подобных средств является необходимым условием обеспечения высокого качества проектируемых объектов при значительном сокращении затрат времени на выполнение проектирования и количества ошибок субъективного характера.

На всех стадиях традиционного процесса проектирования могут использоваться программные средства, автоматизирующие выполнение проектных работ: графические и текстовые редакторы, универсальные и специализированные системы автоматизированного проектирования, программы фотореалистичной визуализации и другие.

На подготовительной (функционально-аналитической) стадии, которая предполагает анализ и переработку большого объема информации, относящейся к определенной предметной области, можно использовать САПР с элементами поискового конструирования на основе систем управления базами данных (СУБД) универсального типа [17].

На стадии художественно-конструкторского предложения может использоваться поисковая САПР, основанная на СУБД и оснащенная каталогами (библиотеками) унифицированных и стандартизованных деталей и изделий (модулей). Разработка эскизного проекта обычно выполняется с использованием многофункционального графического редактора и/или специализированной САПР, ориентированной на подготовку конструкторско-чертежной документации.

На стадии художественно-конструкторского проекта предполагается использование конструкторской САПР, оснащенной средствами высококачественной трехмерной визуализации проектов КМИА.

На стадии рабочего проектирования может использоваться конструкторская САПР, оснащенная специализированными модулями для аналитических расчетов прочности, устойчивости, жесткости конструкции, а также автоматизированная система технологической подготовки производства КМИА.

Современные конструкторские САПР предоставляют широкие возможности для геометрического моделирования разрабатываемых изделий и составляющих их деталей. При этом большинство САПР машиностроения можно адаптировать для решения задач конструирования мебели. Описан положительный опыт использования подобных САПР для проектирования изделий корпусной мебели (например, AutoCAD [18], Mechanical Desktop [19, 20], Caddy [21], T-Flex CAD [22, 23]). Однако наиболее эффективно эти задачи решаются с помощью специализированных САПР, учитывающих особенности конструирования и производства сложных корпусных мебельных изделий и ансамблей на их основе.

В настоящее время на российском рынке специализированного программного обеспечения, предназначенного для автоматизации проектирования корпусной мебели, доминируют отечественные САПР мебели. Среди них наибольшую известность получили следующие три системы [24]: БАЗИС (ООО «Базис-Центр», г. Коломна), bCAD для Мебельщика (ЗАО «ПроПро Группа», г. Новосибирск) и КЗ-Мебель (НВЦ «ГеоС», г. Нижний Новгород). Следует также отметить две украинские разработки, получившие достаточно широкое распространение [25]: Woody (ООО «ИнтеАр Лтд», г. Киев) и 3D-Constructor (ООО «Электрон Софт», г. Одесса). Ниже каждая из указанных систем рассмотрена более подробно.

### 1.2.1. САПР «БАЗИС»

ООО «Базис-Центр» ([www.bazisoft.ru](http://www.bazisoft.ru)) предлагает производителям корпусной мебели «БАЗИС» – комплексную систему автоматизации конструкторско-технологических работ на мебельном предприятии, имеющую настраиваемую модульную структуру. В ее стандартный состав входят следующие программные модули [26]:

**БАЗИС-Мебельщик** – базовый модуль системы, фактически представляющий графический редактор «БАЗИС-Конструктор», функции которого расширены применительно к проектированию корпусной мебели;

**БАЗИС-Шкаф** – модуль параметрического проектирования мебельных изделий, конструктивными прототипами которых являются прямоугольные и угловые шкафы;

**БАЗИС-Смета** – модуль расчета сметной стоимости изделия с учетом материальных, трудовых и финансовых затрат на его изготовление;

**БАЗИС-Раскрой** – модуль формирования плана раскроя листовых и погонных материалов с возможностью его оптимизации по ряду критериев;

**3D-визуализация** – модуль для получения трехмерного изображения моделей мебельных изделий, созданных с помощью модулей «БАЗИС-Мебельщик» и «БАЗИС-Шкаф»;

**БАЗИС-Салон** – модуль для автоматизации моделирования интерьеров помещений и оформления заказов на изготовление корпусной мебели, предназначенный для использования в мебельных салонах (магазинах);

**БАЗИС-Склад** – модуль для автоматизации работы иерархически организованных материальных складов мебельного производства, включая ведение оперативного складского учета, поддержку приходно-расходных операций и т.д.;

**БАЗИС-ЧПУ** – модуль для автоматизированной подготовки и передачи информации о деталях изделия в управляющую программу станка с ЧПУ. В настоящее время модуль поддерживает форматы данных управляющих программ для фрезерно-присадочных станков с ЧПУ производства HOMAG Group (под управлением WoodWOP 4.5), BIESSE Group (под управлением NC500 и NC1000) и IMA (под управлением ImaWop 4.0).

Процесс разработки геометрической модели сложного корпусного мебельного изделия в среде САПР «БАЗИС» можно осуществить двумя способами, воспользовавшись [27, 28]:

- специализированными «мебельными» и универсальными графическими инструментами, представленными в модуле «БАЗИС-Мебельщик» – для выполнения полного цикла разработки модели;
- средствами модуля «БАЗИС-Шкаф» – для быстрой подготовки прототипной модели изделия, а затем, при необходимости, инструментами модуля «БАЗИС-Мебельщик» с целью окончательной доработки модели.

После подготовки геометрической модели корпусного мебельного изделия можно рассчитать сметную стоимость его изготовления, воспользовавшись модулем «БАЗИС-Смета». Данный модуль позволяет также рассчитать суммарную стоимость нескольких мебельных изделий, включенных в проект (заказ), при этом учитывается так называемый коэффициент серийности.

После расчета стоимости изделия можно сформировать оптимальные карты раскроя листовых материалов (ДСтП, ДВП, ДБСП, фанера и т.д.), воспользовавшись модулем «БАЗИС-Раскрой». С помощью этого же модуля можно получить план раскроя погонных материалов.

Таким образом, рассмотренные выше проектные процедуры, выполняемые с помощью основных модулей системы, реализуют процесс проектирования, ориентированный на традиционную производственную парадигму, в рамках которой осуществляется серийный или индивидуальный выпуск мебели.

Дополнительный модуль «БАЗИС-Салон», разработанный сравнительно недавно – в конце 2005 г., предназначен для автоматизации процедуры приема заказов на корпусную мебель, изготавливаемую в рамках традиционной производственной парадигмы. Он состоит из трех функционально различных компонентов:

- блок формирования прайс-листов (электронных каталогов) мебельных изделий с группировкой их по функциональному, конструктивному или иным признакам (например, по принадлежности к фирме-изготовителю);
- блок моделирования оборудованного интерьера помещения, позволяющий построить виртуальное помещение, достаточно точно передающее архитектурно-строительные особенности реального помещения, и произвести в нем расстановку моделей мебельных изделий;
- блок формирования производственного задания для передачи его в производство без выполнения каких-либо дополнительных действий по обработке заказа.

Данный модуль позволяет привлечь заказчика к участию в разработке дизайнерского проекта. Используя заранее сформированные прайс-листы, дизайнер совместно с заказчиком формирует виртуальный интерьер помещения, заполняя его наиболее подходящими моделями корпусной мебели и комплектующих изделий (такими, например, как чаша мойки, вытяжной шкаф, газовая или электрическая плита и т.п.). В любой момент работы над проектом можно получить общую стоимость заказа, соизмеряя, таким образом, пожелания заказчика с его финансовыми возможностями. По завершении работы над проектом интерьера автоматически формируется информация для передачи в производство или на отгрузку готовых изделий со склада.

В то же время, следует отметить, что возможности модуля «Базис-Салон» по-прежнему не позволяют выйти за рамки традиционной парадигмы проектирования корпусной мебели для серийного производства. При

работе с заказчиком все модели мебельных изделий должны быть полностью подготовлены (определены) и включены в прайс-листы. Произвольное изменение геометрических характеристик изделий (в частности габаритных размеров) на данном этапе исключается, возможна лишь замена облицовки и декоративной фурнитуры (ручки дверей и выдвижных ящиков, опоры напольных изделий и т.п.). Это является существенным ограничением при организации позаказного промышленного производства корпусной мебели.

### 1.2.2. САПР «bCAD для Мебельщика»

ЗАО «ПроПро Группа» ([www.propro.ru](http://www.propro.ru)) предлагает мебельным предприятиям программный пакет «bCAD для Мебельщика», предназначенный для автоматизации проектирования и конструкторско-технологической подготовки производства корпусной мебели. В основе данного пакета лежит универсальная графическая система bCAD, обеспечивающая широкие возможности для выполнения двумерного черчения, трехмерного моделирования и фотореалистичной визуализации объектов высокой сложности [29].

Одной из особенностей графической системы bCAD, отличающей ее от других систем подобного класса, является открытость. Она заключается в том, что в распоряжение пользователя предоставляется так называемый интерфейс прикладного программирования bAPI (bCAD Application Programming Interface), позволяющий выполнять разработку собственных приложений на языке Java, обеспечивая доступ к внутренним функциям и структурам данных системы bCAD [30].

Программный пакет «bCAD для Мебельщика» представляет собой расширяемый набор мебельных приложений (инструментов), написанных на языке Java и реализующих специализированные команды, предназначенные для ускорения и облегчения конструирования корпусной мебели. Практически все мебельные приложения пакета «bCAD для Мебельщика» обеспечивают вывод на экран диалоговых окон различной сложности как простых, так и состоящих из нескольких страниц с закладками. Средства управления, представленные в диалоговых окнах (кнопки, поля ввода, комбинированные списки и др.), позволяют осуществить выбор и задать необходимые параметры создаваемого или редактируемого элемента конструкции изделия [31].

Конструирование корпусной мебели выполняется путем компоновки моделей деталей и элементов фурнитуры в пространстве модели изделия. Для создания модели детали необходимо выбрать соответствующее ме-

бельное приложение: «Прямоугольная панель», «Фигурная панель», «Гнутая панель» или «Деталь из профиля». По окончании ввода всех необходимых параметров создаваемой детали ее «фантомный» образ (мерцающее изображение) появляется в окне редактирования bCAD. После этого требуется лишь правильно расположить его, «привязав» к соответствующему месту (точке) в пространстве модели изделия. Подобная операция может выполняться как в изометрической проекции, так и с использованием любой, наиболее подходящей для данного конкретного случая, проекции: фронтальной, горизонтальной или боковой.

Для изменения параметров детали, уже включенной в состав модели мебельного изделия, необходимо запустить приложение «Изменить деталь», а затем указать в окне редактируемую деталь. После этого будет открыто соответствующее диалоговое окно, содержащее набор параметров для каждого из типов деталей: прямоугольной, фигурной, гнутой или профилированной. Изменение параметров, представленных в полях ввода, фактически приводит к изменению параметров детали сразу после закрытия диалогового окна, что будет отображено в окне редактирования.

Наиболее сложный, многошаговый диалог, использующийся для создания конструкции мебельного изделия, реализован в приложении «Мастер шкафа-тумбы». Это приложение обеспечивает параметрический способ для быстрого формирования модели типового изделия, конструктивно подобного шкафу, с возможностью возврата на предыдущие шаги с целью изменения введенных параметров, т.е. фактически для внесения тех или иных изменений в конструкцию изделия [32].

Параметры, заданные в каждом диалоговом окне, контролируются данным приложением с целью предотвращения различных конструктивных ошибок. Наиболее типичными ошибками являются пересечение различных элементов конструкции (например, полки и ребра жесткости, введенного для усиления задней стенки шкафа).

Поскольку полный визуальный контроль создаваемой конструкции невозможен до окончания работы приложения, в нем предусмотрена возможность предварительного просмотра эскиза изделия. В отдельном диалоговом окне отображается фронтальное представление разрабатываемой модели, в котором выделены цветом наиболее важные детали конструкции: вертикальные и горизонтальные стенки, перегородки, полки, выдвижные ящики и т.п. Дверцы изделия на данном эскизе не отображаются.

Приложение «Мастер шкафа-тумбы» имеет ограниченный набор конструктивных решений. Построенную с его помощью конструкцию можно затем модифицировать, используя универсальные графические инструменты bCAD. При этом внесенные в модель изменения не отражаются

в исходном описании изделия, сформированном самим приложением «Мастер шкафа-тумбы». Таким образом, данное приложение можно использовать для быстрой подготовки прототипной модели изделия корпусной мебели с целью последующей ее «доводки» в графической системе bCAD.

В конце 2005 г. выпущены очередная редакция САПР «bCAD для Мебельщика» (версии 3.9) и новое приложение «bCAD Салон». Наиболее существенное усовершенствование, представленное в новой редакции, – приложение «Мастер расстановки крепежа и комплектующих». Данное приложение позволяет упростить и ускорить произвольную расстановку элементов крепежной и декоративной фурнитуры вдоль торцов и пластей панелей, автоматически установить детали с заданным шагом относительно выбранной базы. Его использование особенно удобно при проектировании сложных мебельных конструкций, не позволяющих прибегнуть к функции автоматической расстановки фурнитуры (например, при работе с панелями, расположенными под различными углами друг к другу).

Приложение «bCAD Салон» предназначено для разработки проекта интерьера помещения с использованием моделей изделий, предварительно подготовленных в САПР «bCAD для Мебельщика», расчета стоимости и оформления документов, подтверждающих прием заказа. Вначале создается виртуальное помещение, которое предполагается меблировать, затем в нем выполняется расстановка моделей мебели, выбираемых из электронного каталога. Визуализация проекта интерьера обеспечивается в окне просмотра, при этом предлагаются различные методы тонирования изображения: трассировка лучей, Гуро, Фонга, плоскостная.

Таким образом, проектные процедуры, реализуемые с помощью специальных «мебельных» приложений системы bCAD, ориентированы на традиционный процесс проектирования, в рамках которого осуществляется конструкторско-технологическая подготовка серийного производства корпусной мебели. Новое приложение «bCAD Салон», обладая хорошими возможностями визуализации проектов, обеспечивает стандартные функции, автоматизирующие работу в мебельном салоне: расчет стоимости заказа, подготовка комплекта документов для заказчика (заявка с эскизом интерьера, накладная с перечнем изделий в заказе, счет-фактура и т.п.), формирование информации для производства и на склад готовой продукции. Изменение геометрических свойств мебельных изделий в нем не предусмотрено, т.е. основные требования, предъявляемые позаказным промышленным производством к процессу автоматизированного проектирования, не выполняются.

### 1.2.3. САПР «КЗ-Мебель»

Научно-внедренческий центр «ГеоС» ([www.geos.nnov.ru](http://www.geos.nnov.ru)), в настоящее время – группа компаний «ГеоС», предлагает мебельным предприятиям программные комплексы «КЗ-Мебель» и «КЗ-Мебельное предприятие», позволяющие автоматизировать процессы проектирования, подготовки производства и продажи корпусной мебели, связав все их стадии в единую технологическую и информационную цепочку [33].

Программные комплексы «КЗ-Мебель» и «КЗ-Мебельное предприятие» используют общее геометрическое ядро – графическую систему «КЗ-Дизайн», но различаются структурной организацией баз данных, т.е. связями модулей в составе комплексов и возможностями информационного наполнения создаваемых ими геометрических моделей.

Программный комплекс «КЗ-Мебель» имеет два структурно различных варианта:

**КЗ-Салон мебели**, предназначенный для автоматизации продажи стандартной мебели всех типов: корпусной, офисной, кухонной, мягкой, а также приема заказов на нестандартную мебель (с помощью использования библиотек параметрических моделей для различных видов мебели);

**КЗ-Мебель ПКМ**, предназначенный для автоматизации приема индивидуальных заказов на проектирование и изготовление корпусной мебели, включая кухонную мебель и шкафы-купе; он позволяет использовать как существующие библиотеки прототипных моделей, так и разрабатывать новые образцы мебели.

Комплекс «КЗ-Мебельное предприятие» представляет собой набор взаимосвязанных функциональных модулей, объединенных общей программной оболочкой. Главное назначение данного комплекса – обеспечение базовых условий для создания единой информационной цепочки, звеньями которой являются: мебельные салоны, головной офис предприятия, планово-диспетчерская служба, конструкторско-технологическая группа, производственные подразделения.

С помощью программных комплексов «КЗ-Мебель» и «КЗ-Мебельное предприятие» обеспечивается автоматизированное решение следующих задач [34]:

**Предварительная подготовка производства:**

- разработка моделей новых образцов мебели;
- подготовка электронных каталогов-библиотек предлагаемых образцов мебели;



- конструкторско-технологическая подготовка серийного и индивидуального мебельного производства;
- компьютерная подготовка рекламно-презентационных материалов (в том числе и для размещения в сети Internet).

#### **Прием заказов и продажа мебели:**

- расстановка моделей мебели в виртуальном интерьере помещения заказчика;
- подбор вариантов отделки мебели и окончательный дизайн интерьера помещения заказчика;
- компьютерный прием и оформление заказа, ведение базы данных заказов;
- оформление документов для заказчика, включая печать эскиза интерьера помещения с проставленными размерами;
- передача заказа в производство в электронном виде;
- подготовка ценовых каталогов (прайс-листов) выпускаемой мебельной продукции.

#### **Подготовка и изготовление заказа:**

- обработка поступивших на предприятие заказов и ведение базы данных заказов, находящихся в производстве;
- подготовка производственных документов: чертежей, спецификаций, заказов-нарядов и т.д.;
- расчет расхода материалов и комплектующих изделий, подготовка складских документов;
- подготовка схем раскроя листовых и погонных материалов;
- подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ;
- расчет трудозатрат и себестоимости изготовления изделия.

В целом САПР «КЗ-Мебель» производит впечатление функционально полной системы, удовлетворяющей потребности как серийного, так индивидуального производства. Однако при анализе САПР «КЗ-Мебель» на соответствие критериям, выдвигаемым позаказным промышленным производством, выяснилось следующее. Чтобы обеспечить важное свойство параметризации модели мебельного изделия, необходимо запрограммировать модель, заложив в нее способности к изменению габаритных размеров и осуществлению контроля этих изменений, т.е. прибегнуть к собственному макроязыку системы. Квалифицированное выполнение подобных действий требует постоянного привлечения к работе в мебельном салоне опытного программиста. Подобную ситуацию нельзя признать удовлетворительной. Это указывает на наличие целого ряда недостаточно проработанных вопросов, связанных с попытками учета особенностей позаказного проектирова-

ния корпусной мебели в рамках традиционной производственной парадигмы.

#### 1.2.4. САПР «Woody»

ООО «ИнтеАр Лтд» ([www.intear.com.ua](http://www.intear.com.ua)) предлагает мебельным предприятиям программный комплекс для автоматизированного конструирования корпусной мебели, формирования оптимального плана раскроя листовых и кромочных материалов, проектирования интерьеров помещений. В состав комплекса входят следующие программы:

- **Woody** – конструирование корпусной мебели и шкафов-купе, подготовка параметрических моделей мебельных изделий для программы проектирования интерьеров Salon+3D, формирование конструкторской документации [35];
- **Sawyer** – формирование оптимального плана раскроя листовых и кромочных материалов, ведение складского учета материалов [36];
- **Salon+3D** – проектирование интерьера помещения, расчет стоимости заказа и подготовка его спецификации, формирование электронных каталогов изделий для использования в мебельном салоне [37].

Программа Woody позволяет выполнять трехмерное моделирование мебели, обеспечивая контроль зазоров деталей в модели изделия и заданных габаритов изделия, наклон деталей на произвольный угол и автоматический подбор фурнитуры в зависимости от угла между сопрягаемыми деталями (угловые петли, шарнирные эксцентриковые стяжки и т.п.). Для деталей, соединяемых под произвольным углом, разрешается назначать различные схемы сопряжения и параметры подрезки одной детали по торцу или по пласти другой. При редактировании изделия схема соединения и угол подрезки автоматически корректируется в соответствии с новым расположением деталей в пространстве модели.

Для проектирования мебельных изделий в программе Woody используются специальные модули, называемые мастерами.

**Мастер деталей** – геометрическое моделирование мебельных деталей, включая выполнение операций скругления с заданным радиусом и наложения фасок для углов, а также параметрическое построение криволинейных контуров деталей и другие. При этом построения, выполненные данными графическими операциями, ведут себя аналогично тем, что созданы путем параметризации (например, при изменении габаритных размеров детали размеры фасок и радиусы скруглений сохраняются).

Используемая технология ассоциативной связи чертежей с деталью в трехмерной модели позволяет изменять форму детали как графически, так и аналитически, задавая числовые значения для ее размеров и координат точек сопряжения. Кроме того, все изменения, внесенные в чертежи вручную, сохраняются при автоматической регенерации чертежей, выполняемых программой при редактировании трехмерной модели.

**Мастер сборки** – иллюстрирование этапов сборки проектируемых изделий с размещением чертежа для каждого из этапов на отдельном листе, снабженном рамкой и основной надписью выбранного формата и включаемом в комплект конструкторской документации.

**Мастер чертежей** – построение произвольных контуров деталей и отверстий и нанесение их стандартных обозначений на чертежи. Создание контура производится непосредственно на чертеже детали, при этом средства редактирования позволяют вставлять и удалять точки контура детали, преобразовывать линии в различные типы кривых и ломаных, представлять кривые Безье с помощью последовательности дуг окружностей с заданной точностью, использовать различные наборы параметрических кривых и т.д.

**Мастер ящиков** – моделирование выдвижных ящиков путем заполнения соответствующими параметрами полей экранных форм. Это позволяет пользователю создавать собственные конструктивные схемы выдвижных ящиков без программирования, поскольку в ходе данной процедуры автоматически генерируется программа на языке JavaScript, а созданный тип ящика помещается в библиотеку стандартных конструкций.

**Мастер сцены** – размещение в пространстве проекта произвольных трехмерных моделей объектов, импортируемых из других графических программ в известных форматах (например, формат 3DS программы 3D Studio Max). Это позволяет моделировать помещения, в которых выполняется расстановка мебели, а также элементы мебельного декора и аксессуаров.

В версии 2.0 программы Woody поддерживается иерархическое представление проекта. В состав проекта включается множество мебельных изделий, модели которых можно поворачивать, переносить, удалять, добавлять, копировать и компоновать друг с другом. Таким образом, конструктор может формировать модель сложного мебельного гарнитура из заранее подготовленных моделей отдельных корпусов.

Компонуя модели корпусных изделий в пространстве сцены, можно корректировать их габаритные размеры, что незамедлительно приводит к автоматическому изменению всей конструкции, т.е. к перестроению размеров деталей, позиций креплений и фурнитуры, рабочих чертежей. При этом

можно получить техническую документацию как по гарнитуру в целом, так и по каждому отдельному изделию, входящему в его состав.

Программа Sawyer позволяет формировать план оптимального раскроя листовых и кромочных материалов, а также осуществлять ряд функций складского учета. Основными возможностями программы являются:

Управление процессом раскроя (учет ориентации текстуры для раскраиваемых заготовок; регулировка параметров раскроя; «ручное» редактирование карт раскроя; формирование задания на раскрой на основе информации об изделиях, представленных в проекте).

Управление складом и учет материалов (ведение учета материалов в произвольных единицах измерения; учет деловых остатков, целых заготовок, кромочных и облицовочных материалов; автоматическое формирование накладных; автоматический контроль и определение дефицитных материалов заказа; подведение складского баланса на любую указанную дату).

Формирование спецификаций, расчет затрат и стоимости (генерация спецификаций взятых со склада заготовок и материалов, возвращаемых на склад остатков, деталей в заказе, изделий в заказе, не раскроенных деталей, раскроенных деталей; вычисление затрат материалов по заказу; расчет стоимости с использованием любой денежной единицы).

Настройка и автоматизация работы, интеграция с другими программами (настройка внешнего вида чертежей, содержащих карты раскроя; экспорт спецификаций в формате HTML; формирование базы данных в формате Microsoft Access; экспорт данных в Microsoft Excel).

Программа Salon+3D обеспечивает быструю разработку модели помещения и последующую расстановку в ней моделей мебели и аксессуаров, выбранных из электронного каталога (прайс-листа). Графические возможности программы позволяют вращать модель интерьера, приближать и рассматривать наиболее важные ее части и детали. Освещение сцены автоматически подстраивается таким образом, чтобы лучше отображался объем и взаимное расположение объектов в модели интерьера. Кроме того, можно настроить освещение сцены с помощью ручного управления источниками света (положение, направление, интенсивность, угол, цвет и т.д.).

Программа Salon+3D обеспечивает оперативный расчет стоимости заказа с учетом индивидуальной комплектации изделий и распечатку спецификации заказа, в которую включается информация об артикулах, размерах, ценах и количестве изделий, представленных в заказе. В спецификацию заказа может быть также помещен трехмерный эскиз модели интерьера с автоматической простановкой размеров и указанием позиций изделий, представленных в спецификации.

Обладая некоторыми интересными возможностями, система Woody, тем не менее, не выходит за рамки традиционной парадигмы проектирования корпусной мебели. При приеме индивидуального заказа с помощью программы Salon+3D используются заранее подготовленные электронные каталоги, содержащие определенные модели мебельных изделий. Если для какой-либо из них потребуется изменить хотя бы одно свойство, например, габаритный размер или цвет облицовки изделия, придется вновь обращаться к программе Woody для внесения необходимых изменений. После этого измененное изделие следует поместить в прайс-лист, а лишь затем использовать в модели интерьера помещения. На все это требуется дополнительное время и, кроме того, подобная схема работы не исключает возможности внесения ошибок на различных этапах.

### 1.2.5. САПР «3D-Constructor»

ООО «Электран Софт» ([www.elecran.com.ua](http://www.elecran.com.ua)) предлагает мебельным предприятиям программный комплекс для автоматизированного проектирования изделий корпусной мебели, разработки проектов интерьеров помещений, формирования оптимального плана раскроя листовых конструкционных материалов. В состав комплекса входят следующие программы [38, 39]:

**3D-Constructor** – конструирование корпусной мебели, подготовка параметрических моделей мебельных изделий для программы 3D-Flat, формирование конструкторской документации (чертежи, спецификации, ведомости материалов);

**3D-Flat** – расстановка моделей мебели и дизайн интерьера помещения, расчет стоимости заказа и подготовка спецификации для заказчика;

**2D-Place** – формирование карт раскроя различных листовых материалов (ДСП, ДВП, МДФ, стекло и т.п.), ведение складов листовых материалов и заготовок мебельных деталей.

3D-Constructor и 3D-Flat являются приложениями к популярной графической системе AutoCAD 2000, разработанной компанией Autodesk, Inc. (США), и обладают всеми ему присущими преимуществами: стандартные форматы для обмена данными, фотореалистичная визуализация, универсальный набор инструментов. Система AutoCAD, являясь графическим ядром рассматриваемого программного комплекса, обеспечивает все необходимые средства для трехмерного моделирования корпусной мебели.

При конструировании мебельных изделий в программе 3D-Constructor используются:

- плиты из листового материала (ДСтП, ДВП, МДФ, фанера, стекло и т.п.), для которых можно выполнять операции скругления углов, наложения фасок, создания вырезов различной формы и другие;
- столешницы – плиты прямоугольного поперечного сечения (с бортиком, софт- и постформинг), для которых могут выполняться те же операции, что и для плит;
- гнутые многослойные листы произвольной формы (гнуто-клееные листы), для которых также как и для плит допускается нанесение кромок на торцы, прирезка листа по плоской детали и наоборот, построение стыка листа с плоскостью построения;
- профильные детали различного сечения (например, уголки, швеллера и т.д.), которые получаются путем протягивания заданного сечения вдоль пути построения;
- стандартные и нестандартные изделия с постоянной геометрией (например, ручки или опоры), а также элементы со сложной трехмерной геометрией (например, филленчатые фасады), элементарные геометрические тела (параллелепипед, цилиндр, конус и другие);
- выдавленные детали, предназначенные для создания декоративных элементов и являющиеся полным аналогом плит, но имеющие, в отличие от последних, переменную высоту;
- крепежные элементы (например, стяжки, уголки, полкодержатели, шканты и направляющие).

Модель изделия, разрабатываемая с помощью программы 3D-Constructor, представляется совокупностью сборок, которые могут включать в себя как отдельные детали, так и другие сборки. Сборка, как правило, представляется каркасом (обычно это габаритный параллелепипед), с которым можно связывать остальные элементы мебельной конструкции. Для удобства построения каркас может дополняться секущими рабочими плоскостями. Необходимо отметить, что каркас сборки реализуется с использованием средств ассоциативной геометрии, что обеспечивает некоторую его «интеллектуальность», т.е. в любой момент можно изменять размеры или передвигать рабочие плоскости, что приводит к перестроению всей модели.

Программа 3D-Constructor обеспечивает группу специализированных команд, облегчающих выполнение часто используемых операций проектирования корпусной мебели:

- команды установки фасадов и ящиков, которые автоматически «вписывают» эти элементы конструкции в заданные габариты изделия с учетом необходимых зазоров и типа фасада;

- команда установки пола, которая позволяет выбрать тип его установки и создать соответствующую деталь;
- команда установки полок и перегородок, которая позволяет по указанию двух базовых плит установить между ними полку или перегородку;
- команда трехмерного перемещения (кантовки), которая позволяет развернуть и установить в модели одну деталь относительно другой под любым необходимым углом независимо от их первоначального взаимного расположения в пространстве.

Таким образом, основной особенностью программы 3D-Constructor, отличающей ее от большинства отечественных и зарубежных программ аналогичного назначения, является обеспечение сквозной параметризации модели изделия как на уровне сборок, так и на уровне отдельных деталей. Конструктору предоставляется возможность самостоятельно решать, какие параметры проектируемого изделия должны быть изменяемыми (например, линейные и угловые размеры шкафа, количество полок в его секциях и т.д.). Данные параметры могут использоваться в формулах, определяющих размеры и взаимное расположение объектов в модели, что позволяет:

- получать семейство моделей мебельных изделий на основе одного разработанного прототипа;
- разрабатывать типовые модели (например, ящики или рамочные фасады), которые затем можно многократно использовать с другими габаритными размерами (при этом программа автоматически корректно пересчитывает расход всех используемых в изделии материалов);
- задавать для листовых материалов группы «логических» свойств, которые затем могут быть конкретизированы (доопределены) с помощью одной команды (например, тип и толщина конструкционного материала определяются следующим образом: корпус = бук 16, полки = стекло 4, задняя стенка = ДВП 3 и т.д.). Это дает возможность быстро менять материал сразу у группы однотипных деталей, входящих в модель, с корректным пересчетом всех используемых материалов (включая изменение толщины листа). Данная особенность обеспечивает дополнительную гибкость при работе с заказчиками в мебельном салоне и отвечает одному из основных требований, предъявляемых к прототипной модели корпусного мебельного изделия [40];
- создавать параметрические модели готовых изделий, импортируя которые в программу 3D-Flat, дизайнер в мебельном салоне, не бу-

лучи посвящен в особенности технологии проектирования мебели, сможет гибко работать с заказчиком. В частности, с помощью 3D-Flat он может легко создать проект интерьера помещения (быстро выполнив расстановку моделей мебели и изменив при необходимости их размеры и материалы), рассчитать стоимость заказа и получить необходимую для клиента документацию.

В процессе проектирования программа 3D-Constructor автоматически присваивает деталям модели шифры (артикулы) и, по возможности, – названия. При вставке в проект типовой модели автоматически переопределяются шифры входящих в нее объектов, при этом учитывается принятая для текущей сборки нумерация. По указанному конструктором объекту или по проекту в целом формируются спецификация и ведомость материалов, включающие информацию о шифре, названии, номере позиции и размерах каждой детали (до и после нанесения кромочного материала), информация о самой кромке (включая указание сторон для ее нанесения), направление текстуры облицовочного материала и т.д. Кроме того, производится расчет стоимости изделия с учетом группы корректирующих ее коэффициентов.

При визуализации проекта используются средства, представленные в системе AutoCAD и позволяющие работать с различными источниками света, формировать зеркальные и прозрачные фактуры, получать изображения с тенями. Программы 3D-Constructor и 3D-Flat включают библиотеку текстур, сгруппированных по типу материала и основному цвету, легко расширяемую новыми образцами. Программа 3D-Flat включает базы параметрических моделей офисной, жилой и детской мебели. Кроме того, в состав программы входит специализированный модуль для разработки дизайна кухни.

Программа 2D-Place, основываясь на информации модели изделия, позволяет получить карты оптимального раскроя листовых материалов, учитывающие некоторые технологические особенности оборудования (ширина и максимальная длина пропила, величина отступов от края листа, использование многопильного станка и некоторые другие). Кроме того, программа позволяет вести складской учет листов и деловых остатков, хранить данные о готовых изделиях, а также распечатать ярлыки-наклейки с указанием наименования детали, габаритных размеров, материала и торцов, на которые подлежит нанести кромку.

Главные преимущества, которыми обладают программы 3D-Constructor и 3D-Flat, обеспечиваются возможностями их графической основы – известной системы AutoCAD 2000. При этом разработка изделий корпусной мебели по-прежнему выполняется в рамках традиционной парадигмы проектирования (если не считать возможности задания в модели



«логических» листовых материалов). Как и в других рассмотренных ранее системах, велико значение субъективного фактора и на этапе построения модели изделия, и на этапе формирования дизайна интерьера помещения. Это не позволяет существенно повысить качество и сократить сроки разработки проекта, т.е. соответствовать основным требованиям позаказного промышленного производства корпусной мебели.

### 1.3. Обобщенная структура САПР корпусной мебели

Функциональные возможности распространенных отечественных САПР корпусной мебели, рассмотренных выше, обеспечивают выполнение проектных процедур, ориентированных на работу в условиях серийного и/или индивидуального производства. Для их эффективной реализации требуется определенная структурная организация программных средств автоматизации проектирования.

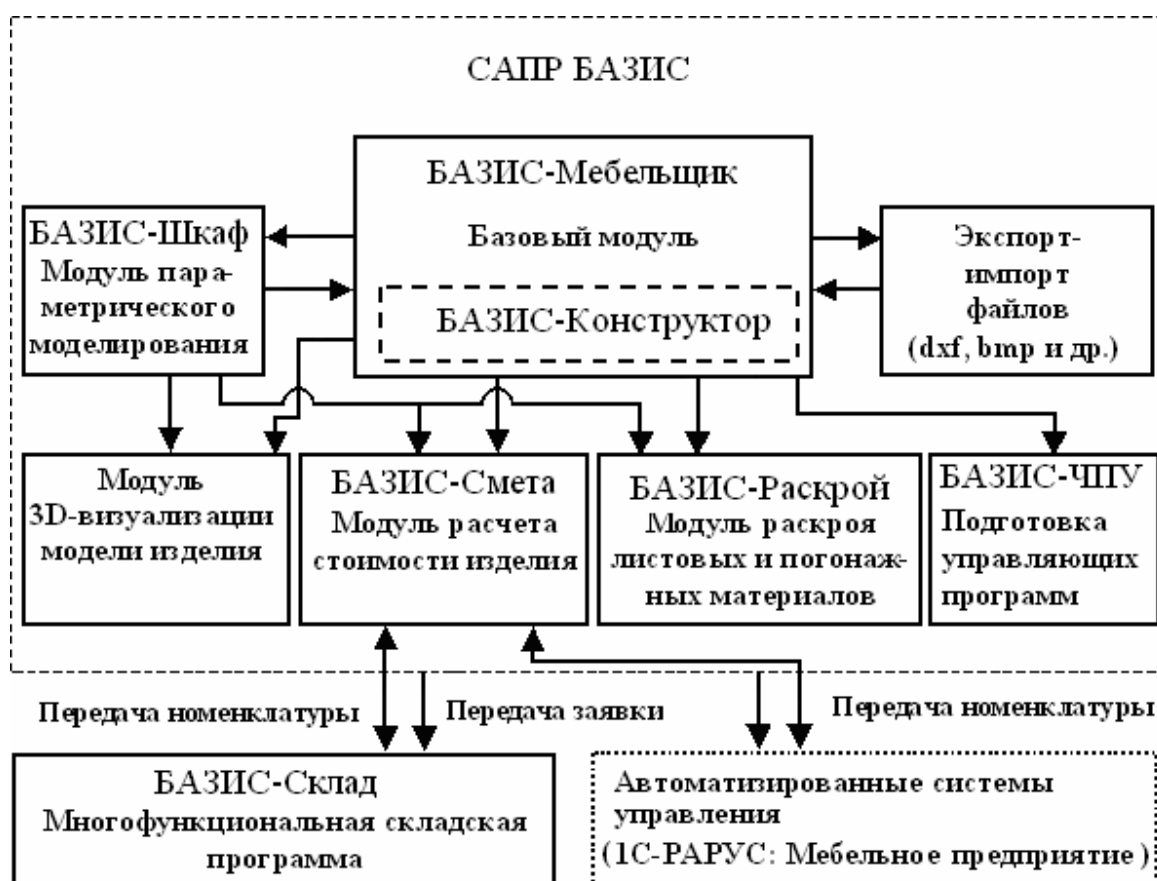


Рис. 1.3. Модульная структура системы «БАЗИС»

Обобщенная структура САПР корпусной мебели, предназначенной для использования в рамках традиционной производственной парадигмы, может быть проиллюстрирована на примере известной системы «БАЗИС». Данная система используется для проектирования корпусной мебели с начала 1997 г. В ее основу положен графический редактор «БАЗИС-Конструктор», предназначенный для автоматизации подготовки конструкторско-чертежной документации (рис. 1.3).

### 1.3.1. Графическая подсистема САПР корпусной мебели

Традиционная парадигма проектирования корпусной мебели, реализованная в существующих САПР, представляет собой последовательный процесс, начинающийся с создания геометрической модели. Она содержит исчерпывающее описание всех составных элементов изделия и их взаимного расположения. Различные САПР отличаются друг от друга, прежде всего, методами формирования объекта и способами описания его геометрических параметров.

Как известно, существует три метода описания геометрии объекта:

- **неявными функциями** вида  $F(x, y, z) = 0$ , где  $x, y, z$  – координаты трехмерного пространства;
- **множеством точек**, т.е. представлением поверхностей множеством отдельных им принадлежащих точек;
- **параметрическими функциями** вида  $x = X(u, v)$ ,  $y = Y(u, v)$ ,  $z = Z(u, v)$ , где  $u, v$  – некоторые параметры, изменяющиеся в пределах заданного интервала.

Для построения математической модели изделия используется один из следующих способов ее представления:

- **каркасная (проволочная) модель** – представление поверхности объекта множеством пересекающихся линий (ребер);
- **поверхностная модель** – представление объекта набором описаний поверхностей, ограничивающих полое пространство;
- **твердотельная модель** – поверхностная модель, дополненная информацией, позволяющей для любой точки пространства определить ее местонахождение относительно моделируемого изделия: внутри, снаружи или на границе.

Наиболее простым способом представления изделия является каркасная модель, но большинство современных САПР корпусной мебели имеют возможность и твердотельного, и поверхностного моделирования. В них используется объектно-ориентированный подход к формированию мо-

делей мебельных изделий – их представление в виде объектов предметной области. Это позволяет достичь сочетания естественности взаимодействия пользователя и системы с достаточностью объема информации для полного представления формы изделий при твердотельном моделировании.

Математическая (геометрическая) модель мебельного изделия в системе «БАЗИС» представляет собой иерархическую структуру с произвольным количеством уровней, т.е. имеет произвольную глубину (рис. 1.4). Ее структурными единицами являются виды, слои, блоки и элементы.



Рис. 1.4. Структура геометрической модели изделия

**Вид** представляет собой именованную область хранения информации, описывающей структурно и конструктивно завершённую часть изделия. Характеристическим атрибутом вида является значение масштаба.

**Слой** – именованная область хранения информации, не привязанная жестко к ее содержательному аспекту. Послойная дифференциация модели изделия является прерогативой пользователя и производится по субъективным критериям: удобство манипулирования объектами, функциональные различия и т.д. К характеристическим атрибутам слоя относятся видимость, активность и цвет. Активный (текущий) слой – это слой, с которым в данный момент времени работает пользователь.

**Элемент** – единица информации, с которой система работает как с единым целым. Перечень и классификация элементов, используемых при моделировании мебельных изделий в системе «БАЗИС», приведены на рис. 1.5. Двухуровневая классификация элементов обусловлена структурно-конструктивными особенностями процесса конструирования корпусной мебели.

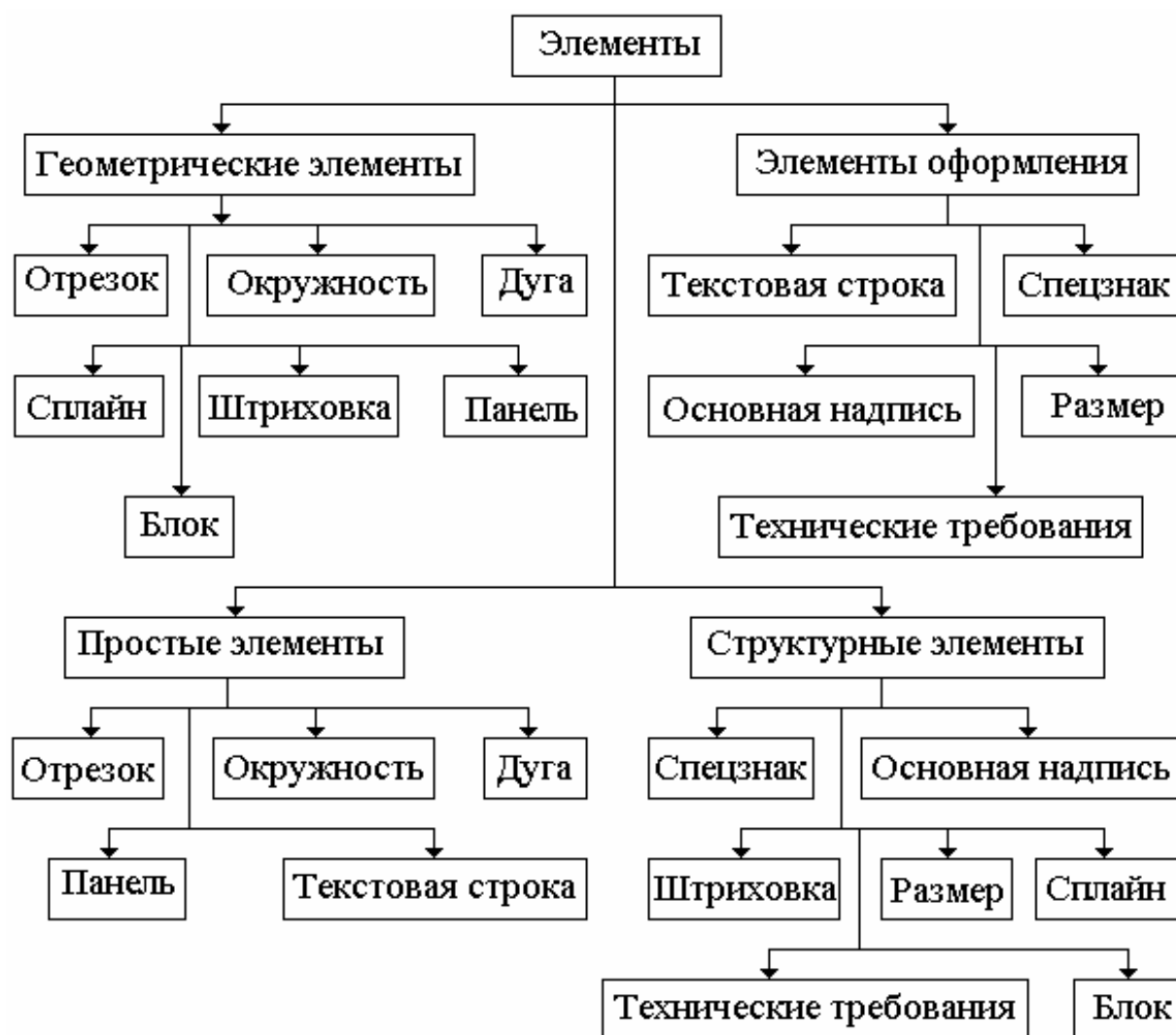


Рис. 1.5. Классификация элементов модели мебельного изделия

Разделение элементов на простые элементы и структурные позволяет значительно упростить и ускорить выполнение операций, связанных с формированием чертежно-конструкторской документации, а также создавать пользовательские типы элементов (блоки), в максимальной степени учитывающие особенности конкретного предприятия. Структурные элементы определяются рекурсивно, как состоящие из множества простых и структурных элементов, и в процессе моделирования представляются единым целым.

В процессе конструирования мебельного изделия можно выделить два частично пересекающихся этапа: построение математической модели и формирование комплекта документации. Для разделения задач, решаемых на каждом из этих этапов, введена классификация элементов на геометри-

ческие элементы и элементы оформления, что позволяет каждой группе команд оперировать с соответствующим множеством элементов. Так, например, команды геометрического моделирования игнорируют элементы оформления, включенные в модель.

Основным элементом геометрического моделирования мебельного изделия является панель, представляющая собой объемное тело, «заметаемое» произвольным замкнутым контуром при перемещении его вдоль прямой на указанное расстояние. Панель характеризуется следующими параметрами:

- **контур панели** – набор произвольных, замкнутых, непересекающихся последовательностей отрезков, окружностей, дуг и сплайнов;
- **тип** – параметр, характеризующий пространственно-функциональные особенности конкретной панели;
- **толщина** – длина вектора, вдоль которого перемещается контур при построении панели;
- **наименование** – текстовая строка, идентифицирующая конкретную панель с точки зрения пользователя;
- **материал** – параметр панели, характеризующий материал (материалы, в случае гнутой панели), из которого она изготовлена;
- **облицовка** – набор материалов, используемых для облицовки кромок или пластей панели;
- **фурнитура** – множество крепежной и декоративной фурнитуры, предназначенной для скрепления панели с другими панелями, реализации ее функционального и/или эстетического назначения в составе мебельного изделия.

Процесс формирования модели мебельного изделия можно представить совокупностью четырех укрупненных действий:

- построение контуров панелей;
- облицовывание кромок панелей;
- взаимное позиционирование панелей в пространстве;
- установка фурнитуры.

Из определения контура следует, что панель может иметь сколь угодно сложную геометрическую форму, включая различные внутренние вырезы. С формальной точки зрения она может состоять даже из нескольких независимых частей. Для построения контура панели используется специальный геометрический модуль, реализующий большинство встречающихся на практике способов задания его составных элементов: отрезков, окружностей, дуг и сплайнов.

Отрезок представляется уравнением прямой, проходящей через две заданные точки  $\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$ , и может быть построен одним из двух следующих способов:

- заданием координат конечных точек: абсолютных, в приращениях или относительно ранее построенных элементов;
- определением двух точек на ранее построенной прямой линии.

Второй способ реализуется при помощи аппарата вспомогательных построений. Он предполагает построение прямых линий одним из имеющихся способов с последующим указанием на них конечных точек отрезка. В системе «БАЗИС» имеются следующие способы определения прямых линий:

- линия, проходящая параллельно существующему отрезку или линии на заданном расстоянии;
- линия, проходящая под заданным углом к существующему отрезку или линии;
- биссектриса угла;
- касательные, проведенные из точки к окружности или дуге (или одна касательная, в случае, когда точка лежит на окружности);
- касательные, построенные к двум окружностям, если одна из окружностей не находится внутри другой;
- линия, «срезающая» два пересекающихся отрезка под заданным углом и проходящая через точку, отстоящую на указанном расстоянии от точки пересечения (фаска);

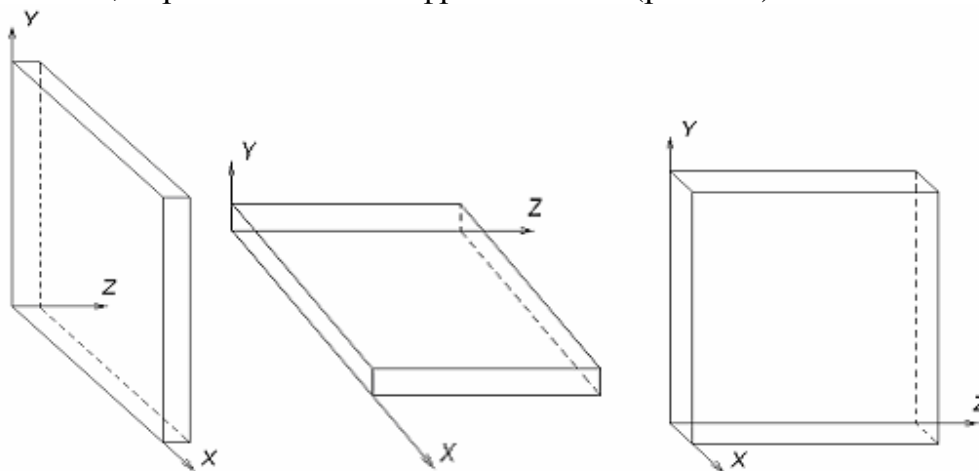
Окружность и дуга представляются общим уравнением через координаты центра  $(x_c, y_c)$  и радиус  $r$ :  $(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = r^2$ . Для дуги дополнительно указываются две точки, определяющие вектора с началом в центре окружности, углы наклона которых задают угловой размер дуги. При выполнении большинства операций геометрического моделирования дуга заменяется соответствующей окружностью, поэтому в дальнейшем будем говорить только об окружностях. Окружность может быть построена одним из следующих способов:

- явным заданием координат центра и радиуса;
- указанием трех точек, не лежащих на одной прямой;
- сопряжением двух произвольных элементов (отрезков или окружностей) окружностями заданного радиуса;
- касательными заданного радиуса, проходящими через указанную точку;

- сопряжением трех произвольных элементов (отрезков или окружностей) окружностями всех возможных радиусов.

Сплайн представляет собой параметрическую бикубическую кривую, интерполирующую или аппроксимирующую заданный массив точек на плоскости в соответствии с одним из пяти алгоритмов: интерполирующий сплайн, сглаживающий сплайн, напряженный сплайн, кривая Безье и В-сплайн [41]. Следует отметить, что с технологической точки зрения обработка подобных контуров представляет определенные сложности. Обычно сплайны используются на этапе дизайнерской (концептуальной) проработки изделия, а при переходе к этапу конструирования производится их визуальная аппроксимация дугами.

Тип панели, как характеристика пространственно-функциональных особенностей, определяет положение ее локальной системы координат и частично функциональное назначение. Предусмотрено три типа панелей: вертикальные, горизонтальные и фронтальные (рис. 1.6).



*Рис. 1.6. Системы координат панелей*

Для обычных панелей (щитовых элементов) понятие толщины является избыточным, т.к. оно численно совпадает с толщиной материала, из которого изготовлена панель. На рис. 1.6 видно, что толщина вертикальных, горизонтальных и фронтальных панелей определяется значением координаты по оси  $Z$ ,  $Y$  или  $X$  соответственно в системе координат панели.

Гнутая панель, с математической точки зрения, не отличается от обычной панели; различия появляются на уровне технологии изготовления. Одним из возможных способов получения гнутых панелей является послойное склеивание листов различных материалов. В этом случае материал гнутой панели представляет собой список материалов, а ее толщина – суммарную толщину всех слоев. В частном случае этот список может состоять

из одного материала, что соответствует технологии получения гнутых панелей путем изгиба пласти. Для гнутых панелей рассчитывается длина развертки  $S$  по следующей формуле:

$$S = 0,5 \cdot (L - 2,0 \cdot d),$$

где  $L$  – длина контура гнутой панели;

$d$  – толщина гнутой панели.

Материалы, используемые при геометрическом моделировании мебельных изделий, делятся на три группы:

- **листовые материалы**, характеризующиеся длиной, шириной и толщиной, причем эти параметры соответствуют аналогичным параметрам панели;
- **погонные материалы**, основной функциональной характеристикой которых является длина: металлокаркас, профили, столешницы и т.п.;
- **кромочные материалы**, которые имеют только длину и толщину и применяются при облицовке кромок панелей.

Автоматизированный режим облицовки кромок панелей реализуется путем ручного выбора нужных кромок, исходя из поставленных критериев, и автоматического расчета необходимых технологических параметров:

- подрезка размеров панели на толщину кромочного материала;
- добавление припусков кромочного материала;
- формирование единого отреза кромочного материала для нескольких смежных кромок.

Подобные расчеты выполняются, если того требуют технологические процессы изготовления деталей.

Для пространственного моделирования взаимного расположения панелей в составе мебельного изделия существует система команд, показанная на рис. 1.7. Все они могут работать как с отдельной панелью, так и с произвольным их множеством.

Команды позиционирования позволяют точно устанавливать панели относительно ранее построенных панелей в соответствии с общей идеей конструирования. Привязка допускается как к пласти, так и к кромке панели. Привязка к двум панелям реализует алгоритм «вписывания» панели в заданные габариты точно или с заданными боковыми зазорами. Примером подобной привязки может служить установка стационарных или съемных полок соответственно.

Команды перемещения реализуют возможность установки панелей в любую точку с поворотом вокруг любой из трех осей координат, в том числе и одновременным поворотом вокруг нескольких осей.





*Рис. 1.7. Команды моделирования мебельного изделия*

Команды копирования служат для быстрого построения повторяющихся элементов мебельного ансамбля. Частным случаем является построение изделия, симметричного существующему прототипу.

Команды редактирования предназначены для организации работы с прототипами и позволяют формировать модели новых изделий путем модификации существующих моделей. Основной командой редактирования является линейная резиновая нить – способ редактирования модели, при котором производится линейная деформация указанной ее части по заданному вектору с сохранением неразрывности всех редактируемых элементов. Другими словами, производится изменение линейных размеров панелей, попадающих в выбранное сечение.

С формальной точки зрения, двери – это панели, однако, в целях максимального учета технологических особенностей для их установки введена

специальная команда, позволяющая совместить операции установки и крепления.

Ящики представляют собой стандартные параметрические элементы, образующие библиотеку. Для ее формирования разработана специальная программа – мастер ящиков, включающая в себя необходимый набор средств параметрического описания конструкции ящика и соответствующей системы выдвижения. В настоящее время можно выделить три основных типа систем выдвижения и, соответственно, видов ящиков:

- ящики, построенные из панелей с роликовыми или шариковыми направляющими;
- ящики типа «Метабокс», в которых боковые стенки выполнены из металла и совмещены с направляющими;
- ящики-короба, представляющие собой стандартные готовые конструкции.

При установке ящиков в модели изделия задается только секция изделия, количество ящиков, материал их фасадов, если они есть, и некоторые конструктивно-технологические параметры, например, вкладное или накладное расположение фасада относительно боковых перегородок, или вертикальный зазор между соседними фасадами. Все остальные параметры рассчитываются автоматически.

Крепежная фурнитура (или кратко, крепеж) представляет собой набор типовых классов элементов, объединенных общностью алгоритма установки и описываемых тем или иным множеством параметров. Каждый класс описывается следующими тремя характеристиками:

- **тип крепежа**, который представляет собой признак, идентифицирующий конкретный класс крепежа;
- **наименование крепежа**;
- **массив параметров крепежа** – динамический параметр, жестко определяемый конкретным классом.

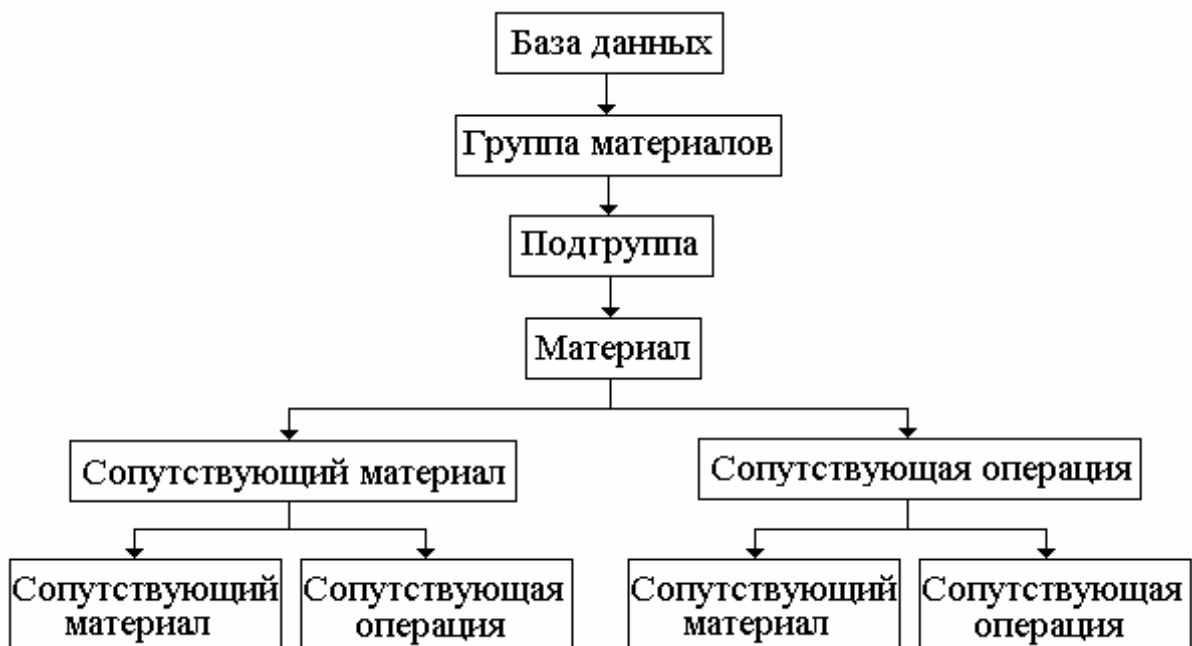
В соответствии с существующими технологическими особенностями производства формируется библиотека используемого крепежа, которая вызывается в процессе моделирования мебельного изделия. Алгоритм установки предполагает выбор нужного элемента крепежа из библиотеки и указание по определенным правилам скрепляемых панелей. При этом выполняется автоматический контроль корректности операции по геометрическим критериям: принадлежность крепежа всем скрепляемым панелям, соответствие размеров крепежа толщине панелей и их взаимному расположению.

Важнейшим этапом практической реализации задачи геометрического моделирования является построение и заполнение базы данных мате-

риалов (включая комплектующие), используемых при производстве изделий. Она имеет иерархическую структуру, показанную на рис. 1.8. Все материалы, хранящиеся в базе данных, делятся на группы с вложенными подгруппами для удобства их нахождения.

Группы материалов организуются в соответствии с тем или иным критерием однородности, например, по видам материалов или их принадлежности к разным складам. Каждый из материалов характеризуется следующим набором параметров:

- наименование материала;
- цена материала;
- коэффициент, учитывающий технологические издержки производства;
- единицы измерения;
- код материала, который используется для связи с автоматизированной системой складского учета;
- класс, к которому относится материал при расчете себестоимости.



*Рис. 1.8. Структура базы данных материалов*

Определяющим понятием является понятие сопутствующих элементов, под которыми понимаются материалы и операции, имеющие жесткую, технологически обусловленную связь с данным материалом. Они образуют ориентированный нециклический граф, весовыми коэффициентами дуг которого являются удельные стоимости материалов или удельные затраты на

выполнение операций. Подобное структурирование базы данных позволяет организовать гибкий экономический учет издержек производства с заранее заданной степенью детализации статей затрат.

Таким образом, графическая подсистема САПР «БАЗИС» реализует традиционную геометрическую парадигму конструирования изделий корпусной мебели, инвариантную к функциональному назначению, серийности и сложности конструкции изделий, используемым материалам, фурнитуре и комплектующим, технологическим процессам изготовления.

### **1.3.2. Подсистема параметрического проектирования корпусной мебели**

Процесс конструирования корпусной мебели включает в себя ряд типовых проектных операций, несущественно отличающихся друг от друга на различных предприятиях. Это может служить предпосылкой для разработки параметрических процедур или подсистем, ориентированных на реализацию подобных операций.

Параметрическое проектирование всегда ограничено вполне определенным классом изделий. Каждая конкретная модель получается из некоторого, заранее созданного прототипа путем задания определенного набора параметров, что априорно сужает круг решаемых задач. С другой стороны параметрический подход имеет существенные преимущества, которые связаны, прежде всего, с высокой скоростью создания новых изделий и возможностью автоматического выполнения ряда проектных операций.

В состав системы «БАЗИС» входит модуль параметрического проектирования достаточно широкого класса мебельных изделий, которые можно объединить термином «шкаф», определяющим изделие, состоящее из корпуса, фасадов и внутреннего наполнения. Примерами подобных изделий могут служить любые платяные шкафы, в том числе и с раздвижными дверями, комоды, практически вся кухонная мебель, тумбочки, некоторые типы столов и т.п. Следует отметить, что изделия данного класса составляют достаточно большую долю в структуре отечественного мебельного рынка [2, 7].

В модуле «БАЗИС-Шкаф» введено разделение проектных операций на группы в зависимости от степени автоматизации: неавтоматизированные (ручные), автоматизированные и автоматические. Конструктивные параметры корпуса изделия, материалы и виды фурнитуры, а также ряд других основополагающих операций выполняются вручную. Формирование внутреннего наполнения (установка вертикальных и горизонтальных перегородок, стационарных и съемных полок, выдвижных ящиков и т.д.) произ-

водится в автоматизированном режиме с автоматическим контролем допустимости выполнения в соответствии с имеющимися ограничениями. Проектные операции, не требующие творческого подхода, выполняются автоматически. К подобным операциям относятся установка крепежа, облицовка кромок и ряд других. Подобное разделение позволило оптимизировать работу конструкторов, освободив их от выполнения рутинных операций.

Принципиальным отличием модуля «БАЗИС-Шкаф» от других систем параметрического проектирования корпусной мебели является интерактивный, предметно-ориентированный способ формирования модели, предполагающий возможность визуализации модели после выполнения любого шага проектирования и возврата к любому из предыдущих решений. При его программной реализации применялся адаптивный параметрический подход, предполагающий синтез модели изделия в виде обратимых отношений между ее составными элементами.

Процесс проектирования параметрических изделий состоит из трех основных этапов:

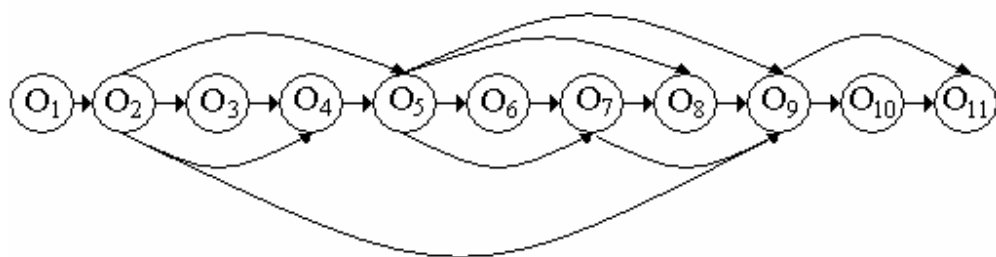
- формирование корпуса шкафа;
- конструирование внутреннего наполнения и установка дверей;
- настройка параметров автоматически выполняемых операций.

На первом этапе определяются габариты и общая конструкция изделия, под которой понимается взаимное расположение его боковых стенок, нижней и верхней горизонтальных стенок (дна и крышки), а также заднего полка (задней стенки). Формально этот этап представляется ориентированным графом (орграфом), изображенным на рис. 1.9, где  $O_i$  – проектные операции. Для углового шкафа на этом же этапе производятся операции посекционного планирования внутреннего пространства и конструирования внутренней структуры секций. Соответствующий орграф приведен на рис. 1.10.

Выбор материалов является обязательной операцией, осуществляемой одним из двух способов:

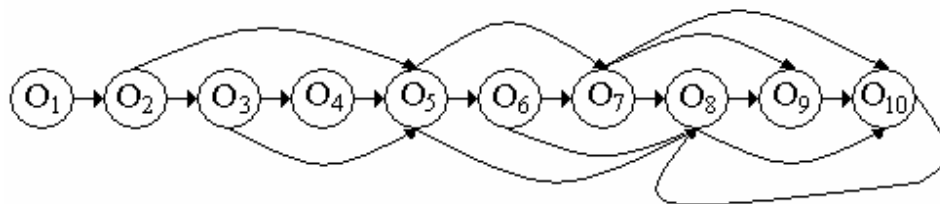
- непосредственно из базы данных;
- из таблицы соответствия листовых и кромочных материалов.

Последний вариант предполагает установление ассоциативных связей между используемыми листовыми и кромочными материалами, что характерно для ритмично работающих предприятий. Данные связи являются устойчивыми для определенных интервалов времени и могут оперативно корректироваться в зависимости от текущей ситуации. Использование данного варианта выбора материалов позволяет экономить общее время проектирования и минимизировать количество субъективных ошибок.



O <sub>1</sub> – выбор материалов;	O <sub>6</sub> – конструкция дна;
O <sub>2</sub> – расположение крышки;	O <sub>7</sub> – конструкция цоколя;
O <sub>3</sub> – конструкция крышки;	O <sub>8</sub> – фаска под плинтус;
O <sub>4</sub> – монтажные планки;	O <sub>9</sub> – расположение задней стенки;
O <sub>5</sub> – расположение дна;	O <sub>10</sub> – паз для задней стенки;
O <sub>11</sub> – раскрой задней стенки.	

**Рис. 1.9. Орграф выбора конструкции шкафа**



O <sub>1</sub> – выбор материалов;	O <sub>6</sub> – расположение дна;
O <sub>2</sub> – конструкция корпуса;	O <sub>7</sub> – размещение вертикальных перегородок;
O <sub>3</sub> – фаска под плинтус;	O <sub>8</sub> – размещение полок;
O <sub>4</sub> – конструкция цоколя;	O <sub>9</sub> – размещение штанг для одежды;
O <sub>5</sub> – расположение крышки;	O <sub>10</sub> – размещение панелей жесткости.

**Рис. 1.10. Орграф выбора конструкции углового шкафа**

При определении взаимного расположения крышки и дна относительно боковых стенок возможны следующие варианты:

- отсутствие, что встречается, например, у встроенной мебели;
- расположение на боковых стенках шкафа (накладной вариант);
- расположение между боковыми стенками (вкладной вариант).

Выбор конструкции крышки или дна предполагает задание параметров, определяющих контур соответствующей панели.

Монтажные планки представляют собой вспомогательные панели, располагаемые заподлицо с верхними кромками боковых стенок. Они определяются шириной и позиционируются смещением от переднего или

заднего среза шкафа. Монтажные планки используются, например, при конструировании кухонных столов-тумб, имеющих единую столешницу.

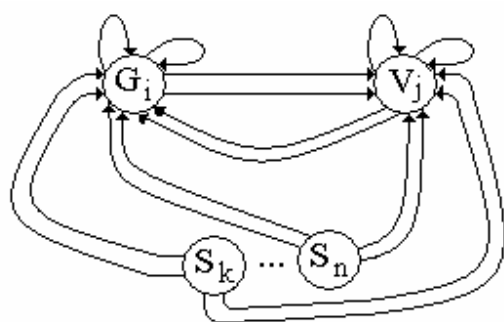
Задняя стенка представляет собой панель или несколько панелей из ДВП или клееной фанеры, устанавливаемую сзади шкафа. Она играет функционально-декоративную роль и не предназначена для восприятия нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации шкафа. Как правило, задняя стенка конструируется составной, при этом размеры каждой панели определяются, исходя из размеров имеющихся листов материала и удобства транспортировки изделий. В системе предусмотрен режим ручного формирования панелей задней стенки и два алгоритма автоматического определения размеров составных панелей:

- по срединным линиям кромок всех вертикальных перегородок, установленных между дном и крышкой шкафа;
- делением на  $N$  одинаковых частей таким образом, чтобы их ширина не превышала заданного значения максимальной ширины.

Для углового шкафа проектные операции конструирования внутреннего наполнения представляют собой подмножество проектных операций определения конструкции корпуса. Это обусловлено ограничениями, наложенными на возможные варианты параметрических изделий на данном этапе развития модуля «БАЗИС-Шкаф».

Внутреннее наполнение обычного шкафа конструируется в интерактивном режиме. Общий принцип установки внутренних элементов состоит в том, что каждый такой элемент устанавливается в секцию, образованную двумя вертикальными и двумя горизонтальными стационарными стенками. Границами секций не обязательно должны служить панели целиком, нередко одна панель является границей сразу нескольких секций. Таким образом, формируется ассоциативная сетевая структура изделия с обратимыми отношениями между ее составными элементами (рис. 1.11). Любой элемент внутреннего наполнения  $S$  включает в себя по две ссылки на элементы списков вертикальных перегородок  $V_j$  и стационарных горизонтальных перегородок  $G_i$ . При этом сами указанные перегородки имеют двойные внутренние ссылки.

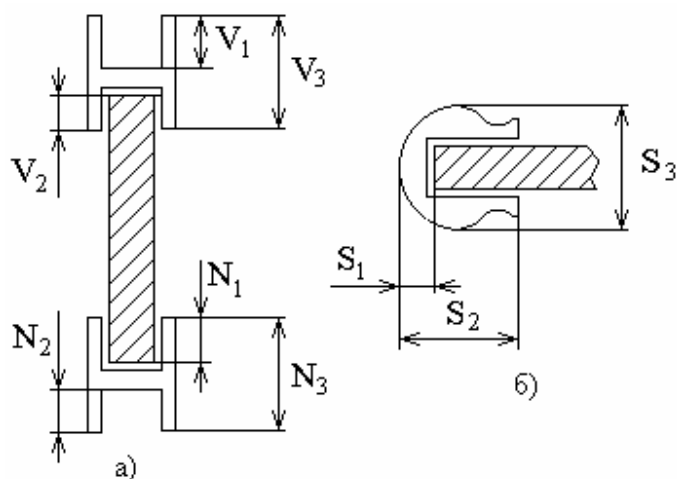
Отличительной чертой большинства шкафов является наличие дверей – деталей в виде щита или рамки с заполнением, – предназначенных для закрытия проемов. По принципу открывания наиболее распространены являются распашные и раздвижные двери. Таким образом, определяющими параметрами дверей являются их конструкция (щитовые или рамочные) и тип (распашные или раздвижные).



$G_i$  – список стационарных горизонтальных перегородок;  
 $V_j$  – список вертикальных перегородок;  
 $S_k, S_n$  – списки элементов внутреннего наполнения.

**Рис. 1.11. Сетевая структура для описания внутреннего наполнения шкафа**

Для щитовых дверей дополнительно задается материал, как и для обычных панелей, а для рамочных – еще и параметры профиля. Для формирования библиотеки используемых профильных систем вводится понятие обобщенного горизонтального (рис. 1.12, а) и вертикального профилей (рис. 1.12, б), набор параметров которых достаточен для параметрического описания любой системы.



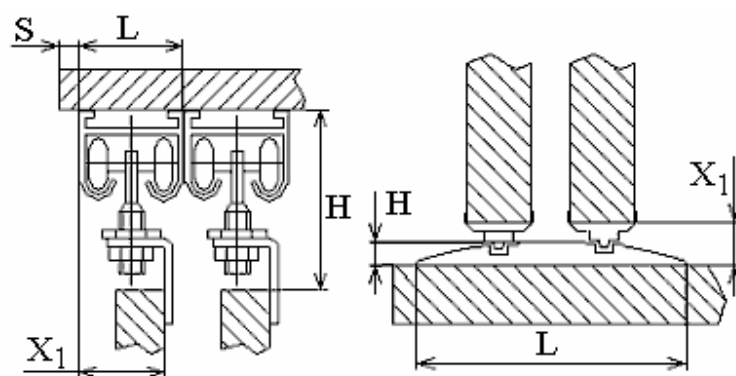
**Рис. 1.12. Графическое представление обобщенного профиля**

При установке распашных дверей автоматически выполняется операция расстановки петель заданного типа по алгоритму, учитывающему количество петель на единицу высоты, кратность шага размещения и минимальные отступы от горизонтальных кромок дверей. Дополнительной его опцией является контроль корректности двустороннего размещения петель на среднем щите и, при необходимости, выбор петли иного типа.

Для параметрического описания механизмов раздвижения на основе анализа используемых при производстве мебели механизмов разработано конечное множество конструктивных схем, которые описывают все существенные конструктивные параметры реальных систем раздвижения. Лю-



бой механизм состоит из двух частей: верхней направляющей и нижней направляющей, причем, определяющей считается верхняя направляющая. Это означает, что каждому типу верхней направляющей соответствует вполне определенный набор нижних направляющих. Комбинируя нужным образом направляющие, можно получить требуемый механизм раздвижения. Фрагмент множества конструктивных параметрических схем показан на рис. 1.13.



*Рис. 1.13. Параметрическая схема механизма раздвижения*

При установке раздвижных дверей допускается использовать два вида материалов в произвольной комбинации. Двери устанавливаются таким образом, что их ширина одинаковая с учетом взаимного перекрытия, а для рамочных дверей – еще и с учетом параметров вертикального профиля.

Дополнительной опцией алгоритма установки является автоматическая коррекция параметров внутреннего наполнения в зависимости от реальных параметров используемых механизмов: все элементы внутреннего наполнения шкафа подрезаются вовнутрь (уменьшается глубина панелей), при этом глубина самого шкафа не изменяется. Для некоторых раздвижных механизмов помимо этого может изменяться положение верхней или нижней горизонтальных стенок, а для некоторых механизмов – обеих стенок.

Вспомогательными атрибутами дверей являются ручки, которые могут устанавливаться автоматически по заранее определенному алгоритму или вручную. Для распашных дверей дополнительно могут определяться замки и задвижки. Все они представляют собой фурнитуру и содержатся в специальной библиотеке.

Одним из важных достоинств параметрического проектирования корпусной мебели является возможность полной автоматизации процессов облицовки кромок и расстановки крепежа.

Для облицовки кромок реализовано два алгоритма: облицовка только открытых кромок, или – всех кромок. К открытым относятся те кромки па-

нелей, которые не прикреплены жестко к другим панелям, например, передняя кромка крышки шкафа, все кромки вкладных полок и т.д. Таким образом, облицовка кромок сводится к выбору материала и настройке алгоритма.

Принцип расстановки крепежа реализован аналогично: задаются виды крепежа отдельных структурных элементов, алгоритм расстановки и ряд дополнительных технологических параметров, основным из которых является способ базирования, уточняющий заданный алгоритм. Предусмотрены следующие два способа базирования:

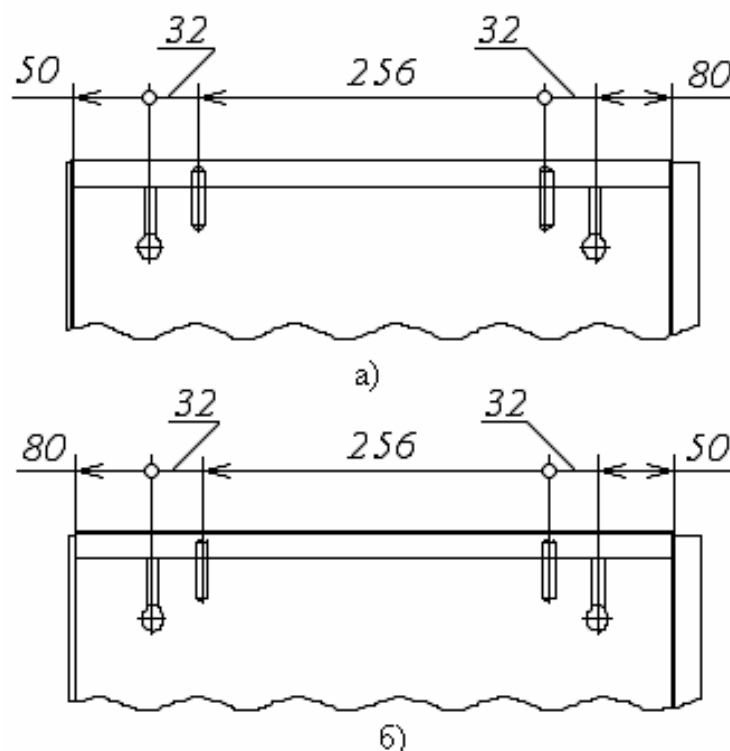
- **симметричное**, предполагающее размещение элементов крепежа симметрично относительно середины прикрепляемой панели с выбранным шагом;
- **от выбранного среза**, при котором первый элемент крепежа устанавливается на расстоянии фиксированного отступа от заднего или переднего среза, а остальные – размещаются в необходимом количестве с заданной кратностью шага, причем минимальное расстояние последнего элемента от противоположного среза не может быть меньше некоторой константы.

На рис. 1.14 показаны примеры расстановки крепежа с базированием от заднего (рис. 1.14, а) и переднего (рис. 1.14, б) срезов со следующими параметрами:

- фиксированный и минимальный отступы – 50 мм;
- глубина изделия – 450 мм;
- кратность шага расстановки – 32 мм.

Алгоритм автоматической расстановки крепежа имеет две дополнительные опции:

- использование шкантов: любой структурной группе элементов шкафа помимо крепежа можно назначить шканты, которые при креплении панелей данной группы будут устанавливаться на заданном расстоянии «внутри» панели от основного элемента крепежа;
- альтернативный крепеж: при размещении панелей на одном уровне в соседних секциях и использовании некоторых видов крепежа может возникнуть ситуация, когда полученную конструкцию невозможно собрать. Для исключения этого используется альтернативный крепеж, элементы которого автоматически устанавливаются в том случае, если использование элементов основного крепежа не допустимо.



**Рис. 1.14. Пример автоматической расстановки крепежа**

В автоматизированном режиме в модели конструируемого шкафа можно, помимо упоминавшихся выше ручек, замков и задвижек, устанавливать следующие виды фурнитуры: опоры, подвески, подпятники, штанги для одежды, подсветка.

Дополнительной конструктивной опцией шкафа является автоматическое построение по заданным параметрам антресольных и угловых секций. Под антресольной секцией (антресолью) понимается секция, совпадающая по ширине со шкафом и расположенная над ним. Сюда относятся не только классические антресоли, но и, например, навесные кухонные полки. Все зависит от конкретных параметров, заданных при построении антресоли. Антресоль помимо боковых стенок может включать в себя вертикальные стенки, вкладные полки и двери.

Угловые секции – это открытые конструкции с полками, расположенные вплотную к одной или двум внешним боковым стенкам шкафа. Параметры построения угловых секций задаются отдельно для каждой внешней стенки шкафа и/или антресоли.

Завершая рассмотрение двух модулей геометрического моделирования, универсального и параметрического, необходимо отметить принципиальное различие между ними, которое коротко можно охарактеризовать следующим образом: использование параметрической модели позволяет

быстро создавать модели ограниченного круга изделий, а использование универсальной модели позволяет создавать модели произвольных изделий, но с существенно бóльшими затратами времени.

Объединение двух модулей конструирования в едином программном комплексе позволяет оптимальным образом объединить их достоинства. Параметрические модели изделий, спроектированные в модуле «БАЗИС-Шкаф», могут оперативно транслироваться в формат универсальной графической системы «БАЗИС-Мебельщик» без потери информации, что позволяет выполнять любую их конструктивную доработку. Фактически это означает существенное расширение того круга изделий, которые могут быть представлены параметрической моделью.

### **1.3.3. Подсистема визуализации объектов проектирования в САПР корпусной мебели**

Важнейшей составной частью САПР мебельных изделий является подсистема трехмерной визуализации моделей. Несмотря на имеющиеся различия в технологии построения визуальных сцен, общими для всех являются требования эффективности, реализма и скорости генерации изображений с учетом цвето-фактурных особенностей материалов.

Подсистема трехмерной визуализации САПР «БАЗИС» разработана на основе графической библиотеки OpenGL; последняя представляет собой широкий набор аппаратно-независимых графических процедур для эффективного создания реалистических изображений с использованием программ, написанных на универсальных языках программирования высокого уровня [42]. Она является встроенной подсистемой в модули геометрического моделирования и может вызываться на любом шаге формирования универсальной или параметрической модели изделия. Основные функциональные возможности подсистемы трехмерной визуализации следующие:

- автоматическое и ручное вращение изображения;
- сглаживание неровностей на ребрах панелей;
- режим фотореалистичного изображения;
- построение перспективной проекции;
- задание соответствия используемых материалов и текстур;
- определение параметров и расстановка источников света.

Цвет фона, на котором отображается модель изделия, может задаваться одним из трех способов: фон заданного цвета, фон с плавным переходом цветов и фон-текстура.

Текстура представляет собой файл с соответствующим рисунком в одном из графических форматов: gif, jpg, jpeg, bmp, emf, wmf. Для реали-

стичной передачи цвето-фактурных особенностей материалов каждому из них ставится в соответствие определенный файл с рисунком текстуры.

Наложение текстуры на поверхность панели может осуществляться по-разному в зависимости от назначенных режимов и числовых значений параметров – шага, смещения и ориентации.

Шаг определяет соотношение между габаритами рисунка, наложенного на панель, и габаритами самой панели. Значения шагов по осям  $X$  и  $Y$  фактически означают линейные размеры фрагмента рисунка при наложении его на панель из данного материала.

Значение смещения используется в том случае, когда необходимо, чтобы начальная точка фрагмента рисунка текстуры не совпадала с левой нижней точкой панели. В случае ненулевого смещения часть фрагментов изображения текстуры на панели будет видна не полностью.

Использование ориентации рисунка текстуры дает возможность реализовать его наложение на панель под различными углами относительно самой панели.

Дополнительными опциями работы с текстурами являются:

- зеркальность, при задании которой каждый фрагмент рисунка текстуры располагается симметрично соседнему фрагменту, что позволяет нивелировать границы (стыки) между ними;
- растяжение, когда независимо от размера панели на нее накладывается единственный фрагмент текстуры. Другими словами, данная опция означает задание значений шагов по осям  $X$  и  $Y$ , равным соответствующим размерам панели при нулевом значении смещения.

Для повышения степени реалистичности трехмерного изображения используются четыре специальных параметра, определенных в диапазоне от 0 до 100 %:

- прозрачность: степень прозрачности, равная 0 %, означает полную непрозрачность, а степень прозрачности, равная 100 %, означает полную невидимость объектов из соответствующего материала;
- зеркальность – свойство материала панели отражать окружающий мир: зеркальность, равная 0 %, означает, что данная поверхность абсолютно не обладает свойством отражать лучи света, а зеркальность, равная 100 %, характеризует идеальное зеркало;
- резкость блика: под бликом понимается яркая область, которую видит наблюдатель, смотрящий на поверхность панели под углом, равным углу падения луча света. Резкость блика, равная 0 %, характеризует точечный блик (точка падения луча на поверхность панели), а резкость, равная 100 %, «размывает» блик на всю поверхность;

- яркость блика: яркость, равная 0 %, означает, что блик не виден, а яркость, равная 100 %, означает, что поверхность полностью отражает источник света в области блика. Другими словами, при малых значениях яркости поверхность выглядит шероховатой, а при больших значениях – хорошо отполированной.

Важным фактором придания реалистичности модели, особенно при проектировании интерьеров, является возможность оперирования источниками света и, соответственно, тенями, отбрасываемыми предметами с возможностью регулирования степени освещенности затененных участков. Рассматриваемая подсистема трехмерной визуализации допускает установку произвольного количества источников света. Они могут быть двух типов: точечными (равномерно светящими по всем направлениям) и направленными (светящими в одном направлении). Характеристиками любых источников света являются их цвет, яркость и дальность действия. Направленные источники имеют три дополнительные характеристики:

- привязанность источника, которая определяет характер изменения направления потока света при перемещении источника;
- размер конуса направленного источника света (угол при вершине конуса);
- ослабление в конусе, которое определяет плавность перехода от света к тени внутри конуса при его попадании на непрозрачную поверхность. При минимальном ослаблении граница света и тени на панели (круг, площадь которого зависит от размера конуса) будет четко очерченной, а при максимальном ослаблении – размытой.

Применение перечисленных возможностей построения трехмерных изображений к моделям мебельных изделий позволяет добиться высокой степени реалистичности изображений, что позволяет совместить проектные операции дизайнерской проработки, геометрического моделирования и конструирования.

#### **1.3.4. Подсистема конструкторско-технологической подготовки производства корпусной мебели**

Формирование математической модели будущего изделия является исключительно важным, но начальным этапом проектирования и производства мебели, во многом определяющим степень автоматизации выполнения всех последующих проектных операций. Итогом конструкторско-дизайнерского этапа ЖЦ мебельных изделий является комплект необходимой текстовой и графической конструкторской документации. Традици-

онно трудоемкий и длительный процесс ее формирования в системе «БАЗИС» заменяется автоматическим получением сборочного чертежа изделия, рабочих чертежей деталей, спецификаций и таблиц операций на изготовление каждой детали, оформленных согласно требованиям действующих стандартов, с возможностью их доработки в ручном и полуавтоматическом режиме.

Объем и основные правила отображения графической информации являются гибко настраиваемыми параметрами в зависимости от условий конкретного предприятия. При формировании чертежей автоматически строятся размерные цепочки для всех отверстий под крепеж, имеющих на каждой детали, причем при наличии на одной детали отверстий под различные крепежные элементы могут строиться как общие, так и отдельные цепочки.

Облицованные кромки панелей обозначаются на чертежах специальным знаком, который содержит условную информацию об облицовочном материале и способе облицовки, например, с подрезкой на толщину кромки или без подрезки.

Любая панель в мебельном изделии имеет две стороны – лицевую и обратную. По умолчанию на чертеже она изображается с лицевой стороны. Однако в зависимости от расположения глухих отверстий под крепеж на сторонах панели автоматически может формироваться симметричный чертеж или одновременно два чертежа – обычный и симметричный.

Для построения размерных цепочек на чертежах предусмотрено использование трех типов размеров:

- цепных размеров, в которых начало каждого последующего (кроме первого) размера совпадает с концом предыдущего;
- размеров с общей размерной линией, имеющих одну общую базу и расположенных на одном уровне;
- размеров от общей базы, имеющих одну общую базу и расположенных на разных уровнях.

При формировании чертежно-конструкторской документации используется обширная группа настроек, позволяющая максимально адаптировать этот процесс под требования конкретного предприятия. Наиболее значимыми из них являются:

- способ использования и написания допусков и качества;
- точность вычисления линейных и угловых размеров;
- выбор варианта базирования с возможностью простановки размеров от двух баз;

- масштаб отображения деталей, который может быть общим для всего комплекта, или автоматически подбираться для каждой из них по критерию наилучшей «читаемости» чертежа;
- состав комплекта документации.

Спецификация является важным документом, содержащим информацию о количественном и качественном составе изделия, в том числе и с точки зрения интеграции отдельных этапов его ЖЦ. По этим причинам предусмотрено гибкое регулирование структуры, объема и вида заносимой в нее информации, а также трансляция спецификации в ряд стандартных форматов хранения данных.

Комплект документации на производство мебельного ансамбля является достаточно объемным, поэтому для его хранения (совместно с математической моделью) разработана специальная проблемно-ориентированная библиотека.

Для доработки любых автоматически сформированных документов существует специальный блок оформления, реализующий в автоматизированном режиме все предусмотренные стандартами операции:

- простановка и редактирование всех допустимых типов размеров с автоматическим контролем их соответствия стандартам;
- формирование основной надписи;
- простановка всех возможных специальных обозначений (шероховатости, допуска форм и расположения поверхностей и разрезов и сечений т.п.);
- формирование любых текстовых надписей технического характера, в том числе технических требований и таблиц;
- автоматическая штриховка любых областей после указания ограничивающего контура.

Одной из основных операций технологической подготовки производства мебельных изделий является получение карт раскроя плитных и листовых материалов на прямоугольные заготовки, а также карт раскроя погонажных материалов. Эта задача имеет два одинаково важных аспекта: уменьшение непроизводительных отходов материалов и обеспечение технологичности получаемых карт. Если первая задача считается классической и имеет соответствующий математический аппарат [43, 44], то вторая задача стала актуальной после появления высокопроизводительных форматно-раскроечных станков.

Станки различаются между собой следующими технологическими параметрами, влияющими на разработку карт раскроя:



- количеством пильных агрегатов продольного и поперечного направлений пиления;
- ограничениями в схемах раскроя: размерами максимальной и минимальной ширины отрезаемой полосы, минимальным расстоянием между поперечными и между продольными пилами, наличием обязательных сквозных продольных или поперечных пропилов;
- максимальными размерами обрабатываемого материала;
- точностью раскроя;
- чистотой кромки, получаемой при пилении;
- максимальной высотой пропила, а, следовательно, и числом одновременно раскраиваемых плит;
- толщиной используемых пил.

Карты раскроя, представляющие собой графическое изображение расположения заготовок на стандартном формате подлежащего раскрою материала, помимо основного назначения в качестве технологических инструкций для операторов, содержат сведения, необходимые для автоматизации ряда расчетов на последующих этапах ЖЦ, таких как:

- материалоемкость изделия;
- полезный выход материала при раскрое;
- потребное количество материала для обеспечения производства;
- трудозатраты на выполнение операций по раскрою материала;
- нормирование операций.

Существуют три схемы раскроя: продольный, поперечный и смешанный. Поперечный и продольный раскрои встречаются в самостоятельном виде достаточно редко, обычно поперечный раскрой является продолжением продольного раскроя. В модуле «БАЗИС-Раскрой» реализована смешанная схема раскроя прямолинейными сквозными резами, которая используется на подавляющем большинстве видов оборудования.

Качество карт раскроя материалов оценивается по следующим основным показателям:

- процент полезного выхода материала, или коэффициент использования материала (КИМ);
- комплектность получаемых при раскрое панелей в соответствии с объемом производства;
- минимальная трудоемкость процесса раскроя.

КИМ рассчитывается как отношение суммы площадей полученных заготовок к сумме площадей полноформатных листов (плит):

$$K = \frac{\sum_{i=1}^q S_i n_i}{\sum_{j=1}^t S_j m_j} \cdot 100 \text{ (\%)}. \quad (1)$$

В модуле «БАЗИС-Раскрой» предусмотрена дифференциация получаемых отходов на деловые обрезки, которые имеют достаточные размеры и могут быть использованы при последующих операциях с данным материалом, и собственно отходы, предназначенные к утилизации. Критерий дифференциации задается пользователем, исходя из конкретных технологических условий. КИМ рассчитывается с учетом деловых обрезков, информация о которых сохраняется в специальной базе данных и предоставляется автоматически перед началом работы с новым материалом.

Список деталей, подлежащих раскрою, содержит информацию о номерах их позиций на сборочном чертеже, размерах, количестве деталей данной позиции в изделии, наличии или отсутствии у них направленного рисунка и количестве панелей данного размера на складе. Организационной мерой повышения КИМ является параллельная организация двух подобных списков – основного и дополнительного. Основной список состоит из деталей, которые нужно раскроить в определенный промежуток времени для реализации плана производства (текущий объем работ). Дополнительный список – это планируемый список заготовок (часть перспективного объема работ). Алгоритм работы с двумя списками состоит в следующем: после раскроя деталей основного списка выполняется автоматический раскрой деталей дополнительного списка на отходах и обрезках, оставшихся после раскроя основного списка.

Параметр комплектности панелей в соответствии с объемом производства при интеграции модуля раскроя в комплексную САПР мебельных изделий не требует количественной оценки. Он обеспечивается автоматически при передаче моделей изделий из модуля конструирования в модуль раскроя.

На трудоемкость раскроя и, соответственно, последующего процесса организации технологического потока влияет состав деталей в карте раскроя. Наиболее общими являются требования минимального количества типоразмеров деталей при раскросе одного листа, повторения одинаковых деталей в разных картах раскроя и поворотов плиты (перебазирований).

В модуле «БАЗИС-Раскрой» реализована многокритериальная оптимизация карт раскроя с настраиваемым пользователем приоритетом (порядком значимости) действия критериев. В качестве критериев используются следующие показатели:

- максимальное значение КИМ;
- минимальное количество резов;
- минимальная общая длина резов;
- оптимальные размеры обрезков с точки зрения их дальнейшего использования;
- минимальная перенастройка оборудования.

Технологичность карт раскроя определяется наличием большого количества варьируемых параметров, учитывающих технологические особенности используемого оборудования. К ним, в частности, относятся:

- максимальная длина реза, которая определяет направление первого реза: если максимальный пропил, который можно выполнить на станке меньше длины раскраиваемого листа, то первый рез обязательно будет поперечным;
- ориентация первых резов;
- величина отступа от каждого края плиты для первого пропила;
- ширина реза (пропила), определяемая толщиной пилы;
- кратность округления размеров деталей при импорте математической модели;
- вид раскроя: черновой (раскрой с припуском) или чистовой.

Дополнительными возможностями являются определение объема и формы представления информации на картах раскроя, задание количества комплектов раскраиваемого изделия (включая его автоматический подбор в пределах выбранного интервала с точки зрения заданного приоритета действия критериев оптимизации) и автоматическое формирование бирок, идентифицирующих детали и деловые обрезки. Последняя возможность является исключительно важной для обеспечения «прослеживаемости» деталей особенно для мебельных предприятий, которые работают с большой номенклатурой изделий или изготавливают мебель по индивидуальным заказам.

Формирование карт раскроя материалов является итерационным процессом, сходимость которого зависит от имеющихся геометрических и выбранных технологических параметров. В модуле «БАЗИС-Раскрой» предусмотрена возможность перебора значительного количества вариантов раскроя при варьировании допустимых параметров, например, учета наличия направленного рисунка на неотчетливых панелях мебельного ансамбля.

В силу того, что информация, получаемая при раскрое деталей мебельного ансамбля, актуальна для последующих этапов ЖЦ предусмотрен ее экспорт в стандартные форматы хранения данных.

Автоматизация мебельного производства предполагает использование современного станочного оборудования с ЧПУ. Значительная часть информации, требуемой для его работы, содержится в математической модели изделия. В состав системы «БАЗИС» включен модуль автоматической передачи данных о контурах панелей сложной формы в системы управления наиболее распространенных моделей станков с ЧПУ и обрабатывающих центров. Он требует минимального участия технолога, заключающегося только в составлении необходимого списка панелей, выборе типа оборудования и задании нескольких уточняющих технологических параметров.

Математическое описание мебельного изделия, формируемое в процессе геометрического моделирования, содержит достаточную информацию для выполнения ряда экономических расчетов, включая расчет себестоимости и цены проектируемого изделия. Механизм сопутствующих материалов и операций, априорно включаемый в формируемую модель, позволяет настроить алгоритм расчета стоимостных показателей с требуемой детализацией статей затрат по каждой позиции:

- стоимость материалов, из которых изготавливается изделие;
- стоимость работ, необходимых для его изготовления;
- накладные расходы;
- налоги и арендные платежи;
- амортизация оборудования и инструмента;
- стоимость расходных материалов и энергии;
- стоимость работы дизайнеров, конструкторов, технологов, вспомогательного и обслуживающего персонала;
- планируемая прибыль предприятия.

Для автоматического расчета экономических показателей в соответствии со значениями реальных расходов предприятия (модуль «БАЗИС-Смета») необходимо корректно заполнить базу данных материалов и операций, установить зависимость статей расходов от параметров составных частей проектируемых изделия и настроить параметры выходных документов.

Нормирование операций также выполняется автоматически, их трудоемкость рассчитывается на основании параметров, имеющих в математической модели. Степень детализации технологических операций определяется исходя из реально существующей технологии: их можно дифференцировать на простые операции и переходы, или использовать укрупненные комплексные операции. Это зависит от следующих условий:

- вида производства (единичное или серийное);

- вида оборудования (ручной инструмент, универсальное оборудование или автоматизированные линии);
- желаемого уровня детализации расчета трудозатрат.

Дополнительной опцией при выполнении экономических расчетов является возможность объединять материалы, комплектующие и операции в классы. Это позволяет формировать выходные документы в требуемом виде и гибко учитывать все расходы, составляя математические зависимости с учетом различных весовых коэффициентов для элементов разных классов, а также анализировать и планировать производственный процесс.

Полный список материалов и комплектующих проектируемого изделия, получаемый при расчете стоимости, является основой для автоматического формирования заявки на комплектацию, передаваемой непосредственно в систему автоматизации складского учета (модуль «БАЗИС-Склад»).

Для интеграции модуля «БАЗИС-Смета» с автоматизированными системами управления предприятием (АСУП) предусмотрен экспорт результатов его работы в стандартные форматы обмена данными.

### **1.3.5. Автоматизация приема заказов на корпусную мебель**

Реализация мебельных изделий является завершающим этапом проектно-технологического участка их жизненного цикла. На нем решаются следующие задачи:

- формирование электронных каталогов всей номенклатуры выпускаемых изделий;
- моделирование интерьеров помещений заказчиков;
- расстановка выбранных изделий в виртуальном помещении с возможностью вариации цвето-фактурных решений, фурнитуры, декоративных элементов и т.д.;
- получение точной стоимости решения в оперативном режиме на любом этапе взаимодействия с заказчиком;
- формирование полного комплекта документов для оформления договорных отношений с заказчиком и дальнейшего движения заказа с возможностью отслеживания его прохождения от момента подписания договора до момента отгрузки изделий и оперативного получения необходимой текущей информации.

В системе «БАЗИС» эти функции реализованы в модуле «БАЗИС-Салон», который структурно состоит из трех частей (так называемых программ-менеджеров):

- менеджер электронных каталогов, по которым впоследствии будет производиться представление и реализация продукции;
- менеджер приема заказа, предназначенный для комплектации, компоновки и визуализации заказа, а также для оформления необходимых документов;
- менеджер обработки заказа, служащий для трансляции принятого заказа в производственное задание.

Электронный каталог изделий представляет собой базу данных, в которой хранятся математические модели изделий, созданные в модулях геометрического моделирования. Она имеет развитые средства администрирования, включая аппарат защиты от несанкционированных действий, реализованный через механизм разделения прав доступа, а также и индивидуальных идентификаторов и паролей. Помимо моделей изделий в электронный каталог включаются вариантные элементы: материалы, фурнитура, комплектующие и т.д.

Для повышения гибкости работы модуля предусмотрено три способа взаимодействия с покупателем:

- выбор нужных изделий непосредственно из каталога без моделирования интерьера;
- расстановки мебели в виртуальном помещении;
- комбинация первых двух способов.

Заказ, сформированный в модуле «БАЗИС-Салон», полностью совместим со структурой информации в системе «БАЗИС», поэтому может быть передан на соответствующий конструкторско-технологический этап ЖЦ без каких-либо доработок и модификаций.

### **1.3.6. Ограничения традиционной парадигмы проектирования САПР**

Основные цели внедрения САПР на мебельных предприятиях в условиях конкурентного рынка – значительное сокращение сроков реализации проектов, снижение себестоимости изделий и минимизация количества субъективных ошибок – при использовании традиционной геометрической парадигмы достигаются лишь частично. Причины этого заключаются в следующем:

- геометрически ориентированные модели изделий не содержат таких важных компонентов реализации проектных операций ЖЦ, как конструктивно-структурное представление мебельного ансамбля, конструкторско-технологические требования и ограничения, рас-

чет напряженно-деформированных состояний, контроль качественных показателей;

- детерминированность геометрических моделей, следствием которой является сложность внесения конструктивно-технологических изменений в проект;
- поэтапная раздробленность единого процесса концептуального проектирования, конструирования, технологической подготовки и производства мебельных ансамблей, причина которой в отсутствии единой математической модели, удовлетворяющей совокупному множеству требований всех этапов;
- фактическое разделение и обособление процессов геометрического моделирования и формирования конструкторско-технологической документации вследствие отсутствия ассоциативных связей между ними;
- необходимость ведения разнородных баз данных, формально относящихся к одной и той же математической модели, что неизбежно ведет к дублированию информации, отсутствию синхронизации и возможной потери части данных.

Таким образом, задача научно-теоретической разработки новой парадигмы проектирования САПР, ориентированной на использование в позаказном промышленном производстве и основанной на принципах использования единой математической модели (CALS-технология, параллельная инженерия) и ее практическая реализация становится особенно актуальной на современной стадии развития мебельной промышленности. Интеграция конструкторско-технологических и производственных этапов ЖЦ на основе структурно-атрибутивной модели позволит реализовать технологию двунаправленной ассоциативности в реализации всех проектных операций с мебельными ансамблями, что позволит в полной мере использовать потенциал автоматизированных систем нового поколения.

## **ГЛАВА 2**

### **НОВАЯ ПАРАДИГМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ САПР СЛОЖНОЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЗАКАЗНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Как известно, существует определенное противоречие между мебельным предприятием и конкретными потребителями его продукции. Оно состоит в том, что производитель мебели стремится выпускать унифицированную продукцию, эффективно используя имеющиеся у него определенные технологии, т.е. условия, способы и средства производства, а почти каждая семья – приобрести разнообразную мебель, для того чтобы превратить свою типовую квартиру в удобную, красивую и оригинальную среду обитания.

Позаказное промышленное производство корпусной мебели позволяет если не ликвидировать, то существенно смягчить это противоречие, предлагая потребителям обширную номенклатуру типов изделий, широкий выбор облицовочных материалов, комплектующих и аксессуаров. В ограниченные сроки подготовить несколько десятков и тем более сотен проектов мебельных изделий и сконструировать на их основе мебельные ансамбли, удовлетворяющие самым взыскательным вкусам покупателей, – невозможно без эффективного использования современных САПР.

При разработке специализированных САПР мебели, базирующихся на универсальных графических системах и предназначенных для использования в условиях позаказного производства, необходимо учитывать:

- особенности проектирования мебельных изделий как инженерно-художественных объектов;
- особенности позаказного производства как перспективного способа изготовления мебели в промышленном масштабе;
- возможность интеграции САПР с автоматизированной системой управления предприятием.

#### **2.1. Позаказное промышленное производство корпусной мебели**

В современных экономических условиях платежеспособный спрос на мебель в России невелик и, как отмечалось ранее, оценивается приблизительно в 1,5 млрд долл. США (тогда как отложенный спрос, т.е. реальная потребность в мебели, составляет около 5,5 млрд долл.). Низкий потреби-



тельский спрос вынуждает отечественные мебельные предприятия в буквальном смысле бороться за каждого платежеспособного покупателя, чтобы обеспечить сбыт своей продукции. В неблагоприятных экономических условиях один из возможных путей выживания для отечественных мебельщиков заключается в отказе от традиционного серийного производства мебели и переходе к позаказному промышленному производству, которое позволяет обеспечить в значительной мере гарантированный сбыт произведенной продукции.

Безусловно, серийное производство, по сравнению с позаказным, имеет ряд преимуществ, главным образом, для производителя. Однако даже при благоприятной ситуации на рынке производители серийной мебели вынуждены нести ощутимые издержки, связанные с необходимостью «замораживания» значительной доли капитала в виде запаса материалов и комплектующих, немалых затрат на транспорт и содержание обширных складских площадей для материалов, полуфабрикатов (деталей) и готовой продукции. И, конечно же, наиболее серьезный недостаток серийного производства – ограниченность предлагаемых вариантов мебели. В условиях рыночной экономики перечисленные факторы часто являются определяющими при принятии решения о переходе к позаказному изготовлению мебели.

Приемлемым способом перехода к позаказному производству для предприятий, осуществляющих традиционный серийный выпуск мебели, является реализация следующей двухступенчатой схемы. Вначале осуществляется техническое перевооружение предприятия с целью организации на нем гибкого мебельного производства, ориентированного на выпуск серийной продукции [45]. Затем, после накопления определенного опыта и необходимых финансовых ресурсов, выполняется реинжиниринг бизнес-процессов и модернизация информационной инфраструктуры предприятия, чтобы привести ее в соответствие с требованиями позаказного промышленного производства.

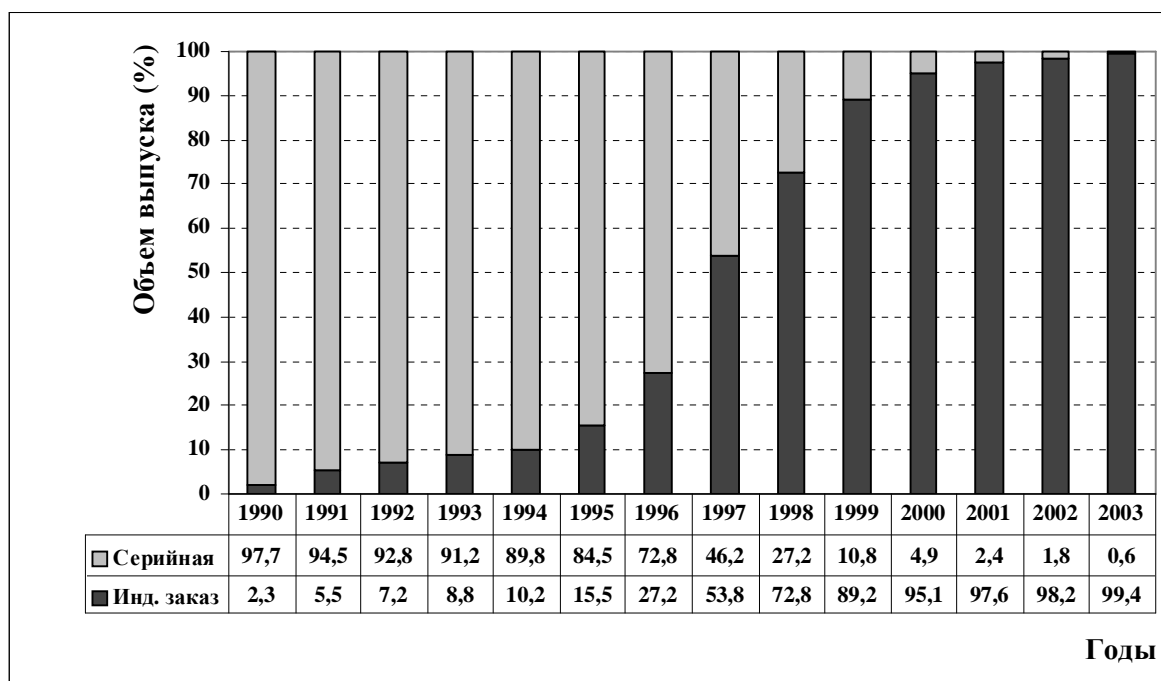
### **2.1.1. Разновидности организации позаказного производства мебели**

В Западной Европе, в отличие от России, большинство мебельных предприятий ориентировано на работу по индивидуальным заказам клиентов [46]. По серийной схеме там работают лишь крупные производители недорогой разборной мебели, которая реализуется через специальную торговую сеть (например, компании IKEA, Porta и некоторые другие). При этом различают две разновидности позаказного производства. Одна из них, практически не ограничивающая варианты исполнения мебели, пред-

полагает наличие только склада материалов (склады промежуточного хранения и готовой продукции отсутствуют), при этом все мебельные детали изготавливаются на предприятии в соответствии с полученным конкретным заказом. Таким образом, небольшие (так называемые семейные) предприятия могут существенно снизить свои непроизводственные издержки и долю связанного капитала. Очевидные недостатки данной разновидности – сравнительно сложные производственные процессы и длительный срок изготовления заказа, составляющий от 30 до 90 суток.

В то же время на большинстве западных предприятий используется другая разновидность позаказного производства, в которой пытаются совместить положительные стороны индивидуального (единичного) и серийного производства. Кратко ее суть заключается в следующем: наиболее востребованные детали и комплектующие для мебельных изделий выпускаются серийно и хранятся на промежуточном складе, а специфические детали и, возможно, отдельные изделия, обеспечивающие многовариантность (вариабельность) продукции и составляющие относительно небольшую часть общей производственной программы, – под конкретные заказы.

Первыми среди российских мебельных предприятий, перешедших к производству по индивидуальным заказам, были фабрики по выпуску кухонной мебели. Ряд из них уже со второй половины 1990-х гг. изготавливают мебель преимущественно по заказам потребителей (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Динамика изменения объемов выпуска серийной и заказной кухонной мебели в ОАО «Графское» (п. Краснолесный, г. Воронеж)**

Анализ причин, приводящих к подобным нежелательным результатам, показал их объективную и субъективную природу. Так, например, снижение производительности труда на отдельных участках обусловлено усложнением структуры технологических операций, что приводит к увеличению общей продолжительности производственного цикла. Более сложный технологический маршрут и возможная его вариабельность, в свою очередь, предопределены изменением дизайна и повышением уровня сложности конструкции проектируемых мебельных изделий (применение гнутых, филенчатых, решетчатых, фигурных и других типов фасадов), внедрением новых технологий для производства столешниц, в том числе с использованием композитных материалов. Наконец, изменение дизайна и конструкции изделий – это следствие постоянно повышающихся требований потребительского рынка, удовлетворение которых является залогом успешной работы предприятия.

В этих условиях предприятие вынуждено искать пути оптимизации своих организационных и производственно-технологических схем. В частности, была выбрана указанная выше вторая «западноевропейская» разновидность организации производства, когда под конкретный заказ изготавливаются фасадные элементы мебельных изделий (дверцы, накладки ящиков, фасадные панели и т.п.), столешницы, карнизы и настенные панели, характеризующиеся разнообразием конфигураций, размеров и расцветок. Большинство же деталей корпусов изделий заготавливаются впрок и складываются в удобном для доступа и транспортировки месте (например, на межцеховом или промежуточном складе). При этом количество вариантов расцветки облицовки для таких деталей обычно ограничено, легко поддается анализу и прогнозированию.

Таким образом, изготовление деталей корпусов изделий может быть организовано по традиционной серийной или мелкосерийной схеме, характеризующейся более рациональным планом загрузки оборудования с минимальным числом операций по его переналадке. Кроме того, эта схема обеспечивает подготовку оптимальных (по критерию минимума отходов) карт раскроя листовых материалов (ДСтП, МДФ, ДВП, ДБСП и других), что важно, учитывая высокую материалоемкость мебельного производства.

Подобная гибридная организация мебельного производства в дальнейшем будет называться позаказным промышленным производством. В отличие от традиционного серийного и массового выпуска мебели, позаказное производство имеет ряд особенностей, описанных ниже.

### **2.1.2. Особенности позаказного промышленного производства мебели**

Очевидно, что в условиях достаточно насыщенного рынка для успешной реализации сбытовой программы промышленное предприятие должно выпускать продукцию, которая, как минимум, имеет одно из следующих конкурентных преимуществ:

- более высокое качество, чем продукция конкурентов (при одинаковом уровне цен на нее);
- более низкую цену, чем продукция конкурентов (при одинаковом уровне качества);
- более широкую номенклатуру, чем продукция конкурентов (при одинаковых уровнях цены и качества).

Кроме того, важным преимуществом является наличие у предприятия возможностей для изготовления и поставки продукции потребителям в более короткие сроки, чем это могут сделать конкуренты.

При позаказном мебельном производстве перечисленные выше условия имеют следующие специфические особенности:

- повышенные требования к качеству продукции, поскольку у каждого заказа имеется конкретный «адресат» – заказчик, или клиент, который любые ошибки проектирования и производственные дефекты часто воспринимает как «личное неуважение»;
- жесткие временные ограничения на сроки изготовления мебели (по той же причине, что и указанные в предыдущем пункте требования к качеству продукции);
- высокая финансовая ответственность исполнителя заказа за выполнение требований, отраженных в первом и втором пунктах, приведенных выше;
- формирование «цепочки ответственности» при организации и использовании дизайнерских студий, осуществляющих прием заказов у клиентов (с учетом требования, указанного в предыдущем пункте).

Как было отмечено выше, многие небольшие и средние мебельные предприятия полностью, а некоторые крупные предприятия (например, АОЗТ «Первая мебельная фабрика», г. Санкт-Петербург) частично перешли к производству мебели по индивидуальным заказам потребителей. В то же время большинство крупных предприятий продолжают серийный выпуск корпусной мебели. Однако в целях повышения конкурентоспособности своей продукции они вынуждены значительно сократить сроки раз-

работки и подготовки к запуску в производство новых изделий мебели и мебельных наборов и, кроме того, повысить частоту смены номенклатуры. При серийном выпуске мебели это достигается организацией на предприятиях гибкого производства.

Таким образом, современные экономические реалии поставили перед отечественными мебельными предприятиями, независимо от их специализации и модели организации производства, сложный комплекс задач, которые необходимо решать в условиях дефицита оборотных средств и времени. Одной из таких задач является формирование эффективной маркетинговой службы предприятия, которая обеспечила бы систематический мониторинг мебельного рынка и анализ его состояния с целью отыскания возможностей для увеличения сбыта продукции, быстрого реагирования на изменение конъюнктуры рынка, учета запросов отдельных групп потребителей, продвижения мебельной продукции в соседние и более отдаленные регионы. Организация подобной службы невозможна без решения задачи информационной поддержки, выполнение которой требует создания специализированной маркетинговой информационной системы (МИС), включающей в себя, помимо прочего, программные модули для статистической обработки производственных данных и прогнозирования [47, 48].

Задача организации производственного прогнозирования на предприятиях мебельной промышленности имеет особую актуальность. Анализ данной задачи показывает, что использование одних лишь качественных или простых количественных методов прогнозирования не позволяет оперировать достоверными результатами и, соответственно, оптимальным образом выстраивать свою линию поведения в современных экономических условиях. Для этого требуется применять более адекватные модели и методы (например, метод АРПСС – авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего), привлекая для их обработки современные технические и программные средства [49].

При производстве мебели по индивидуальным заказам особое значение имеет задача организации приема заказов, предполагающая создание сети дизайнерских студий или бюро [9, 10]. Примером успешного решения подобной задачи является известная не только в Германии, но и в других странах Западной Европы, сеть дизайнерских бюро KüchenStudio, осуществляющих прием заказов от населения на изготовление кухонной мебели. Заказчик, обращаясь в подобное бюро, видит образцы мебели – варианты фасадов, оснащения, компоновки, и при содействии дизайнера-продавца, использующего специально разработанную компьютерную программу проектирования интерьера, осуществляет подбор необходимых моделей изделий и вариантов их отделки, формируя тем самым проект оборудования

интерьера своей кухни (виртуальный интерьер). Сделав заказ и подтвердив его договором или оплатой аванса, заказчик ожидает поступления изделий в оговоренный, достаточно короткий срок. В это время дизайнерское бюро, подготовив полную спецификацию заказа, включающую как характеристику комплекта изделий в целом, так и каждого изделия в отдельности, передает ее изготовителю [50].

Аналогичный подход к приему заказов на изготовление кухонной мебели реализован и на ряде предприятий в России. Например, в ОАО «Графское» (п. Краснолесный, г. Воронеж) подобным образом принимают заказы уже на протяжении десяти лет, используя специально разработанные программы GRAF, GRAF2, PostFactum и WinGRAF [51–53]. В настоящее время дизайнеры и продавцы-консультанты, работающие в фирменных магазинах-салонах «Графская кухня», с помощью программы WinGRAF [54] проектируют интерьер кухни в соответствии с пожеланиями и требованиями клиента и рассчитывают общую стоимость заказа. При этом используются модельные и типоразмерные ряды изделий, разработанные конструкторско-дизайнерской службой предприятия. При необходимости размеры каждого изделия, включаемого в проект интерьера, могут быть изменены. Программа контролирует их соответствие действующим на предприятии конструкторско-технологическим требованиям и ограничениям (КТТО)<sup>4</sup>.

На основании полученной информации программа автоматически формирует «клиентские» документы (договор-заявка, накладная, эскизное изображение проекта интерьера), а также полную спецификацию заказа и производственные задания для цехов, в дальнейшем передаваемые на мебельный комбинат в электронном виде (по электронной почте или, как запасной вариант, с использованием съемных магнитных носителей – дискет).

Заказы, переданные на комбинат, накапливаются в электронной базе данных, которая используется большинством служб, решающих задачи маркетинга, сбыта, подготовки производства. В частности, отдел технической подготовки производства в соответствии с директивными сроками изготовления и, возможно, приоритетами, установленными руководством для некоторых заказов, решает задачу формирования производственной программы предприятия. Для этой цели в нем используется производственный модуль программы WinGRAF, который, оперируя заданным списком зака-

---

<sup>4</sup> Это отличается от принятого в KüchenStudio подхода, когда размеры изделий заранее заданы и фиксированы, а незаполненное пространство маскируется с помощью фальш-панелей, ширина которых изменяется с шагом 50 мм.

зов и содержимым базы данных, автоматически формирует сводное производственное задание для всех цехов и участков [53, 55].

Отслеживание потока заказов в постоянно пополняемой базе данных в соответствии с указанной датой исполнения каждого из заказов осуществляется с помощью специально разработанной программы PostFactum. Ее основное назначение – фиксировать текущее состояние каждого заказа (принят, отложен, ожидает, запущен в производство, готов, отгружен) и сигнализировать об истечении времени ожидания для заказа и необходимости включения его в текущий список для формирования сводного производственного задания. Это позволяет предупредить возникновение крайне неприятной ситуации, когда заказ по каким-либо причинам теряется на этапе технической подготовки или при прохождении по запланированному технологическому маршруту.

Подобный прагматический подход к приему, планированию и осуществлению контроля прохождения заказов по технологическому маршруту реализован и на других мебельных предприятиях России. Например, в концерне «GARDY» (г. Санкт-Петербург) он реализован при приеме заказов на изготовление шкафов-купе с помощью программного комплекса Armario [56, 61].

## **2.2. Автоматизированное проектирование корпусной мебели в условиях позаказного промышленного производства**

Позаказное промышленное производство должно сочетать в себе такие важнейшие положительные черты серийного производства, как высокий уровень качества изготовления изделий и большие объемы выпуска мебельной продукции. В то же время, оно должно учитывать индивидуальные запросы потребителей, касающиеся дизайна формы и цветовой гаммы как отдельных изделий, так и мебельных ансамблей в целом. В результате имеет место «конфликт» ряда критериев, относящихся к различным представительским уровням: внешнему, или потребительскому, и внутреннему, или производственному (рис. 2.2). Эффективное разрешение данного конфликта возможно лишь при смене существующей парадигмы проектирования корпусной мебели, которая, как отмечалось выше, направлена в основном на автоматизацию рутинных конструкторских операций.



*Рис. 2.2. Критерии потребительского и производственного уровней*

Различие критериев, используемых на внешнем и внутреннем уровнях представления объекта проектирования и производства, приводит к необходимости дополнительных согласований и изменений в спецификации заказа, причем зачастую уже после того, как он принят и оформлен. Все это, безусловно, сказывается и на качестве продукции, и на сроках ее изготовления, и на степени удовлетворенности конечного потребителя мебели.

В соответствии с новой парадигмой проектирования корпусной мебели необходимо разделить уровни знаний (компетенции) специалистов, работающих непосредственно с потребителями (заказчиками), и специалистов, занятых на мебельном производстве. Несмотря на то, что в условиях позаказного производства реализация продукции является неотъемлемой



частью полного жизненного цикла мебельных изделий, осуществляющие ее специалисты (дизайнеры по интерьеру, продавцы-консультанты, менеджеры мебельных салонов) практически отчуждены от самого производства. В основной своей массе они не владеют всей полнотой конструкторских и технологических знаний относительно реализуемой ими продукции, а имеющаяся у них информация часто представляет собой сведения рекламного характера.

Доскональное знание технологических особенностей конкретного предприятия – прерогатива специалистов (дизайнеров-конструкторов, конструкторов-технологов, технологов), непосредственно участвующих в производственно-технологических процессах данного предприятия. В этой связи одна из основных целей новой парадигмы проектирования заключается в обеспечении формального подхода, позволяющего распространить необходимый объем знаний внутреннего (производственного) уровня на внешний (потребительский) уровень [57]. В качестве важнейшего элемента такого подхода выступает объектная структурно-атрибутивная модель (ОСАМ) мебельного изделия, позволяющая минимизировать частоту непосредственного общения специалистов разных уровней при оформлении заказа (см. выше рис. 2.2).

Как показывает отечественная практика, в ряде случаев до 70 % общего количества дефектов, обнаруживаемых в готовой технической продукции, вызваны ошибками в конструкторских решениях, а остальные 30 % ошибок обусловлены недостатками технологии изготовления или происходят по вине рабочих [58]. Таким образом, большая часть ошибок, выявляемых при проектировании, производстве и эксплуатации сложных изделий, совершается именно на этапе проектирования. Это связано с высоким уровнем субъективизма, называемого также «человеческим фактором», который является обязательной составляющей всех интеллектуальных процессов, включая и проектирование.

В условиях позаказного промышленного производства мебели уменьшение количества ошибок проектирования является первоочередной задачей. Для ее решения в рамках новой парадигмы предлагается разделить общий процесс проектирования мебельных изделий на два относительно обособленных этапа: *инжиниринг*, или эскизное проектирование, и *реинжиниринг*, или возвратное проектирование [59]. Подобное разделение предполагает параллельное выполнение указанных этапов проектирования и существенным образом изменяет сложившуюся парадигму проектирования изделий корпусной мебели (рис. 2.3).



*Рис. 2.3. Этапы инжиниринга и реинжиниринга в общей структуре процесса проектирования изделий корпусной мебели*

При традиционной парадигме этап эскизного проектирования завершается разработкой проектной документации, необходимой для выполнения последующего рабочего проектирования конкретного изделия. Добиться высокого уровня автоматизации эскизного проектирования в рамках распространенных САПР корпусной мебели достаточно сложно в силу информационной ограниченности используемых ими геометрических моделей. Данные модели не содержат всей полноты информации, необходимой для перехода к абстрактным моделям, включающим, в частности, алгоритмы реализации сопряжения деталей изделий между собой, методы контроля соответствия модели технологическим требованиям и ограничениям и т.д. В силу этого для автоматизации эскизного проектирования (инжиниринга) требуется специализированное программное обеспечение.

Согласно новой парадигме проектирования на этапе инжиниринга конструктор, используя доступные ему инструментальные средства, фор-

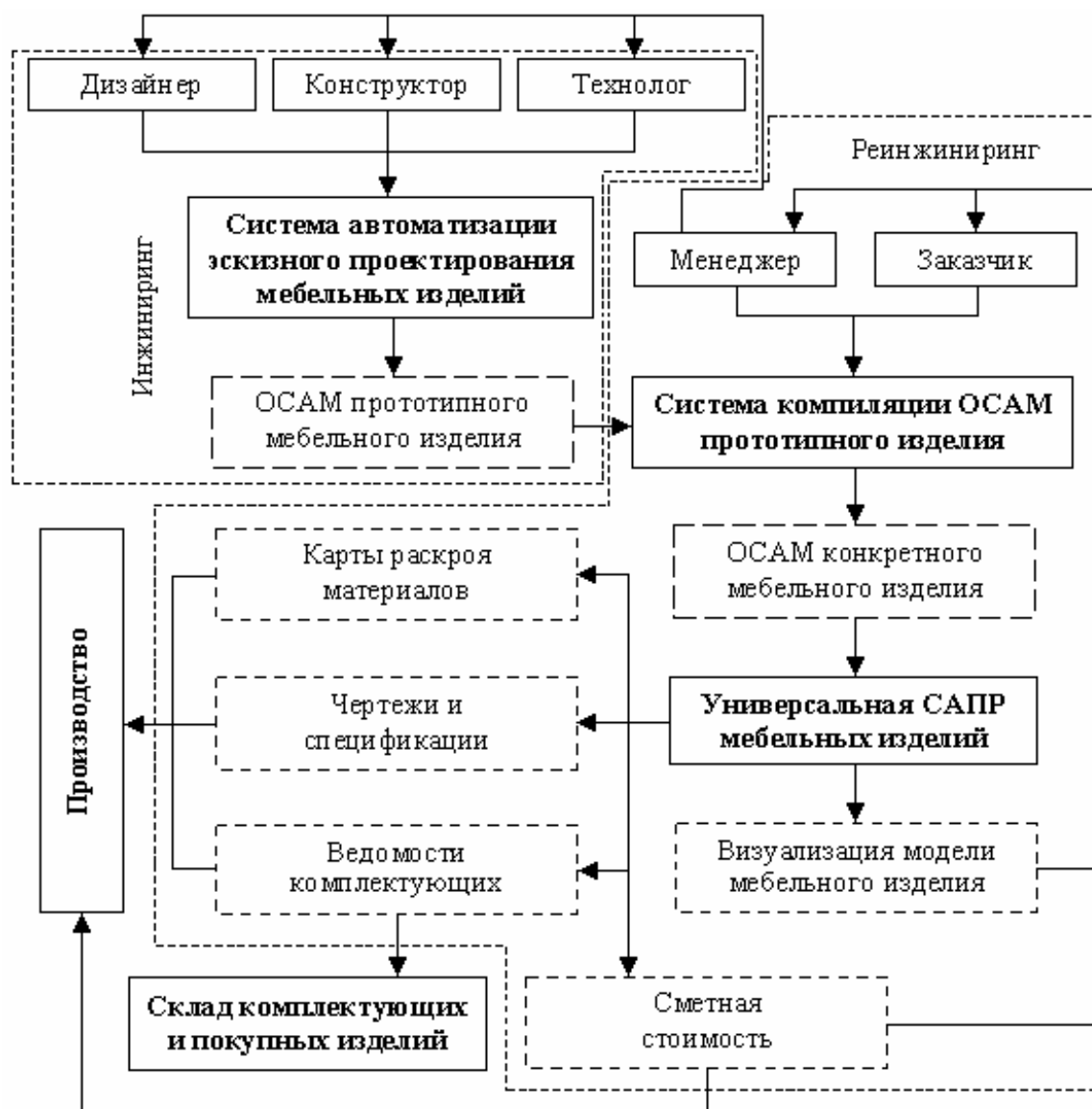
мирует модель прототипного мебельного изделия или, более кратко, прототипную модель. В этой модели должны быть учтены требования, отраженные в техническом задании, а также данные о технологических возможностях предприятия, представленные в структурах КТТО. Кроме того, в ходе инжиниринга в прототипную модель включаются две группы алгоритмов (методов):

- алгоритмы реструктуризации, предназначенные для определения правил компиляции прототипных моделей в модели конкретных мебельных изделий;
- алгоритмы контроля, гарантирующие безошибочность выполнения проектных операций на этапе реинжиниринга.

Этап реинжиниринга прототипной модели выполняется дизайнером по интерьеру при приеме индивидуального заказа на мебельное изделие или на группу изделий (мебельный ансамбль). Он включает в себя две основные проектные процедуры – реструктуризацию прототипной модели и возвратное проектирование конкретного мебельного изделия.

Процедура реструктуризации обеспечивает преобразование прототипной модели без понижения уровня абстрактного представления проектируемого мебельного изделия. С помощью инструментальных средств реинжиниринга дизайнер получает доступ к полям информационных структур, описывающим прототипную модель. Ввод данных в эти поля контролируется алгоритмами реструктуризации, заданными на этапе инжиниринга, что в достаточной степени гарантирует безошибочность разрабатываемой модели. При этом используется комплекс КТТО, представляющий собой базу данных, в которой содержится структурированный перечень предельных и оптимальных параметров проектирования, а также формальных алгоритмов контроля соответствия прототипного изделия этим параметрам. Таким образом, несмотря на то, что при реструктуризации модель изделия претерпевает определенные изменения, она, с одной стороны, не выходит за рамки технологических возможностей производства, с другой стороны, не нарушает заложенные в нее требования и ограничения.

Возвратное проектирование – это компиляция прототипной модели после ее реструктуризации в модель конкретного мебельного изделия, содержащую всю необходимую информацию для изготовления изделия на имеющейся производственной базе.



*Рис. 2.4. Инфраструктура комплексной САПР корпусной мебели*

В соответствии с предложенной выше структурой процесса проектирования в составе перспективной комплексной САПР корпусной мебели (рис. 2.4) выделяются следующие основные функциональные системы [60, 61]:

- система автоматизации эскизного проектирования, предназначенная для выполнения этапа инжиниринга корпусных мебельных изделий;

- система реструктуризации и компиляции ОСАМ прототипного мебельного изделия, предназначенная для выполнения этапа реинжиниринга;
- универсальная САПР мебельных изделий, предназначенная для визуализации геометрических моделей и выполнения рутинных операций по подготовке конструкторско-технологической документации проектов.

Более подробно этапы инжиниринга и реинжиниринга, составляющие основу новой парадигмы проектирования корпусных мебельных изделий, описаны ниже.

### **2.2.1. Инжиниринг корпусных мебельных изделий**

При разработке эскизного проекта выполняются работы, необходимые для обеспечения требований, предъявляемых к изделию, и позволяющие установить принципиальные решения по его созданию. Основными видами работ при этом являются выбор и оценка вариантов конструктивного решения, их проверка и выбор оптимального варианта, принятие решений по изготовлению изделия. Результатом эскизного проектирования является совокупность документов, содержащих конструкторские решения, на основании которых можно сформировать общее представление о принципах функционирования и структуре разрабатываемого изделия [62].

Процесс инжиниринга корпусного мебельного изделия можно рассматривать как эскизное проектирование, в рамках которого принимаются принципиальные решения относительно функций и структуры будущего изделия. Традиционно в основе эскизного проекта лежит геометрическая модель мебельного изделия. В то же время, результатом инжиниринга является ОСАМ прототипного мебельного изделия, представляющая математическую, алгоритмическую и информационную базу для определения множества разрабатываемых изделий.

В соответствии с новой парадигмой проектирования на этапе инжиниринга закладываются основы безошибочности проектирования и производства корпусной мебели. В реализации данного этапа принимают участие наиболее квалифицированные специалисты предприятия – дизайнеры, конструкторы, технологи. Его составной частью является формализованное описание технологических возможностей конкретного мебельного производства и включение соответствующей информации в прототипные модели изделий. Такая особенность позволяет осуществить структурированный подход к организации процедур конструирования, изготовления и реализации мебели, выявляя при этом их алгоритмическую сущность.

Для эффективного решения задач, выполняемых на этапе инжиниринга, необходимо использование специализированных программных средств проектирования, удовлетворяющих следующим основным требованиям [63]:

- алгоритмическое решение проектных задач на возможно более высоких уровнях абстракции математических моделей с целью минимизации количества субъективных ошибок;
- унификация решений, принимаемых на всех этапах ЖЦ мебельного изделия, обеспечивающая их вариативное повторное использование;
- оптимизация параметров мебельного изделия по различным критериям (конструктивным, эстетическим, финансовым, технологическим) для получения оптимального соответствия возможностей производства и требований рынка;
- комплексная автоматизация проектных и расчетных задач, выполняемых на всех этапах ЖЦ мебельного изделия, позволяющая сократить его общую временную протяженность;
- быстрая адаптация производства к новым типам и моделям мебельных изделий;
- интегрируемость всех этапов ЖЦ мебельного изделия в информационную инфраструктуру мебельного предприятия на основе сформированной обобщенной информационной модели изделия.

Таким образом, общая задача инструментального программного обеспечения, автоматизирующего этап инжиниринга корпусных мебельных изделий, заключается в создании параметрических проектов высокого уровня абстракции, позволяющих получать множество конкретных проектных решений путем варьирования множества входных параметров. Наиболее подходящим для этого является адаптивный параметрический подход, предполагающий синтез модели изделия в виде обратимых связей между ее составными элементами, т.е. любой элемент модели с учетом его функционального назначения может быть как задающим, так и определяемым. Это позволяет передать решение большинства задач проектирования на более высокие уровни абстракции, что, в свою очередь, дает возможность их выполнения на низших уровнях абстракции в автоматическом режиме [64, 65].

При разработке инструментальных программных средств, автоматизирующих этап инжиниринга, следует, прежде всего, определить множество (класс) проектируемых объектов корпусной мебели. Чем более ограниченным окажется это множество, тем более высокий уровень автоматизации могут обеспечить разрабатываемые средства проектирования.

Для иллюстрации данного тезиса можно обратиться к другой области проектной деятельности, связанной с разработкой и использованием систем программирования. Известно, что чем ниже уровень языка программирования, тем более универсальным инструментом он является, т.е. подходит для решения различных задач программирования (например, автокод или язык ассемблера). Повышение уровня и возможная специализация языка программирования, т.е. переход на более высокий уровень абстрактных представлений, неизбежно сужает множество решаемых с его помощью задач. Однако степень автоматизации, обеспечиваемая соответствующей системой программирования, повышается при одновременном существенном снижении трудозатрат, времени и количества ошибок, допускаемых при разработке программ.

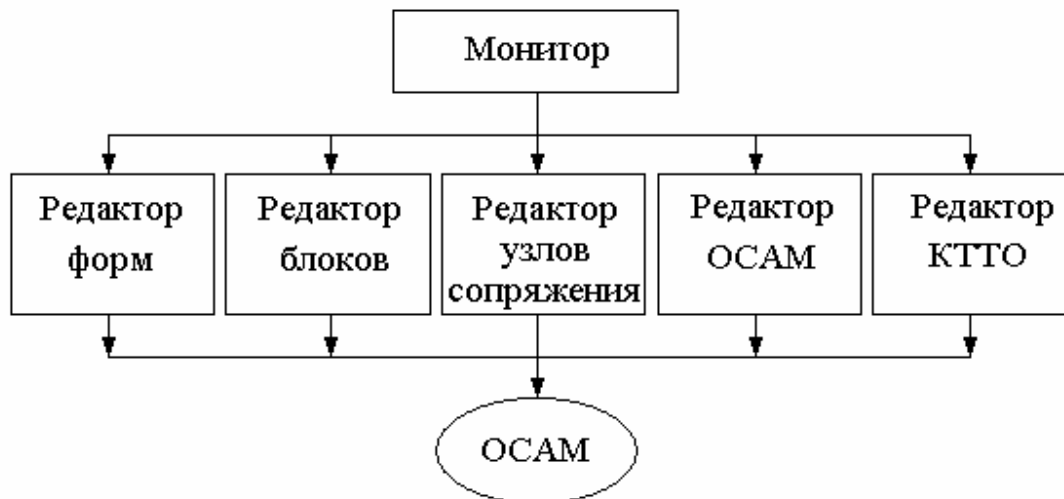
С учетом перечисленных выше требований для реализации подсистемы автоматизации эскизного проектирования в составе перспективной САПР корпусной мебели разработан комплекс автоинтерактивных таблично-графических редакторов (АТГР), обеспечивающих формирование ОСАМ прототипных мебельных изделий [66–68]. При разработке программного комплекса использован объектно-ориентированный подход, предполагающий иерархическую декомпозицию предметной области проектирования на классы (корпус, фасад, выдвижной ящик и т.д.) и объекты (панель, или щитовая деталь, крепежный элемент, фурнитура и т.д.) [69].

Объектная ориентированность инструментальных программных средств подразумевает, что конечному пользователю (дизайнеру, конструктору, технологу) предоставляется возможность для работы в привычном понятийном (терминологическом) пространстве процесса проектирования, выполняя операции, естественные с точки зрения его профессиональных знаний и опыта. Это особенно важно для новой парадигмы эскизного проектирования, когда конструктор работает в пространстве абстрактных моделей, что в общем случае для него не характерно [70]. Решение подобной задачи достигается путем организации автоинтерактивного режима работы, который не предполагает использования жесткого, наперед заданного, сценария действий пользователя. Напротив, пользователь, обладая профессиональными знаниями, направляет действие программных средств, применение которых позволяет последовательно приближаться к заданной цели проектирования. Другими словами, происходит процесс формализации знаний их носителями, т.е. конечными пользователями, в персональном режиме – автоформализация профессиональных знаний [71, 72].

Подсистема автоматизации эскизного проектирования, реализованная с учетом перечисленных выше требований, включает в себя следующие специализированные АТГР (рис. 2.5):

- **редактор форм**, предназначенный для построения сложных контуров деталей, включая гнутые элементы мебели, а также для моделирования параметрических профильных деталей;
- **редактор блоков**, предназначенный для соединения отдельных деталей в блоки (конструктивные узлы) и работы со стандартными блоками, а также для логической организации данных в модели;
- **редактор узлов сопряжения**, предназначенный для формирования и редактирования узлов сопряжения и алгоритмов их позиционирования с учетом технологических особенностей оборудования;
- **редактор ОСАМ**, предназначенный для редактирования структуры модели с возможностью возврата к любой ранее выполненной процедуре проектирования;
- **редактор КТТО**, предназначенный для ввода и редактирования предельных значений параметров проектирования, определения алгоритмов контроля КТТО.

Для запуска любого из редакторов, представленных в подсистеме автоматизации эскизного проектирования, используется **монитор** – управляющая программа, обеспечивающая пользователю удобный способ работы с инструментальными средствами.



**Рис. 2.5. Структура подсистемы автоматизации эскизного проектирования**

Как отмечалось выше, последовательность работы с редакторами комплекса АТГР заранее не задана, пользователь использует тот из них, который требуется в каждый конкретный момент процесса проектирования. Идентификация и вызов соответствующего редактора осуществляются



монитором в автоматическом режиме в зависимости от действий, выполняемых пользователем с ОСАМ прототипного мебельного изделия.

ОСАМ представляет собой информационное «ядро» комплексной САПР корпусной мебели, включающее совокупность разделов, предназначенных для накопления и хранения данных, относящихся к различным этапам ЖЦ мебельного изделия. В соответствии с требованиями к структуре общей базы данных об изделии (ОБДИ), предлагаемыми в концепции CALS-технологий [73], можно выделить следующие разделы ОСАМ:

- **конструкторские данные**, содержащие описание геометрической формы, размеров и структуры изделия, технические характеристики и ограничения, результаты различных расчетов;
- **технологические данные**, описывающие маршрутные и операционные технологии, нормы времени выполнения отдельных операций и расхода материалов, управляющие параметры для станков с ЧПУ и ограничения, накладываемые используемым оборудованием;
- **производственные данные**, включающие описание производительности оборудования, принятой системы контроля качества, материально-технического обеспечения производства;
- **экономические данные**, описывающие результаты маркетинговых исследований, экономическое обоснование целесообразности производства изделия, расчет себестоимости, параметры текущего и перспективного планирования;
- **логистические данные**, включающие описание исследований постпроизводственных стадий ЖЦ, в частности, мероприятий по гарантийному и послегарантийному сопровождению изделий.

Раздел конструкторских данных ОСАМ, формируемый, главным образом, в процессе инжиниринга прототипного мебельного изделия, включает в себя следующие элементы [60]:

- структурное описание КМИА, основывающееся на иерархической многоуровневой декомпозиции объекта проектирования;
- геометрическая информация (габаритные размеры изделия и деталей, координаты их точек привязки, координаты характеристических точек параметрических кривых, задающих форму деталей, процедурная реализация уравнений параметрических кривых и т.п.);
- информация о внутренних сопряжениях элементов объекта проектирования;

- сопряжение элементов, относящихся к разным иерархическим уровням объекта (внутреннее сопряжение 1-го типа);
- сопряжение элементов, относящихся к различным элементам одного иерархического уровня (внутреннее сопряжение 2-го типа);
- информация о внешних сопряжениях объекта в рамках модели КМИА;
- КТТО, предъявляемые к объекту проектирования;
- алгоритмы (методы) реализации и контроля КТТО.

Примером практической реализации компонентов подсистемы эскизного проектирования, формирующих раздел конструкторских данных ОСАМ, является «БАЗИС-Шкаф» – модуль параметрического проектирования изделий корпусной мебели, использующийся в составе САПР «БАЗИС» [26, 28, 61]. Краткое описание компонентов модуля «БАЗИС-Шкаф» представлено ниже.

### **2.2.2. Автоматизация решения задач инжиниринга изделий корпусной мебели в модуле «БАЗИС-Шкаф»**

Основной задачей инжиниринга изделий является формирование математических моделей, представляющих собой обобщенные параметрические проекты высокого уровня абстракции. Их назначение состоит в том, чтобы в ходе последующего реинжиниринга, варьируя входные параметры, автоматически получать множество конкретных проектных решений. Исходя из этого, при программной реализации модуля «БАЗИС-Шкаф» применялся адаптивный параметрический подход, предполагающий синтез модели изделия в виде обратимых отношений между ее составными элементами. Его функциональное назначение заключается в формировании моделей прототипных объектов, включающих в себя геометрическую модель корпуса мебельного изделия, структуру его внутреннего наполнения с фиксацией взаимосвязей и взаимозависимостей всех составных элементов, параметры и методы построения узлов сопряжения и алгоритмы облицовки кромочными материалами при автоматическом контроле соответствия всех указанных элементов требованиям КТТО.

При разработке модуля «БАЗИС-Шкаф» реализованы следующие критерии:

- обеспечение полного набора функций этапа инжиниринга;
- простота освоения и удобство использования;

- возможность настройки параметров модуля в соответствии с субъективными предпочтениями пользователя и условиями его эксплуатации;
- возможность использования для любых мебельных предприятий, работающих в условиях позаказного промышленного производства, независимо от объемов и номенклатуры выпускаемых изделий;
- визуализация результатов выполнения любого шага в процессе проектирования;
- защищенность от сбоев аппаратного обеспечения и некорректных действий пользователя;
- наращивание функциональных возможностей при строгом соблюдении преемственности форматов данных.

Структурная схема модуля «БАЗИС-Шкаф» показана на рис. 2.6. Он реализован как совокупность программ, реализующих конкретную функциональность и работающих под управлением монитора UNIT, который также реализует организацию взаимодействия всех программ с операционной системой и СУБД.

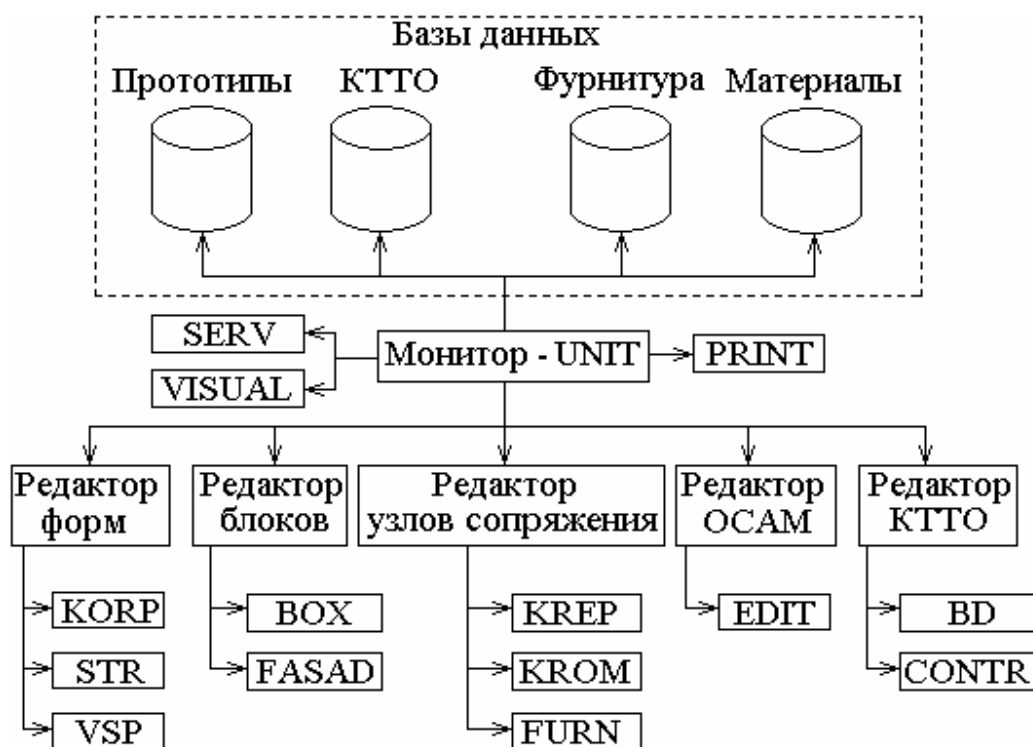


Рис. 2.6. Структурная схема модуля «БАЗИС-Шкаф»

Редактор форм сложных геометрических элементов используется для построения сложных контуров деталей при проектировании корпуса ме-

бельного изделия (программа KORP) и элементов его внутреннего наполнения (STR), а также для выполнения различных вспомогательных действий, необходимых в процессе проектирования: построение параллельных и перпендикулярных линий, расчет расстояний и углов и другие (VSP).

Редактор блоков предназначен для объединения отдельных элементов изделия в сборочные конструкции (блоки), работы со стандартными блоками и определения схемы организации данных в модели изделия на логическом уровне. Стандартные блоки (выдвижные галереи, стандартные фасады) носят статический характер и устанавливаются в модель изделия в том виде, в каком они находятся в базе данных (без каких-либо модификаций параметров). Связь их с другими элементами модели осуществляется на уровне общих элементов сопряжения: направляющих или петель. При редактировании модели единственной операцией, допустимой для стандартных блоков, является операция трансляции координат. Блоки, сформированные пользователем, имеют значительно более широкий спектр возможностей по установке и редактированию. Этот комплекс возможностей реализуется программой BOX.

Другим стандартным элементом является фасад двери или ящика, но только в том случае, если он имеет сложную структуру (филенчатые или профильные фасады). Для работы с ними предназначена программа FASAD.

Редактор узлов сопряжения используется для решения следующих основных задач:

- формирование и редактирование множества обобщенных элементов сопряжения;
- корректное размещение узлов сопряжения в модели изделия с учетом технологических особенностей оборудования и инструмента в пространстве формальных параметров;
- облицовка кромок панелей с учетом их видимости на фронтальной проекции модели.

Структурно он состоит из программы работы с элементами сопряжения (KREP), представляющими собой крепежную фурнитуру, программы работы с декоративной фурнитурой (FURN) и программы облицовки кромкой (KROM).

Процесс инжиниринга, как и любой другой процесс проектирования, является итерационным, предусматривающим возможности возврата на любой шаг проектирования, изменения любых параметров объекта в целом или отдельных его составных частей. Указанную функциональность реализует программа EDIT.

Методологически редактор КТТО можно рассматривать в качестве составной части всех остальных редакторов в силу того, что выполнение любой проектной операции априорно предполагает обращение к тем или иным функциям программы CONTR. Алгоритм ее работы заключается в идентификации проблемной ситуации, выборке из базы данных нужных ограничений, подключении алгоритма контроля, соответствующего идентифицированной ситуации и формировании одного из трех возможных выходных сигналов: выполнение операции недопустимо, выполнение операции нежелательно, выполнение операции корректно. Интерпретация данных сигналов производится той программой, при работе которой возникла указанная ситуация.

Программа BD предназначена для организации взаимодействия с базой данных КТТО. Она является автономным модулем и реализует свою функциональность (заполнение БД необходимой информацией и формальное описание алгоритмов контроля) на этапе, предшествующем инжинирингу.

Помимо рассмотренных в состав модуля «БАЗИС-Шкаф» входит несколько программ, выполняющих вспомогательные операции и информационно связанных с редакторами через монитор:

- VISUAL: визуализация текущего состояния модели;
- SERV: настройка параметров функционирования модуля и получения различных справочно-информационных данных о проектируемом изделии;
- PRINT: получение твердой копии (распечатка) модели сформированного объекта.

Для информационного обеспечения функционирования модуля «БАЗИС-Шкаф» организуются следующие базы данных:

- прототипов (как связующее звено между этапами инжиниринга и реинжиниринга);
- КТТО;
- крепежной и декоративной фурнитуры;
- материалов.

Для практического использования модуля на конкретном предприятии необходимо выполнение предварительного этапа, связанного с формированием баз данных и заполнением их информацией, отражающей характеристики имеющегося оборудования, технологические процессы, особенности производственного цикла, используемые материалы, фурнитуру и комплектующие. В дальнейшем эти БД необходимо поддерживать в актуальном состоянии.

Работа конструктора по созданию прототипных моделей состоит из трех этапов:

- определение параметров корпуса изделия и предварительный выбор материалов;
- конструирование внутреннего наполнения и дополнительных модулей (антресольные и угловые секции);
- выполнение технологических операций скрепления панелей, установки фурнитуры и облицовки кромок.

Первый этап носит предварительный характер и предназначен для определения основных параметров проектируемого прототипного изделия. Любые значения, определенные на этом этапе, в дальнейшем могут быть модифицированы в соответствии с замыслом конструктора. Для его выполнения необходимо заполнить данными несколько диалоговых форм, определяющих конструктивные особенности структуры изделия. Пример формы, описывающей конструкцию крышки, показан на рис. 2.7.

**Корпус нового шкафа**

Габариты шкафа  
 Ширина  Высота  Глубина корпуса

Конструкция шкафа  
 Крышка | Дно | Задняя стенка

Тип крышки  
☐ отсутствует  
☒ накладная  
☐ вкладная

Размеры свесов

Спереди	Сзади	Слева	Справа
<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

☐ Жесткий кант  
☐ Паз на крышке

Вид скругления  
☐ отсутствуют  
☒ сопряжение  
☐ фаска  
☐ дуга спереди

Места скруглений

Радиусы скругления

Слева	Справа
<input type="text" value="60"/>	<input type="text" value="60"/>

Монтажные планки  
☒ Установить спереди Ширина   
☒ Установить сзади Смещение

Материалы

☐ Выбор из таблицы СЛКМ

Материал	S, мм	Тип	Код
Задняя стенка	ДВП кашированное бук 3	4	Площадь
Крышка	ДСП	16	Площадь
Боковины	ДСП	16	Площадь
Дно	ДСП	16	Площадь
Цоколь	ДСП	16	Площадь
Внутренние стенки	ДСП	16	Площадь

OK Отмена

**Рис. 2.7. Форма определения конструкции крышки изделия**

Определяющим в процессе конструирования прототипного изделия является второй этап, на котором в интерактивном режиме формируется его параметрическая структурно-атрибутивная модель. Элементами внутреннего наполнения могут служить вертикальные перегородки, стационарные и съемные полки, ящики любых конструкций, панели жесткости. Сам процесс выполняется в автоматизированном режиме: конструктор, исходя из поставленной задачи, визуально устанавливает элемент наполнения в нужное место, при этом все необходимые структурные связи формируются автоматически с учетом КТТО. Любой шаг процесса проектирования визуализируется. В случае необходимости возможен возврат к любой из ранее выполненных проектных операций и выполнения ее с новыми параметрами.

В качестве примера на рис. 2.8 показано окно определения конструктивных параметров построения секции, содержащей выдвижные ящики. Как видно из рисунка значительная часть параметров является модельно независимой и характеризует технологические особенности производства, поэтому задается один раз при предварительной настройке программы. К варьируемым параметрам относятся количество ящиков в секции и критерий расчета фасадов. Все проектные операции, связанные с установкой ящиков в выбранную секцию (расчет высоты фасадов, выбор и установка направляющих, сопряжение с боковыми стенками и т.д.), реализуются автоматически.

☒ Верхний фасад под крышкой  
☒ Все фасады одной высоты

Глубина ящика

Зазоры

Z1:   
 Z2:   
☐ Ящик посередине фасада  
 Z3:   
 Z4:   
 Z5:

**Рис. 2.8. Окно определения параметров секции с выдвижными ящиками**

Третий этап конструирования прототипного изделия функционально разбивается на два:

- предварительная настройка алгоритмов на основе анализа используемых технологических процессов изготовления изделий;
- автоматическое выполнение всех проектных операций.

Таким образом, применение ОСАМ мебельных изделий в сочетании с БД КТТО при разработке модуля «БАЗИС-Шкаф» позволило организовать конструирование прототипных моделей высокого уровня абстракции в интерактивном режиме с высокой степенью автоматизации проектных операций и оперативным контролем их безошибочности.

### **2.2.3. Реинжиниринг корпусных мебельных изделий**

Согласно новой парадигме проектирования реинжиниринг является одним из этапов процесса разработки изделий корпусной мебели в условиях позаказного промышленного производства. В ходе реинжиниринга прототипная модель изделия, сформированная на этапе инжиниринга (эскизного проектирования), «доопределяется», обеспечивая выполнение индивидуальных требований заказчика к конкретному мебельному изделию [40].

В узком смысле понятие реинжиниринга использовалось и ранее – применительно к задаче модификации геометрических свойств изделия в составе мебельного ансамбля с учетом сохранения его стилистового единства. В этом случае процесс реинжиниринга прототипного мебельного изделия состоит в решении следующих двух задач [74–76]:

- реинжиниринг конструкции корпусного мебельного изделия (реинжиниринг формообразующих щитовых мебельных деталей);
- реинжиниринг декоративных элементов мебели (реинжиниринг криволинейных мебельных деталей).

Для решения первой задачи используется специальный метод реперного моделирования структуры мебельной конструкции, который заключается в построении реперной диаграммы и использовании ее при реинжиниринге изделия [76]. Реперная диаграмма состоит из совокупности управляющих точек (реперов) и отношений между ними. Каждый репер представляет собой либо реальный объект структурной модели изделия, либо расчетную (виртуальную) вспомогательную точку этой модели. Расстояние между заданными реперами определяются, исходя из геометрии библиотечных мебельных элементов, или так называемых «жестких» элементов, форма (конфигурация) которых не должна изменяться при реинжиниринге



изделия. При трансформации модели изделия реперы задают изменение размерных параметров деталей мебельной конструкции.

При решении второй задачи используется алгоритм реперного моделирования декоративных (криволинейных) элементов мебели, основанный на использовании кривых Безье с  $(n + 1)$ -й опорной точкой и базисными полиномами Бернштейна  $n$ -й степени [74, 77–81]. Необходимость в реинжиниринге декоративных элементов возникает при изменении линейных размеров мебельного изделия, при этом стандартный алгоритм масштабирования может привести к нарушению соразмерности частей элементов и ухудшению их внешнего вида. В этой связи предлагается использовать так называемое «интеллектуальное» масштабирование, позволяющее варьировать модель декоративного элемента в соответствии с определенными требованиями [76]. Оно предполагает задание контрольных (реперных) точек на кривых, описывающих поверхность детали, которые позволяют в дальнейшем манипулировать их поведением и обеспечивают совпадение с опорными точками кривых Безье. Затем, варьируя свойства реперных точек, можно задать величину смещения для каждой точки или, напротив, зафиксировать ее местоположение на кривой. Следовательно, осуществляя конструирование мебельного изделия, можно выполнить предварительное реперное моделирование декоративных элементов мебели и, тем самым, «запланировать» поведение соответствующих кривых при реинжиниринге изделия.

В широком смысле, понятие реинжиниринга относится к изменению различных свойств (и не только геометрических) ранее разработанных моделей корпусных мебельных изделий. В ходе модификации модели каждого изделия в максимальной степени учитываются пожелания заказчика, если, конечно, они не идут вразрез с заданными при инжиниринге конструкторско-технологическими требованиями и ограничениями.

Обычно реинжиниринг осуществляется специалистами мебельного салона (дизайнерами по интерьеру, менеджерами, продавцами-консультантами) при приеме индивидуальных заказов от потребителей. Данный момент является ключевым при решении вопроса о выборе конкретных способов реализации проектных операций реинжиниринга, поскольку указанные работники, как правило, не владеют достаточно полными знаниями относительно конструкторских и технологических особенностей конкретного мебельного производства. В этой связи следует отметить, что объем и качество проектных работ, выполняемых в ходе реинжиниринга, в значительной степени зависит от результатов предварительно выполненного инжиниринга прототипных изделий корпусной мебели.

Структурно процесс реинжиниринга представляется двумя комплексными проектными процедурами: реструктуризацией прототипной модели и возвратным проектированием конкретного мебельного изделия [59]. Обе проектные процедуры могут быть реализованы в рамках одного функционального блока – системы компиляции ОСАМ прототипного мебельного изделия (см. выше рис. 2.4).

На этапе реструктуризации осуществляется доступ к полям данных информационной структуры, описывающей модель прототипного мебельного изделия. Для доступа к данным модели и их редактирования используются программные процедуры, дублирующие основные возможности редактора ОСАМ, входящего в состав подсистемы автоматизации эскизного проектирования. Редактирование данных выполняется с подключением алгоритмов контроля и использованием ограничений, представленных в системе КТТО [82].

Возвратное проектирование обеспечивает проверку информационной целостности модели после выполнения процедуры реструктуризации и последующую ее компиляцию для использования в среде САПР корпусной мебели. Другими словами, программные средства, автоматизирующие данную процедуру, обеспечивают функции пост- и препроцессора данных для этапов реструктуризации прототипной модели и следующего за ним «традиционного» проектирования мебельного изделия, соответственно.

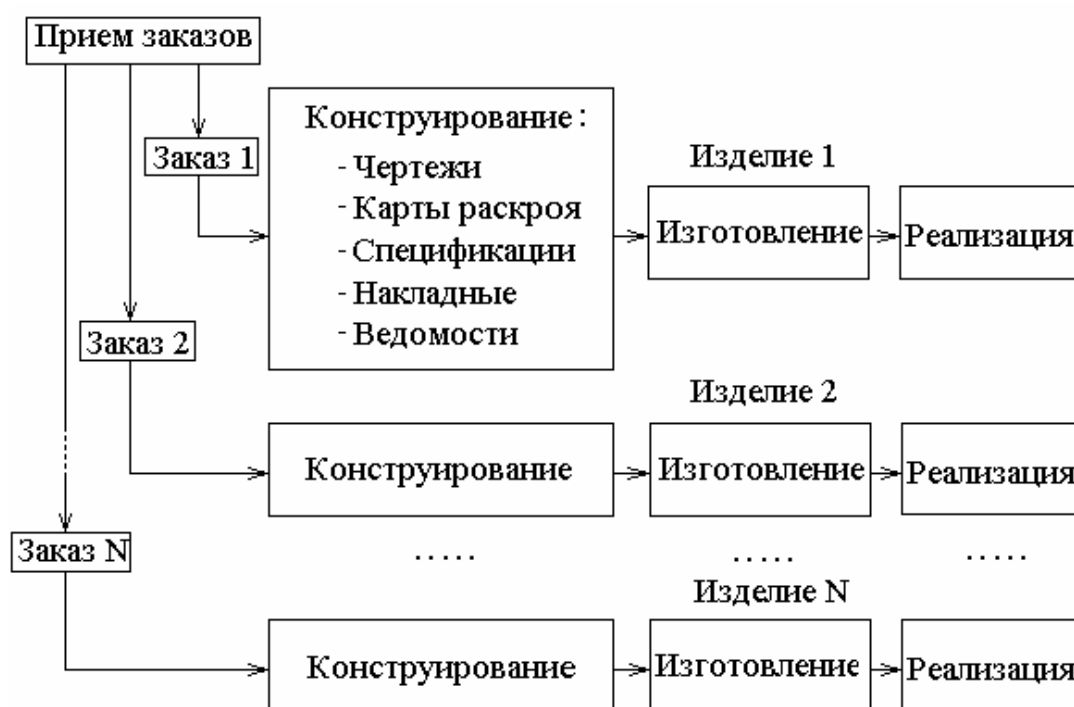
К программному обеспечению возвратного проектирования можно также «подключить» функции расчета стоимости изделия, для которого выполняется реинжиниринг, и процедуры динамической визуализации его конструкции [83]. На этой же стадии рационально осуществлять формирование и печать документации, предназначенной для оформления расчетно-договорных отношений с заказчиком: договор-заявка, накладная, спецификация с эскизом мебельного изделия и другие [84, 85].

Поскольку конечным результатом проектирования является комплект конструкторско-технологической документации, соответствующие проектные процедуры, выполняемые в рамках традиционной САПР корпусной мебели, также должны включаться в этап реинжиниринга.

Концепция БОПП обеспечивает методологическую базу для организации структурированного подхода к конструированию, производству и реализации мебельных изделий, делая упор на его алгоритмической сущности. Данный подход заключается в замене традиционной схемы «конструирование–производство» (рис. 2.9) на более оптимальную, использующую в структуре процесса проектирования этап реинжиниринга (рис. 2.10).

При традиционном подходе каждый принятый индивидуальный заказ порождает новую цепочку «проектирование–производство». Разработка

проекта нового изделия, даже при использовании функционально насыщенных САПР, требует достаточного времени и не исключает субъективных ошибок проектирования. В определенной мере сократить время проектирования позволяет использование библиотек ранее созданных стандартизованных изделий (см. выше рис. 1.1).

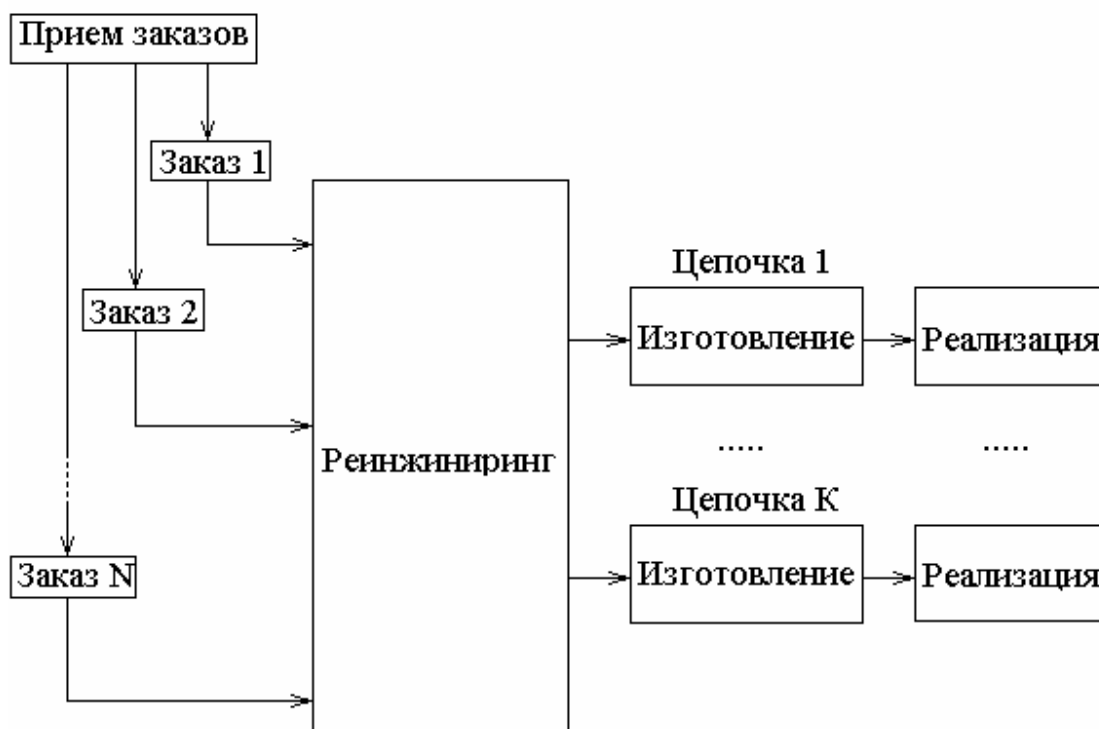


**Рис. 2.9. Традиционная схема проектирования и производства мебели по индивидуальным заказам**

Однако поиск подходящего стандартизованного изделия и его доработка также требуют немалого времени. Таким образом, при достаточно большом количестве поступающих заказов конструкторский отдел становится «узким» местом, не позволяющим полностью загрузить производственные мощности предприятия. Экстенсивный способ решения этой проблемы – путем увеличения штата конструкторов – неизбежно приведет к увеличению себестоимости продукции, что неприемлемо в современных рыночных условиях.

При структуризации производственного процесса чаще всего заказ нового изделия не требует нового проектирования, поскольку оно априорно входит в одну из разработанных технологических цепочек. Время выполнения реинжиниринга изделия невелико по сравнению с длительностью нового проектирования, а субъективные ошибки исключаются в основном

на этапе реструктуризации. Другими словами,  $N$  принятых заказов «порождают»  $K$  технологических цепочек, причем  $K$  значительно меньше  $N$ , т.е.  $K \ll N$ . В данном случае главной задачей конструктора становится разработка новых прототипных моделей мебели. Смена номенклатуры выпускаемых изделий происходит естественным образом: новые прототипные модели добавляются в библиотеку, а не пользующиеся спросом – исключаются из нее, не нарушая при этом общий процесс производства.



*Рис. 2.10. Структурированная схема организации мебельного производства*

Ниже рассмотрены конкретные способы решения задач реинжиниринга изделий корпусной мебели в системе Armario и программе WinGRAF.

#### **2.2.4. Автоматизация решения задач реинжиниринга изделий корпусной мебели в системе Armario**

Система Armario, предназначенная для автоматизированного построения моделей шкафов-купе на основе модельного ряда прототипных изделий с возможностью широкого варьирования конструктивно-дизайнерских параметров, разработана по заказу концерна «GARDY»

(г. Санкт-Петербург). Состояние предприятия на момент начала реализации проекта было следующим:

- преимущественно выпускаемая продукция: шкафы-купе;
- тип производства: сочетание серийных изделий с изготовлением мебели по индивидуальным заказам;
- объем производства в индивидуальном секторе: до шестисот изделий в месяц;
- использование средств автоматизации: система «БАЗИС» при конструировании изделий и раскрое материалов, прием заказов – ручную.

Руководство предприятия, принимая решение о создании единой автоматизированной цепочки от приема заказа до передачи проекта в производство на базе концепции безошибочного проектирования и производства (БОПП), преследовало следующие цели:

- увеличение объема выпуска изделий по индивидуальным заказам минимум в три раза;
- сведение к минимуму, вплоть до полной ликвидации, ошибок проектирования, вызванных человеческим фактором;
- включение в единое информационное пространство предприятия региональной дилерской сети;
- автоматическая генерация математических моделей для использования в рамках уже внедренных на предприятии средств автоматизации.

В процессе реализации рассматриваемого проекта были разработаны структура и информационное наполнение системы, а также необходимые программные модули (рис. 2.11).

Жизненный цикл проектирования и производства мебельных изделий методологически разбивается на два относительно обособленных этапа:

- инжиниринг, заключающийся в формировании модельного ряда прототипных изделий и выполняемый в рамках конструкторского подразделения предприятия;
- реинжиниринг, или получение конкретных моделей мебельных изделий, базирующихся на существующем модельном ряде и учитывающих функционально-художественные требования заказчиков, выполняемое менеджерами по приему заказов в распределенных мебельных салонах.

В качестве программного обеспечения этапа инжиниринга был выбран описанный выше модуль «БАЗИС-Шкаф», являющийся инвариант-

ным по отношению к условиям производства реального мебельного предприятия.

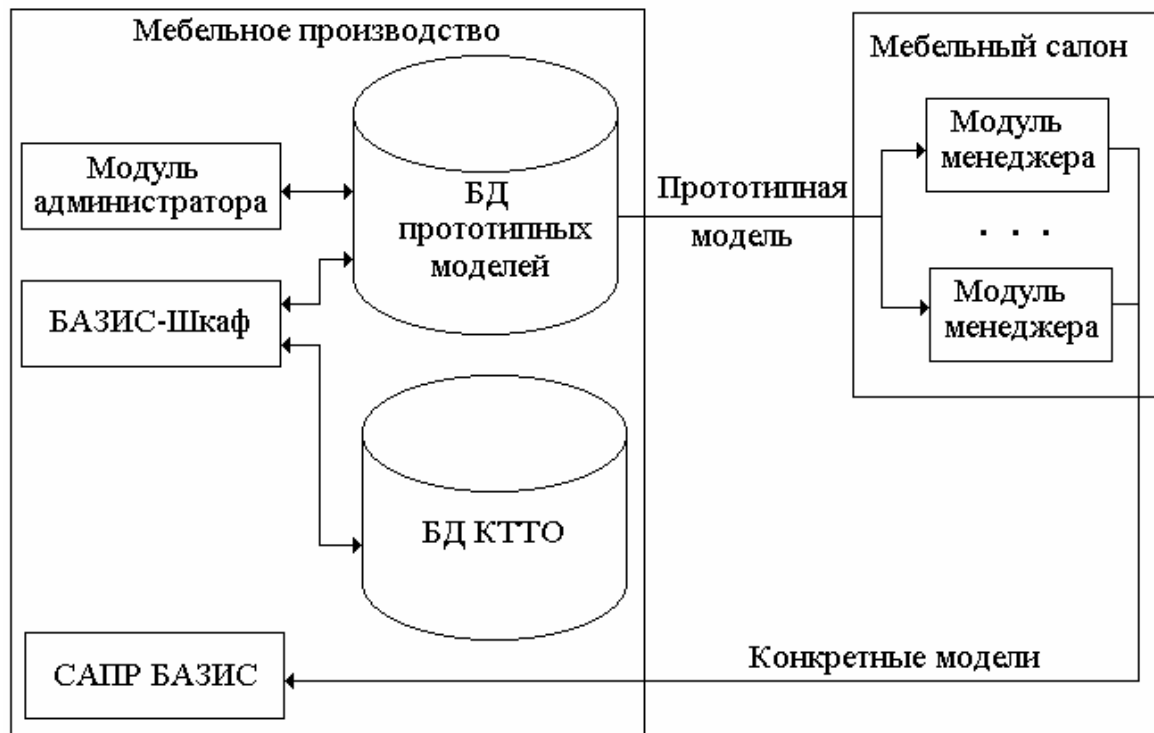


Рис. 2.11. Общая структура системы Armario

Дополнительно разработанный модуль администратора эксплуатируется на стыке проектно-конструкторского подразделения, экономических служб и руководства предприятия. Его основное назначение – формирование информационного поля для работы менеджеров по приему заказов в мебельных салонах, что предполагает выполнение следующих операций:

- создание и актуализация БД объектных структурно-атрибутивных моделей прототипных изделий, составляющих текущий модельный ряд предприятия;
- формирование списка специалистов, имеющих доступ к модулю менеджера и наделение их соответствующими правами;
- определение лимитирующих значений конструктивных параметров и описание формальных алгоритмов компиляции абстрактных моделей;
- определение алгоритмов расчета стоимости изделия и ее структуры с учетом ценообразующих элементов заказа и принятой системы предоставления скидок.

Общий вид окна модуля администратора показан на рис. 2.12.

**Формирование рабочих файлов для салона**

Модели | Параметры | Корпуса | Профили | Наполнение | Фурнитура | Доставка и цены | Документы и доступ

Модели шкафа

Обозначение	Наименование	Габариты	Имя файла
П-01	01) Платяной шкаф	от 800 до 1750мм	П-01
П-02 (С)	02) Платяной шкаф	от 1060 до 2760мм	П-02 (С)
П-02_1 (Л)	03) 2-х Секционный шкаф	от 1050 до 2300мм	П-02_1 (Л)
П-02_1 (П)	04) 2-х Секционный шкаф	от 1050 до 2300мм	П-02_1 (П)
П-03 (С)	05) Платяной шкаф	от 1600 до 2760мм	П-03 (С)

Модели тумб-вкладышей

Обозначение	Наименование	Габариты	Имя файла
Т-М1	Тумба 2 ящика	417x484x500	Т-М1(2ящ)
Т-С1	Тумба 2 ящика+1корзина	772x484x500	Т-С1(2ящ+1кор.)
Т-С1	Тумба 3 корзины	772x484x500	Т-С1(3кор.)
Т-С1	Тумба 3 ящика	772x484x500	Т-С1(3ящ)
Т-Б1	Тумба 5 корзин	1152x484x500	Т-Б1(5кор)

Модели угловых консолей

Обозначение	Наименование	Габариты	Имя файла
КК-1	Консоль	от 400 до 850	К-01
КК-2	Консоль 2	от 400 до 800	К-01

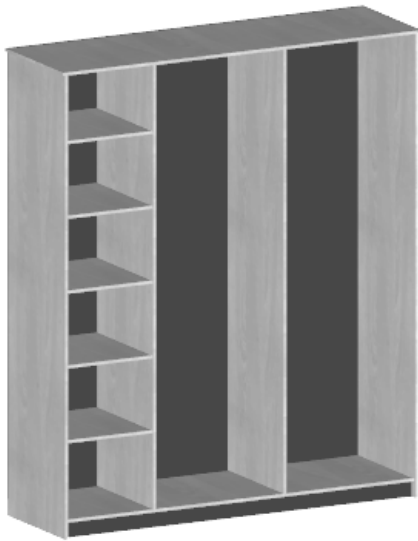
Сохранить

**Рис. 2.12. Окно модуля администратора системы Armario**

Процесс реинжиниринга представляет собой компиляцию выбранного в соответствии с критериями потребителя абстрактного представителя модельного ряда в конкретное мебельное изделие. Он реализуется в два этапа. Начальный этап реализуется при помощи модуля менеджера, который полностью абстрагирован от специфики производства и не предъявляет высоких требований к компьютерной и технологической квалификации пользователей. Главное его назначение заключается в быстрой реализации пожеланий заказчика и их визуализации.

Основное окно модуля менеджера показано на рис. 2.13. Из модельного ряда, подготовленного в модуле администратора, выбирается прототипная модель, удовлетворяющая функциональные требования заказчика. Дополнительно, по его желанию, в состав изделия могут быть включены угловые консоли или вкладные тумбы с ящиками (рис. 2.14), прототипные модели которых формируются аналогично моделям самого изделия и включаются в БД как отдельные структурные элементы.

**Выбор модели серийного шкафа**



Обозн.	Наименование	Габариты
П-01	01) Платяной шкаф	от 800 до 1750мм
П-02 (С)	02) Платяной шкаф	от 1060 до 2760мм
П-02_1 (Л)	03) 2-х Секционный шкаф	от 1050 до 2300мм
П-02_1 (П)	04) 2-х Секционный шкаф	от 1050 до 2300мм
П-03 (С)	05) Платяной шкаф	от 1600 до 2760мм
П-03_1 (Л)	06) 3-х Секционный шкаф	от 1920 до 2760мм
П-03_1 (П)	07) 3-х Секционный шкаф	от 1920 до 2760мм
П-03_1 (С)	08) 3-х Секционный шкаф	от 1400 до 2760мм

Корпус  
 Высота   
 Ширина   
 Глубина

Доп. элементы  
☐ Козырек  
☐ Шляпная полка  
☐ Галстучница

Двери  
 Количество   
☐ Косая расстекловка

Параметры

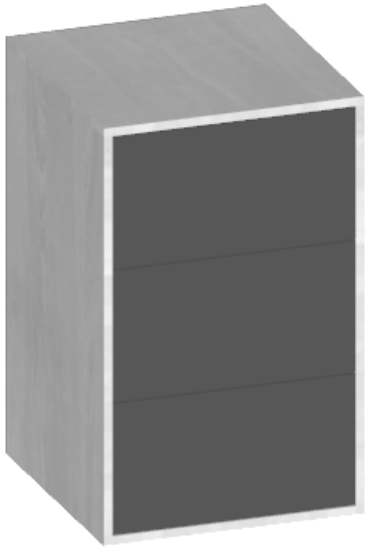
Положение тумб и элементов в секциях

Номера секций слева направо	1	2	3
Тумбы	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Полки сетки	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Полки ДСП	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Штанги для брюк		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Выполнить Отменить

Рис. 2.13. Окно выбора модели в модуле менеджера

**Выбор модели отдельной тумбы**



Обозн.	Наименование	Габариты
Т-М1	Тумба 2 ящика	417x484x500
Т-С1	Тумба 2 ящика+1 корзина	772x484x500
Т-С1	Тумба 3 корзины	772x484x500
Т-С1	Тумба 3 ящика	772x484x500
Т-Б1	Тумба 5 корзин	1152x484x500
Т-Б1	Тумба 5 ящиков	1152x484x500

Ширина  Глубина

Выполнить Отменить

Рис. 2.14. Окно выбора вкладной тумбы



Для выбора дверей в соответствующем окне (рис. 2.15) задается их конфигурация, и выбираются материалы. Последним шагом взаимодействия менеджера с заказчиком является формирование пакета документов (рис. 2.16), необходимого для заключения договора, или коммерческого (предварительного) предложения.

*Рис. 2.15. Окно выбора дверей*

Конечным результатом реинжиниринга является получение комплекта конструкторско-технологической документации. Этот завершающий этап процесса проектирования реализуется средствами САПР «БАЗИС», установленной на предприятии [26, 28, 56, 86] по модели, скомпилированной модулем менеджера из выбранной прототипной модели.

Анализ опыта эксплуатации системы Armario показал достижимость целей, поставленных в начале реализации проекта, что позволяет сделать обоснованный вывод о высокой научно-практической значимости концепции БОПП. Внедрение в промышленную эксплуатацию программного

комплекса, разработанного на ее основе, позволило достичь следующих важных практических результатов:

- автоматизация и унификация процесса приема заказов, сводящая к минимуму издержки, связанные с субъективными ошибками персонала, как в процессе приема заказов, так и в процессе подготовки их к производству;
- повышение оперативности приема заказов и согласованности работы салонов по приему заказов с производственными подразделениями;
- обеспечение необходимого качества, обоснованности и информационной насыщенности проектных решений, что позволяет существенно улучшить оперативно-производственное планирование, контроль исполнения заданий и проведение статистического анализа.

Формирование документов			
Цена корпуса, руб.	Цена дверей, руб.	Услуги, руб.	Итого, руб.
2153,39	7794,53	11375,00	20825,52
Со скидкой 2045,72	Со скидкой 7404,80		
Заказчик Услуги   Формирование документов   Состав цены			
Дата изготовления 20.01.2007 ...			
<b>Доставка</b>		<b>Подъем</b>	
Дата доставки	22.01.2007	Этаж	5
Стоимость доставки	10850,00 руб.	Стоимость подъема	400 руб.
<input checked="" type="checkbox"/> Пригород		<input checked="" type="radio"/> Домофон	<input type="radio"/> Код
Место доставки	<input checked="" type="radio"/> Пункт Боровичи	<input type="radio"/> Нет	<input checked="" type="radio"/> Пассажирский
<input type="radio"/> км		<input type="radio"/> Грузовой	
<b>Сборка</b>		<b>Скидки</b>	
Дата сборки	25.01.2007	Бесплатно <input type="checkbox"/> Доставка <input type="checkbox"/> Подъем <input type="checkbox"/> Сборка <input type="checkbox"/>	
Стоимость сборки	125 руб.	<input checked="" type="checkbox"/> Скидка 5 % Сумма 497,40 руб.	
		<input type="checkbox"/> Доп. скидка	
Выполнить		Отменить	

Рис. 2.16. Окно формирования документов

### **2.2.5. Автоматизация решения задач реинжиниринга изделий кухонной мебели с помощью программы WinGRAF**

Программа WinGRAF предназначена для автоматизации приема индивидуальных заказов на изготовление кухонной мебели и проектирования интерьера кухни [54, 55]. Она обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- удобное и практически безошибочное заполнение бланка договора-заявки и корректировку его содержания при необходимости;
- быстрое построение масштабированного плана размещения мебели на кухне заказчика путем выбора требуемых изделий из пиктографического меню и корректировку плана при необходимости;
- экспресс-расчет стоимости заказа и вывод на принтер сопроводительных документов, включая договор-заявку, накладную, план размещения мебели и фронтальное представление кухонного интерьера;
- сохранение информации о принятом заказе в информационной базе с целью последующего ее использования (уникальный номер заказа, формируемый автоматически на основе сохраненного предыдущего номера заказа и номера компьютера, выступает в качестве главного ключа записи);
- открытие ранее принятого заказа для просмотра, редактирования или печати сопроводительных документов;
- ввод, корректировку и просмотр базовых расценок изделий, расценок для облицовочных пластиков, столешниц, кромок, декора, чаш моек, ручек, опор и стекол, а также надбавок за ряд конструктивных и технологических особенностей изделий;
- автоматическую генерацию прайс-листов для всей номенклатуры изделий, представленных в библиотеке прототипных моделей, с учетом заданных ценообразующих элементов заказа;
- обеспечение парольной защиты от несанкционированного доступа к функциям ввода и корректировки расценок, а также изменения критических параметров программы (например, величины надбавок или скидок к стоимости изделий);
- автоматическое формирование подробной (сборочной) спецификации принятого заказа, детализирующей каждое изделие в следующих разрезах: типоразмер, величины свесов столешницы или кар-

низа, типы облицовочных пластиков, кромок и столешницы, тип и ориентация ручек, величина присадки, наличие и типы стекол и т.д.;

- автоматическое формирование производственных заданий для цехов (участков), представленных сводными ведомостями деталей и фурнитуры заказанных изделий и необходимых для запуска заказа в производство [87];
- оценочную калькуляцию расхода для заказа наиболее ценных материалов, включая облицовочные пластики, кромки ПВХ, декоры и ДСтП;
- автоматическое формирование файла описаний для VRML-генератора трехмерного изображения интерьера кухни [83–85].

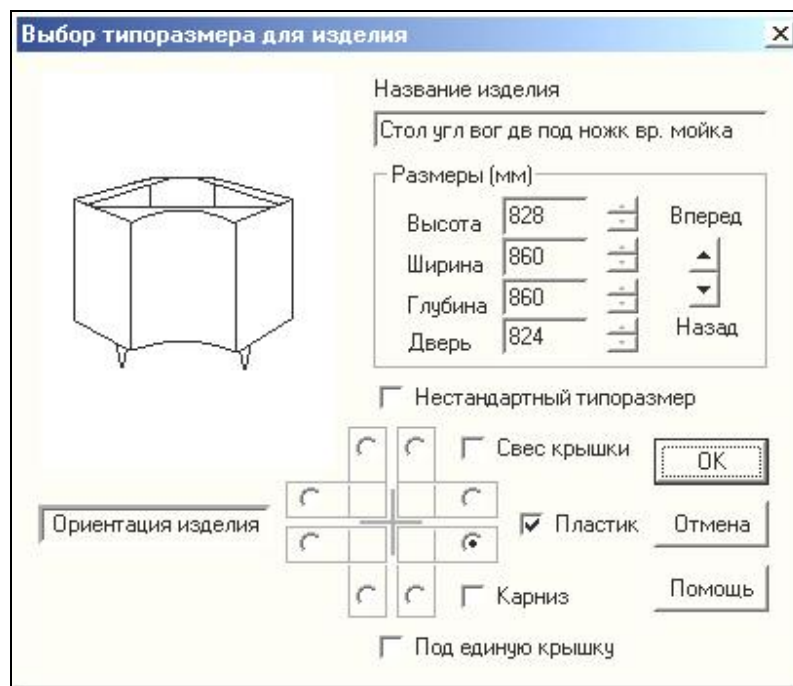
Работа программы WinGRAF, в соответствии с базовым принципом реинжиниринга, основывается на предварительно выполненной классификации изделий и последующем использовании разработанных для них прототипных моделей. Все изделия кухонной мебели разделяются на два достаточно представительных класса: напольные шкафы-столы и навесные шкафы. В свою очередь, каждый из этих двух классов объектов разделяется на подклассы, включающие угловые, прямые (ординарные) и доборные (завершающие набор) изделия.

Дальнейшая декомпозиция множества объектов выполняется путем ввода дополнительных классификационных признаков, например, наличие у напольного изделия опоры или цоколя; тип опоры: декоративная или регулируемая (с навесной цокольной планкой) и т.д. В результате последовательной реализации данного подхода формируется иерархия объектов, каждый из которых представляется соответствующей прототипной моделью изделия, описанной на том или ином абстрактном уровне. Дополнительно для каждой разработанной прототипной модели может использоваться так называемый типоразмерный ряд, фактически представляющий группировку однотипных мебельных изделий различных габаритных размеров.

В большинстве распространенных САПР мебели при создании модели изделия требуется задавать все необходимые облицовочные материалы. Это существенно ограничивает работу дизайнера по интерьеру помещений, поскольку вопросы о цветовой гамме изделия и стоимости облицовочных материалов для него решаются, как правило, при приеме заказа и согласовываются с заказчиком. Поэтому дизайнеру по интерьеру часто приходится фактически перерабатывать прототипные модели с помощью конструкторского модуля САПР, что приводит к значительным потерям времени и увеличению ошибок проектирования. Для разрешения сложившегося противоречия требуется расширить трактовку понятия «прототипная модель» [40].

В частности, свойства основных компонентов модели мебельного изделия нужно классифицировать как «физические» и «потребительские». Например, для облицовочных кромок физическими характеристиками являются их ширина и толщина, а потребительскими – цвет и цена. На этапе конструирования изделия используются в основном физические характеристики, позволяющие разработать рабочие чертежи изделия. Потребительские свойства модели наполняются конкретным содержанием и активизируются при приеме индивидуального заказа, т.е. в программе WinGRAF модель изделия дорабатывается (а не перерабатывается) и помещается в проект интерьера [55].

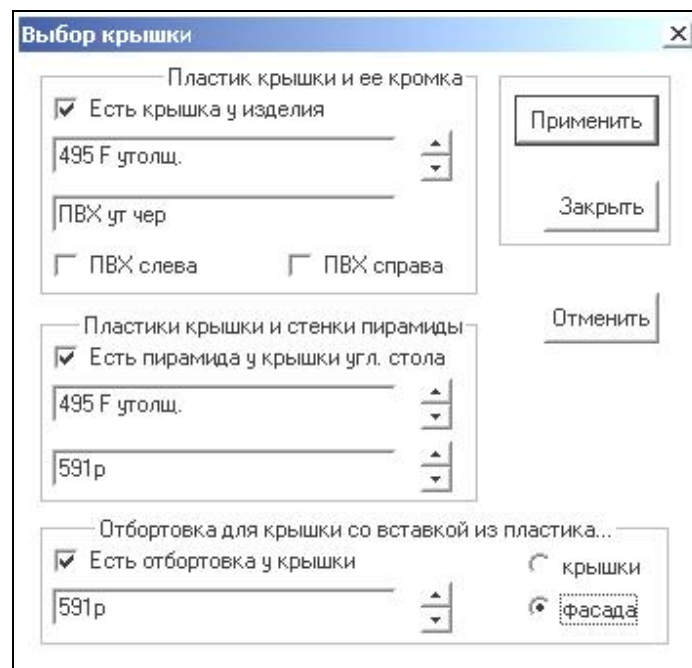
При приеме индивидуального заказа на кухонную мебель в программе WinGRAF используется разработанная библиотека прототипных моделей (модельные ряды), а в рамках каждой модели – типоразмерный ряд. Выбор соответствующего типоразмера для изделия выполняется с помощью диалогового окна, представленного на рис. 2.17.



**Рис. 2.17. Диалоговое окно для выбора типоразмера изделия**

В данном случае в библиотеке моделей выбрано изделие «Стол угловой с вогнутой дверью на ножках (опорах) под врезную чашу мойки», а для него – следующие типоразмеры: высота корпуса – 828 мм, ширина и глубина – 860 мм, высота двери – 824 мм. Согласно технологическим требо-

ваниям конкретного производства, для данного изделия не допускается изменение габаритных размеров, поэтому кнопки вращателей в диалоговом окне не активны (блокированы). Если же для изделия имеется возможность изменения габаритных размеров, то их значения могут задаваться как с помощью кнопок вращателей, так и непосредственным вводом в соответствующие поля, находящиеся слева от кнопок (при установленном переключателе «Нестандартный типоразмер»). При этом изменение размеров выполняется путем уменьшения («урезки») соответствующих величин, относящихся к ближайшему большему типоразмеру.



**Рис. 2.18. Диалоговое окно для выбора облицовочных пластиков для крышки углового стола**

После задания необходимых размеров изделия следует уточнение «физических» и «потребительских» свойств, включая запросы относительно:

- ориентации вертикальной дверцы: левая или правая, т.е. ее петли размещены слева или справа;
- ориентации ручек типа «скоба»: вертикальные или горизонтальные, а также задание межцентрового расстояния, т.е. расстояния между присадочными отверстиями под ручку;
- выбора типа опор для напольного изделия: декоративных или регулируемых по высоте со съемными цокольными планками;

- выбора облицовочных пластиков и кромок для дверей, накладок ящиков, цокольных планок, боковых стенок корпуса, задней стенки;
- выбора типа крышки (столешницы) для напольных изделий, типа карниза и облицовочных пластиков для него у навесных изделий;
- запроса о необходимости установки накладной или врезной чаши мойки в соответствующие напольные изделия.

Перечисленные выше запросы реализованы в виде последовательности диалоговых модальных окон, пример одного из которых представлен на рис. 2.18.

Количество и вид диалоговых окон в последовательности может варьироваться в зависимости от типа изделия (напольное или навесное), а также – от выбора параметров изделия, сделанного в предыдущих окнах (например, в окне «Выбор пластиков и кромок для дверей, накладок ящиков и цокольной планки», показанном на рис. 2.19) [54].

Выбор пластиков и кромок для дверей, накладок ящиков и цокольной планки

Пластик для двери

Лицевая сторона: 435

Оборотная сторона: 027

Кромки

Для двери: серая

Пластик для ящика

Лицевая сторона

Оборотная сторона

Для ящика

Для накладки вык. ящика или цок. планки

591р

027

Для накладки вык. ящика или цок. пл.

серая

Боковая стенка в пластике

☐ Слева снаружи

☐ Слева внутри

☐ Справа снаружи

☐ Справа внутри

Задняя стенка в пластике

☐ Внутри

☐ Снаружи

☒ Задняя стенка из ДВП

☐ Задняя стенка из ДСтП

Кромка корпуса изделия

☒ Кромка ПВХ

ПВХ бел-сер

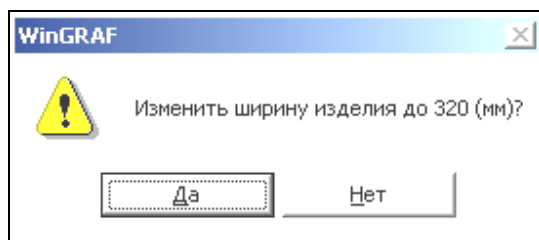
Отменить

Применить

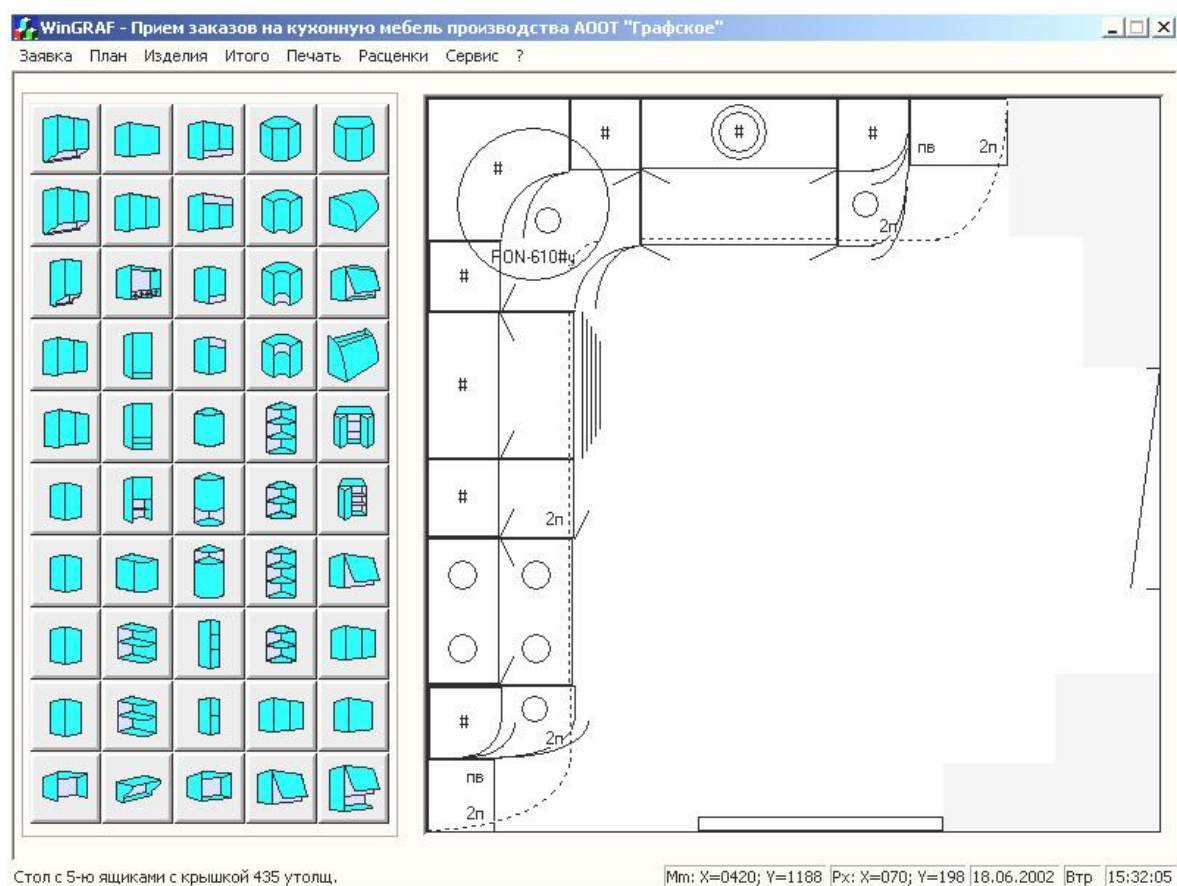
Заккрыть

**Рис. 2.19. Диалоговое окно для выбора пластиков и кромок**

При расстановке графических обозначений на плане кухни программа WinGRAF обеспечивает автоматический расчет ширины нестандартных изделий (рис. 2.20), ведя отсчет от точки привязки изделия до ближайшего препятствия (например, стены помещения или боковой стенки соседнего изделия). При этом учитываются установленные допуски для напольных и навесных изделий. Нестандартные высота и глубина изделия задаются в диалоговом окне «Выбор типоразмера для изделия» (см. выше рис. 2.17).



**Рис. 2.20. Запрос об изменении ширины изделия**



**Рис. 2.21. Общий план размещения мебели на кухне заказчика**



Помимо размещения графических обозначений мебельных изделий на плане можно указать расположение дверей, окон, стационарной газовой или электрической плиты и зон, недоступных для размещения изделий (рис. 2.21). При этом задание местоположения указанных объектов на плане должно предшествовать размещению обозначений мебельных изделий. С помощью множества недоступных зон можно моделировать помещения достаточно сложной конфигурации. Программа препятствует установке изделия в недоступной зоне, выдавая предупреждающее сообщение.

После создания плана размещения мебельных изделий на кухне заказчика можно получить точную итоговую стоимость заказа (команда «Итого» в главном меню). Затем можно выполнить предварительную оценку дизайна проекта, используя один из доступных в системе VRML-браузеров (например, Cosmo Player или Cortona VRML). Соответствующий текстовый файл, содержащий описание проекта интерьера кухни, автоматически формируется специально разработанным VRML-генератором [84, 85]. После этого можно распечатать фронтальный вид заказанного набора мебели с проставленными размерами для каждого изделия, а также комплект документов, оформляющих договорные отношения с заказчиком. Команда «Печать» открывает доступ к меню со следующими пунктами: «Заявка», «Накладные», «Счет-фактура».

Информационное «ядро» программы WinGRAF представлено рядом структур данных, включая базовую статико-динамическую структуру, описывающую номенклатуру существующих прототипов изделий, а также статические структуры подетально-пооперационных спецификаций изделий, файлов базовых расценок и т.д.

Наполнение конкретной информацией указанных структур выполняется по мере разработки новых моделей мебельных изделий, расчета их себестоимости и материалоемкости, поступления новых видов материалов, образцов комплектующих и встроенной техники.

Информационная модель конкретного заказа представлена совокупностью связанных списков. Начальный (головной) элемент каждого списка входит в состав статической части структуры, представляющей собой массив данных. Хвостовая часть списка может варьироваться для каждого элемента этого массива.

Индивидуальный заказ на изготовление кухонной мебели формируется на основе обширной библиотеки прототипных моделей изделий путем варьирования их габаритных размеров (параметрическая настройка), состава и количества в наборе, вариантов облицовки и декоративной отделки каждого изделия, а также комплектования заказа встроенной техникой и аксессуарами.

Каждый элемент списка представляет конкретный экземпляр изделия, описываемый структурой со следующими полями [88]:

*ind, ts* – номера (индексы) изделия и его типоразмера;

*height, width, depth* – высота, ширина и глубина изделия (мм);

*door* – высота двери изделия (мм);

*attrib2* – локальные атрибуты изделия, определяющие наличие, количество и ориентацию дверей и ящиков изделия, вид и ориентацию чаши мойки и т.п.;

*coord\_X, coord\_Y* – координаты «точки привязки» изделия на кухне заказчика;

*orient* – ориентация изделия (одна из восьми возможных);

*left, right* – величина левого и правого свеса столешницы напольного и карниза навесного изделия (мм);

*back* – величина заднего свеса столешницы напольного изделия (мм);

*karn\_w* – ширина карниза навесного изделия (мм);

*round* – признак скругления столешницы или карниза (нет скругления, скругление слева, справа, слева и справа);

*left\_R, right\_R* – радиусы кривизны для скругления столешницы или карниза слева и справа (мм);

*<...>* – поля, определяющие коды пластиков и кромок для столешницы, отбортовочного профиля, карниза, фасадных элементов изделий и т.п.;

*price* – стоимость изделия (руб.);

*remark* – примечание (комментарий);

*ptr* – указатель на следующий элемент в списке или «пустой» указатель (признак конца данного списка).

Помимо этого каждое изделие имеет глобальный (родовой) атрибут *attrib*, определяющий геометрическую форму его графического изображения, наличие или отсутствие дверей, ящиков, чаши мойки у изделия.

При проектировании интерьера кухни используются также структуры описания расположения дверей и окон на кухне, газовой или электрической плиты, зон, недоступных для размещения изделий (например, выступов в стенах, колонн и т.п.).

Для эффективного манипулирования перечисленными структурами разработана библиотека функций (методов), обеспечивающих сканирование структур, поиск элемента с заданными свойствами, вставку элемента и перенастройку указателей, удаление элемента в начале списка и т.д.

Для калькуляции себестоимости изделий, а также экспресс-расчета их стоимости, автоматического формирования прайс-листов и количества расходуемых материалов (пластиков, кромок ПВХ, ДСтП, ДВП и других) используется соответствующая библиотека функций.

Дополнительной информационной структурой, использующейся в проектировании (моделировании) интерьера кухни, является файл VRML-генератора трехмерных изображений. Записи данного файла имеют следующий вид [85]:

$$<id><x\ y\ z><h\ w\ d><x1\ y1\ z1><a><url1><url2> ,$$

где *id* – идентификационный номер (индекс) изделия;

*x y z* – координаты центра изделия;

*h w d* – габаритные размеры изделия (высота, ширина и глубина);

*x1 y1 z1* – вектор поворота изделия, задающий ось, вокруг которой осуществляется вращение;

*a* – угол поворота;

*url1*, *url2* – место положения *wrl*-файла и файла текстуры изделия (в формате JPEG).

Сформированный VRML-генератором *wrl*-файл содержит описание интерактивной трехмерной модели интерьера кухни, позволяющей выполнить с ней ряд манипуляций при помощи VRML-браузера, включая повороты вокруг осей, продольные перемещения, геометрические трансформации и т.д. Возможно также осуществление анимационных эффектов, например распаивание дверей изделий, выдвижение ящиков, включение подсветки, разборка изделия на составляющие его детали и т.п.

Таким образом, программа WinGRAF решает ряд основных задач реинжиниринга в условиях позаказного промышленного производства кухонной мебели. При этом используется обобщенная прототипная модель изделия, представленная рядом информационных структур, предназначенных для хранения данных о свойствах (атрибутах) изделия и используемых при динамической визуализации его модели. Совокупность КТТО реализована алгоритмически, т.е. представлена программным кодом и соответствующими таблицами значений параметров изделий. Подобный подход позволяет избежать многих субъективных ошибок, связанных с изменением параметров конструкции в заданных технологических условиях, при приеме индивидуальных заказов на изготовление кухонной мебели и проектировании интерьера кухни.

### 2.3. Система конструкторско-технологических требований и ограничений

Важным элементом концепции БОПП является включение в прототипные модели изделий, формируемых на этапе инжиниринга, обобщенной информации о КТТО, которая представляет собой выборку из БД, содержащую структурированный и абстрагированный от специфики конкретного предприятия перечень предельных и оптимальных параметров, а также формальных алгоритмов контроля соответствия модели этим параметрам.

Исходя из этого, математическая модель КТТО должна являться структурно-атрибутивной моделью в силу необходимости использования на этапе инжиниринга и объектно-ориентированной, так как включает в себя не только значения параметров, но и методы реализации контроля безошибочности.

В процессе реинжиниринга, при понижении уровня абстракции модели изделия, производится замена формальных параметров КТТО фактическими параметрами проектируемого изделия с автоматическим подключением методов соответствующего уровня, инкапсулированных в модель. Это позволяет формировать автоматические проектные операции, реализующие контроль корректности исполнительных координат изделия.

Схематичное представление структурно-атрибутивной модели КТТО показано на рис. 2.22.

Составные части системы КТТО классифицируются на группы по трем критериям:

- реакция системы на возникновение критической ситуации: регламентирующие и рекомендуемые;
- этап, на котором реализуются инкапсулированные методы: конструкторские и технологические;
- структурно-функциональный элемент модели КМИА, являющийся объектом действия элемента КТТО: листовый материал, погонный материал, элемент сопряжения, оборудование и инструмент.

Регламентирующие ограничения предполагают недопустимость выходов значений контролируемых параметров за диапазон допустимых значений. Они прерывают выполнение проектной операции для автоматического, автоматизированного или «ручного» (неавтоматизированного) изменения значений тех или иных параметров изделия. Примером регламентирующих КТТО являются ограничения на максимальный пролет горизонтальной перегородки без вертикальной опоры или на минимальное значение острого угла щитового элемента.



*Рис. 2.22. Схематическое представление структурно-атрибутивной модели КТТО*

Рекомендуемые ограничения, в отличие от регламентирующих, являются по своей сути предупреждениями проектировщику о нежелательности применения определенных проектных решений. Они также прерывают выполнение проектной операции, но оставляют решение об изменении значений контролируемых параметров за проектировщиком. Примерами рекомендуемых КТТО являются ограничения на типоразмеры элементов изделия или на соотношение высоты и глубины изделия.

В соответствии с двумя основными этапами проектирования мебельных изделий, конструкторским и технологическим, КТТО подразделяются на два соответствующих класса. Конструкторские ограничения связаны с геометрическими характеристиками отдельных щитовых элементов, их взаимным расположением и функциональным назначением. Технологические ограничения ориентированы на соответствие проектных операций имеющемуся оборудованию и технологическим процессам изготовления.

Ограничения, связанные с геометрическими характеристиками элементов модели изделия, носят комплексный характер и используются в методах, реализуемых на обоих этапах проектирования.

Данные и методы, инкапсулированные в модель КТТО, связаны с определенными структурно-функциональными элементами модели изделия,

при этом часть из них относится к элементам определенной группы, а другая часть – к ассоциативным связям между элементами разных групп.

Функционально каждый элемент  $Q_i$  множества КТТО в общем случае представляет собой зависимость вида:

$$Q_i = F(X) = F(M_j, K_m, F_k, S_n),$$

где  $M_j$  – характеристики листовых материалов, имеющих отношение к сфере действия данного элемента КТТО;

$K_m$  – характеристики кромочных материалов;

$F_k$  – множество элементов сопряжения;

$S_n$  – характеристики используемого оборудования.

В зависимости от типа конкретного элемента  $Q_i$  часть аргументов в указанном соотношении могут иметь неопределенные значения, что соответствует отсутствию влияния данного аргумента на выполнение соответствующих методов.

Объектно-ориентированный характер модели КТТО предполагает инкапсуляцию методов контроля результатов выполнения проектных операций определенному интервалу значений. В силу этого, каждый метод имеет две составляющие: алгоритмы контроля и набор формальных параметров. Реализация методов осуществляется на этапе реинжиниринга путем подстановки реальных проектных значений на место соответствующих формальных параметров. В разработанной модели КТТО определяются следующие параметры и операции:

- предельные значения внутренних и внешних острых углов, фасок и радиусов щитовых элементов как с точки зрения реализации соответствующей конфигурации, так и с точки зрения возможности облицовки их соответствующим кромочным материалом;
- предельные размеры горизонтальных и вертикальных перегородок, учитывающие способность выполнения ими своего функционального назначения и возможность изготовления из имеющихся заготовок;
- минимальные технологические и функциональные зазоры взаимного расположения щитовых элементов;
- интервалы допустимых значений взаимного расположения щитовых элементов и элементов сопряжения;
- дискретные ряды размеров внутренних полостей при установке в них стандартных блоков;
- рекомендуемые типоразмеры щитовых элементов и габаритных размеров изделия;

- соответствие параметров элементов сопряжения и профильных систем применяемым материалам;
- количественные и интервальные параметры установки элементов сопряжения с учетом минимизации переустановок оборудования;
- отсутствие открытых необлицованных кромок панелей.

Таким образом, предлагаемая модель КТТО, абстрагированная от технологических аспектов производства, является основой формирования автоматических проектных операций для контроля корректности исполнительных координат в процессе реинжиниринга. Возможности параметрической адаптации, заложенные в ее структуру, позволяют формировать базы данных КТТО, адекватно отражающие особенности реализации технологических процессов на конкретном мебельном предприятии.

База данных КТТО представляет собой структурированное множество формальных правил и ограничений, укрупненная структурная схема которой приведена на рис. 2.23. Она включает в себя одиннадцать отношений, объединенных связями вида «один-ко-многим» (1:N), использование которых позволяет исключить необходимость связующих отношений.

Отношение «Оборудование» содержит предельные значения контролируемых параметров, причем в зависимости от типа оборудования и применяемых технологических процессов отдельные поля отношения могут быть неопределенными. Например, применение на производстве присадочных станков предъявляет два формальных требования к установке крепежной и декоративной фурнитуры: кратность 32 мм расстояний между соседними отверстиями и минимальное количество технологических переходов и установов оборудования.

Отношение «Крепеж» описывает структуру узла сопряжения, включая параметры обобщенных отверстий, а также ограничений на взаимное расположение элементов сопряжения как относительно друг друга, так и относительно сопрягаемых щитовых элементов.

В отношение «Сопряжение» входят данные об ограничениях, накладываемых имеющимся оборудованием, и правилах использования дополнительного и альтернативного видов крепежа.

Отношение «Материалы» содержит толщину и тип материалов (листовой, погонный, кромочный).

Отношение «Алгоритмы» определяет способы позиционирования узлов сопряжения в зависимости от параметров сопрягаемых элементов, определяемые границами линейных интервалов, количеством элементов крепежа на каждом из них, а также указанием о способе базирования (от заднего среза изделия, от переднего среза изделия, от середины линии взаимного наложения сопрягаемых элементов). Атрибут «Конфигурация» пока-

зывает степень отклонения положения узла сопряжения от базовой осевой линии, определяемой предыдущими узлами сопряжения, при которой он позиционируется на данную линию.



Рис. 2.23. Укрупненная структурная схема БД КТТО

Отношение «Размер» содержит информацию о допустимых и рекомендуемых значениях габаритов изделия и элементов внутреннего наполнения, а также о предельных значениях внутренних и внешних радиусов и углов контура щитового элемента.



Отношение «Геометрия» – это набор данных о допустимом взаимном расположении щитовых элементов (с зазорами или без них) и используемых стандартных блоках, которые в свою очередь могут представлять собой функционально завершённые модели мебельных изделий, которые в проектируемом изделии рассматриваются как единое целое. Атрибут «Опоры» содержит информацию о критических размерах щитовых элементов, при превышении которых требуется установка дополнительных элементов жесткости, а также об их виде и способе установки.

Отношение «Стандарт» описывает структуру стандартных блоков, типичными представителями которых являются выдвижные ящики, выкатные тумбы и покупные элементы. К стандартным элементам относятся также элементы, включаемые в модель изделия целиком с сопряжением с одним или несколькими щитовыми элементами или без сопряжения (кухонные мойки, сетчатые полки, выдвижные галереи).

Отношение «Облицовка» включает в себя информацию об облицовочных материалах, используемых на лицевых и скрытых кромках панелей, а также о способе облицовки.

Отношения «Механизм» и «Профиль» актуальны только для определенных видов мебельных изделий и описывают параметры обобщенных механизмов раздвижения (при наличии в изделии раздвижных дверей) и обобщенной профильной системы (при наличии в изделии дверей профильной конструкции). Атрибут «Подрезка» в данных отношениях определяет величину, на которую уменьшаются размеры всех элементов внутреннего наполнения изделия при установке раздвижных дверей или профильных конструкций.

## 2.4. Объектно-ориентированное проектирование КМИА

Концептуальная модель любого проектируемого изделия состоит из элементов и связей между ними, поэтому формально может быть описана множеством упорядоченных пар:

$$S = \langle N, R \rangle,$$

где  $N = \{n_i\}$  – множество элементов изделия (щитовые элементы, сборочные единицы, элементы крепежной и декоративной фурнитуры и т.д.);

$R = \{r_i\}$  – множество связей (отношений) между элементами  $n_i$  (проходные вертикальные перегородки, накладные фасады, распашные или раздвижные двери и т.д.).

Таким образом, концептуальная модель прототипного изделия представляет собой некоторую формальную структуру из элементов множества  $N$ , между которыми установлены отношения  $R$ .

Аналитическая модель прототипного мебельного изделия состоит из трех взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга моделей [63, 69, 89]:

$$P = M_{km} \cup M_s \cup M_{kto},$$

где  $M_{km}$  – конструкционная модель прототипного объекта;

$M_s$  – модель узлов сопряжения;

$M_{kto}$  – модель КТТО.

Каждая из этих объектных структурно-атрибутивных моделей представляет собой суперпозицию двух сущностей: объектно-ориентированной и структурно-атрибутивной, причем первая из них носит универсальный характер и является общей для всех моделей. В отличие от нее, структурно-атрибутивная сущность каждой модели является уникальной и несет в себе характерные черты соответствующего объекта.

Обобщенное формальное описание модели объекта с точки зрения объектно-ориентированного подхода можно представить в виде упорядоченной тройки множеств:

$$M = (\bigcup_{i=1}^N A_i) \cup (\bigcup_{j=1}^M S_j) \cup (\bigcup_{k=1}^L F_k),$$

где  $A_i$  – данные, описывающие объект;

$S_j$  – свойства, которыми обладает объект;

$F_k$  – методы реализации отдельных свойств объекта.

Высокий уровень абстрагирования при инжиниринге не позволяет процедурно реализовать ряд свойств объекта, инвариантных относительно уровня абстрагирования, например, связанных с допустимостью исполнения узлов сопряжения при одновременной модификации способа сопряжения и элементов сопряжения. Это требует дополнения рассматриваемой модели аспектными атрибутами (аспектами), в которых локализуются сквозные требования к объекту, и которые позволяют осуществить предварительную обработку (препроцессинг) модели на уровне инжиниринга без перехода в пространство исполнительных координат. Таким образом, аспект представляет собой свойство объекта, абстрагирующее некоторую сущность предметной области, которое не имеет процедурной реализации на данном уровне абстракции и не является элементом функциональной декомпозиции объекта, но активно влияет на процесс формирования модели этого объекта.

Исходя из общего объектно-ориентированного описания, модели составных элементов прототипного мебельного изделия можно представить в виде, показанном на рис. 2.24.



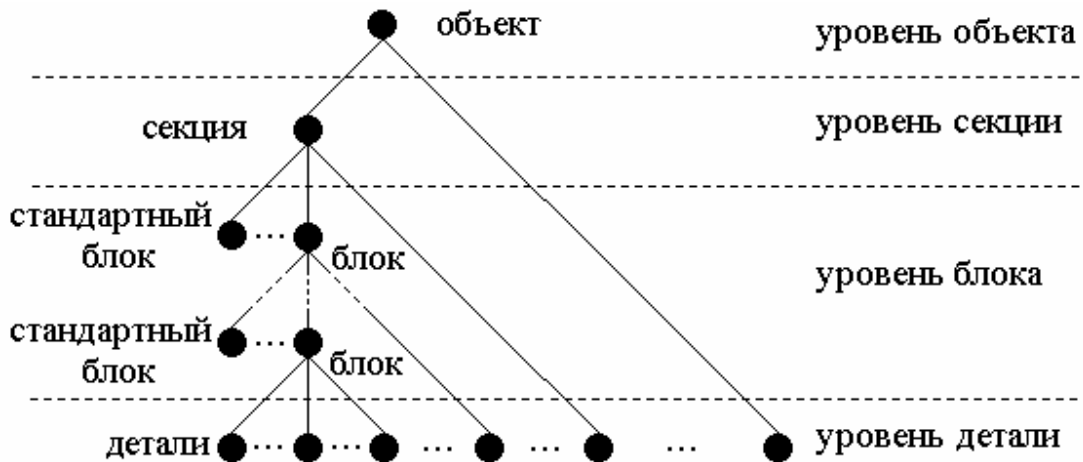
*Рис. 2.24. Объектно-ориентированная модель элементов прототипного изделия*

Атрибуты, описывающие объект, включают в себя геометрическую информацию о внешнем облике, информацию об особенностях его конструкции и технологии изготовления или применения. Свойства и аспекты любого объекта определяются его принадлежностью определенному классу мебельных изделий, элементов сопряжения или КТТО. Методы представляют собой формализованные описания правил и процедур контроля безошибочности выполнения отдельных проектных операций, включающие в себя алгоритмы их реализации и наборы формальных параметров. Исполнение методов происходит на этапе реинжиниринга в автоматическом режиме, когда в процессе выполнения процедур параметрического синтеза подключаются методы соответствующего уровня, и наборам формальных параметров ставятся в соответствие наборы фактических параметров.

Конструкционная модель прототипного объекта  $M_{km}$  является объединением структурно-атрибутивной модели, получаемой путем декомпозиции обобщенного мебельного изделия на уровни, показанные на рис. 2.24, и объектно-ориентированной модели, показанной на рис. 2.25.

На верхнем уровне объект представляется в виде совокупности деталей и секций. В качестве деталей в конструкционной модели прототипного объекта выступают панели – детали, у которых ширина и длина значительно превосходит толщину. Другими словами, деталь – это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

Секция представляет собой часть внутреннего пространства объекта, как минимум с двух сторон ограниченного панелями или частями панелей. Главная секция (внутреннее пространство объекта) ограничивается вертикальными и/или горизонтальными габаритными (внешними) перегородками. Помимо секций в состав объекта на верхнем уровне входят отдельные детали, не являющиеся элементами секций, например, цокольные коробки.



*Рис. 2.25. Многоуровневая структура модели прототипного объекта*

На уровне блоков определяется внутреннее наполнение всех секций изделия, включающее в себя детали, стандартные блоки и блоки. Блок или сборочная единица – это изделие, составные части которого соединяются между собой на предприятии-изготовителе или непосредственно у потребителя. Логическая структура блока определяется рекурсивно, как совокупность деталей, блоков и стандартных блоков, рассматриваемых как единое целое на определенном уровне декомпозиции. В отличие от него стандартный блок представляет собой неделимое изделие с точки зрения объектного представления модели, не допускающее дальнейшей декомпозиции по физическим или логическим причинам.

Свойства и аспекты детали определяются ее функциональным назначением и положением в структуре изделия. К ним относится следующая информация:

- возможность редактирования геометрических размеров детали;
- проекционные изображения детали;
- указатели на ассоциированные списки крепежных элементов и декоративной фурнитуры (аспектный атрибут);
- набор ассоциативных связей с другими деталями.

Методы, инкапсулированные в объектно-ориентированную модель детали, реализуют корректное выполнение любых допустимых операций изменения параметров детали при работе с изделием на любом уровне декомпозиции. Стандартные блоки по своему функциональному назначению и роли в модели изделия во многом схожи с деталями, поэтому в них инкапсулированы аналогичные данные, свойства, аспекты и методы.

Для практической реализации положений концепции БОПП с каждым уровнем декомпозиции обобщенного изделия (рис. 2.25) ассоциированы методы, обеспечивающие корректность выполнения проектных операций данного уровня, параметрами которых являются не только данные отдельных элементов, но и структурные связи между ними. Эти методы реализуют две основные функции при формировании и редактировании модели:

- соответствие размерных параметров деталей технологическим возможностям оборудования и используемым материалам;
- возможность выполнения своего функционального назначения изделием в целом и его составными частями.

Особую роль в процессе производства мебельных изделий играют элементы сопряжения, во многом определяя их качественные характеристики и предельные сроки эксплуатации. Основное их назначение в обеспечении прочного и плотного соединения всех деталей, что повышает жесткость и устойчивость конструкции.

Под элементами сопряжения (крепежным элементом, крепежом) понимается крепежная фурнитура, предназначенная для сопряжения панелей между собой и фиксирования их друг относительно друга при сборке мебельного изделия – независимо от того, предназначена она для стационарного или для подвижного соединения. В соответствии с этим узел сопряжения может быть описан множеством сопрягаемых панелей  $P$  и крепежным элементом  $K$ :

$$U_s = (\bigcup_{i=1}^N P_i) \cup K.$$

Структурно-атрибутивная модель узла сопряжения показана на рис. 2.26. При проектировании корпусной мебели практически все возможные способы взаимного сопряжения деталей сводятся к шести представленным обобщенным вариантам, которые определяют не только взаимное расположение панелей, но и возможность применения крепежных элементов того или иного типа.

В процессе инжиниринга крепежный элемент представляется абстрактным понятием, объединяющим в себе определенную комбинацию сопрягаемых панелей и обобщенных отверстий. Его структура должна содержать информацию, необходимую и достаточную для моделирования, визуализации и учета любого реально используемого элемента крепежной фурнитуры. Частным случаем элемента сопряжения является декоративная фурнитура, отличительная особенность которой состоит в наличии единственного сопрягаемого элемента (рис. 2.26, вариант б).



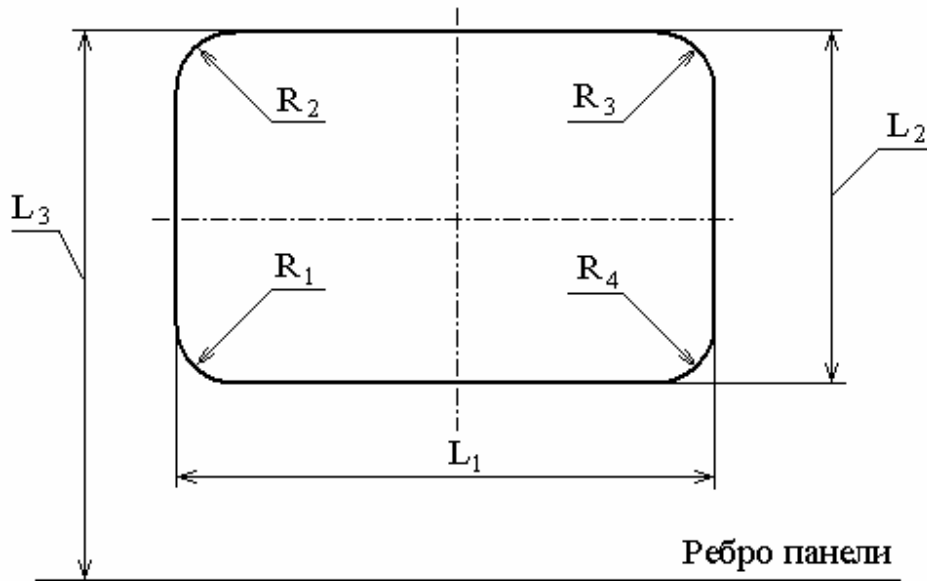
*Рис. 2.26. Структурно-атрибутивная модель узла сопряжения*

Основным образующим элементом в структуре крепежа является обобщенное отверстие, под которым понимается объект, относящийся к пласти или торцу панели и характеризующийся глубиной выборки и сечением (контуром выборки). Анализ типов крепежной фурнитуры, как применяемой при выпуске корпусной мебели, так и перспективной, приводит к понятию обобщенного отверстия, сечение и параметры которого показаны на рис. 2.27. Комбинируя сочетания и значения параметров  $L_i$ ,  $R_i$  и объединяя, при необходимости, несколько отверстий в одно, можно получить все требуемые виды отверстий, используемые при сопряжении панелей различными типами крепежных элементов. Предлагаемая модель допускает возможность отсечения части отверстия ребром панели, что и требуется при использовании некоторых типов крепежных элементов, например, эксцентриковых стяжек. Это определяется соотношением числовых значений параметров  $L_2$  и  $L_3$ .

Помимо параметров, показанных на рис. 2.27, при описании обобщенного отверстия используются еще два параметра:

- двухпозиционный параметр, определяющий место расположения отверстия: на пласти панели или в ее торце;

- глубина выборки, нулевое значение которой соответствует сквозному отверстию.



*Рис. 2.27. Сечение и параметры обобщенного отверстия*

Наименование крепежного элемента представляет собой идентификатор, присвоенный ему в соответствии с системой классификации и кодирования, принятой на конкретном предприятии. Он позволяет объединять идентичные элементы при решении задачи расчета потребного количества комплектующих элементов.

Проекционные изображения носят вспомогательный характер. Они представляют собой упрощенные геометрические изображения фронтальной, горизонтальной и профильной проекций крепежного элемента и предназначены для его визуализации.

Предлагаемая структура крепежного элемента, базирующаяся на понятии обобщенного отверстия, реализует модельное представление многообразия однотипных по назначению, но различных по исполнению крепежных элементов.

Помимо данных, в модель узла сопряжения инкапсулируются две группы методов: методы, определяющие алгоритмы и правила размещения узлов сопряжения на модели КМИА, и методы, контролирующие соответствие положения и параметров каждого узла сопряжения условиям КТТО.

Первая группа методов определяет места позиционирования обобщенных отверстий на сопрягаемых панелях в зависимости от типа сопряжения и параметров крепежных элементов:

$$\{X, Y\}_{i,j} = F([P_1, \dots, P_k], [O_1, \dots, O_n]),$$

где  $\{X, Y\}_{i,j}$  – координаты  $i$ -го отверстия на  $j$ -ой сопрягаемой панели;

$P_i$  – характеристики взаимного расположения панелей;

$O_i$  – модели обобщенных отверстий.

Использование указанного соотношения сводит проектные операции формирования узлов сопряжения (разработка схем присадок и базирования с учетом технологических особенностей оборудования и инструмента) к решению формализованной задачи определения координат обобщенных отверстий. Методы данной группы базируются на следующих критериях:

- учет стандартного шага присадочного оборудования;
- соответствие геометрических параметров конструктивных элементов и массивов обобщенных координат крепежных элементов;
- выбор оптимального количества крепежных элементов для обеспечения требуемой жесткости изделия;
- вариантный выбор базовой поверхности;
- недопустимость локального разрушения конструктивных элементов изделия при формировании узла сопряжения.

Вторая группа методов определяет степень соответствия взаимного расположения узлов сопряжения возможностям их совместного исполнения и требованиям КТТО. При обнаружении несоответствия выполняется автоматическая коррекция абстрактных координат несовместимых элементов, после чего производится повторный анализ. При невозможности достижения положительного результата формируется развернутое диагностическое сообщение о необходимости внесения конструктивных изменений в исходную модель, после чего процесс повторяется.

При реинжиниринге прототипных моделей проектная операция разработки схем скрепления конструктивных элементов изделий трансформируется в построение отображения множества обобщенных элементов сопряжения во множество реальной крепежной фурнитуры, находящейся в базе данных предприятия. Данное отображение является биективным и реализуется в автоматическом режиме, сохраняя свою безошибочность на всем множестве конструктивных вариаций прототипной модели.

Модель КТТО  $M_{kto}$  подробно описана выше (см. п. 2.3).

Следует отметить, что предлагаемая объектно-ориентированная структурно-атрибутивная модель прототипного мебельного изделия отличается эскизным способом исходного представления, абстрагированным от конструктивно-технологических аспектов конкретного производства. Это



позволяет максимально исключить участие человека в формировании исполнительных координат за счет генерации множества автоматических проектных операций на этапе реинжиниринга.

## **2.5. Сравнительный анализ традиционной и новой парадигм автоматизированного проектирования КМИА**

В основе специализированных САПР мебели, получивших распространение в настоящее время, лежит геометрическая модель мебельного изделия. Ее построение выполняется, как правило, по восходящей схеме (снизу вверх) и требует от проектировщика задания множества так называемых исполнительных координат. Благодаря этому обстоятельству, подготавливается «благодатная» почва для внесения в проект множества субъективных ошибок, проконтролировать которые зачастую не удастся вплоть до начала изготовления изделия. Для уменьшения их количества необходимо перейти к моделям более высокого уровня, использующим, в частности, нисходящую схему (сверху вниз) проектирования

Как отмечалось выше, эскизно-структурное описание основывается на системе классификации корпусной мебели и ее элементов и обеспечивает упрощенное (укрупненное) координатное представление конструкции КМИА с учетом заданных КТТО. Повышение уровня абстракции объекта проектирования, с одной стороны, снижает количество ошибок проектирования, а с другой стороны, – ограничивает область возможных проектных решений.

Здесь можно провести параллель с проблемой выбора и использования языков программирования высокого (ЯВУ) и низкого (ЯНУ) уровней. Известно, что понятия, реализованные в ЯВУ, имеют более высокий уровень абстракции, чем понятия, представленные в ЯНУ. Это позволяет использовать «блочный» подход к разработке программ, при котором каждый оператор ЯВУ отражает достаточно крупное действие алгоритма. Например, разработка программ с использованием языка Фортран (FORTRAN – FORMula TRANslation) – исторически первого ЯВУ (начало 1950-х гг.) – ведется гораздо быстрее и с меньшим количеством ошибок, чем на языке ассемблера (ЯНУ). Однако область применения Фортрана существенно ограничена и охватывает в основном научные и инженерно-технические расчеты. В то же время язык ассемблера чрезвычайно гибкий и позволяет разрабатывать как системное (драйверы внешних устройств, модули операционной системы, компиляторы ЯВУ и т.д.), так и прикладное программное обеспечение (в том числе – программы для научных и инженерно-технических расчетов).

Аналогично, подсистема эскизного проектирования, рассмотренная выше, обеспечивает более высокий уровень представления КМИА, чем традиционные универсальные САПР, оперирующие полноформатной геометрической моделью. В частности, в состав ОСАМ прототипного изделия корпусной мебели включается комплекс КТТО, который используется при дальнейшей работе с моделью. Подготовка КТТО выполняется с помощью одного из автоинтерактивных редакторов подсистемы эскизного проектирования.

В некоторых из отечественных САПР мебели, рассмотренных выше, также предпринимаются попытки повысить уровень модельного представления объекта проектирования, что нашло свое отражение в разработке специализированных модулей, так называемых *мастеров* (например, модуль «Мастер Шкафа/Тумбы» в системе «bCAD для Мебельщика» или «Базис-Шкаф» в «БАЗИСЕ»). В них, в частности, представлены некоторые из КТТО, реализованные алгоритмически, т.е. включенные в программный код этих модулей.

Как ранее отмечалось, позаказное промышленное производство корпусной мебели предъявляет повышенные требования к качеству и срокам проектирования изделий. Чтобы соответствовать этим требованиям, специализированные САПР мебели должны предлагать комплексные решения, автоматизирующие важнейшие стадии жизненного цикла изделий. Это, в свою очередь, требует пересмотра сложившихся представлений относительно структуры и содержания проектов, использующихся в данных системах, а также реализованной ими парадигмы автоматизированного проектирования объектов корпусной мебели. В качестве методологической основы для практической реализации новой парадигмы при разработке перспективной САПР мебели выступает концепция безошибочного проектирования и производства сложных корпусных мебельных изделий и ансамблей.

Основные положения данной концепции, рассмотренные в следующей главе, ориентируют на:

- повышение уровня абстрагирования при моделировании КМИА и использование комплекса высокоуровневых структурных моделей вместо традиционной геометрической модели;
- перенос «центра тяжести» с этапа рабочего проектирования на этап эскизного проектирования;
- параллельное выполнение ряда проектных процедур и операций, относящихся как к самому процессу проектирования, так и к другим процессам ЖЦ КМИА;
- многоаспектное проектное представление КМИА;

– моделирование информационной инфраструктуры мебельного предприятия с целью организации эффективного управления.

Сравнительный анализ основных особенностей двух парадигм автоматизированного проектирования традиционной и новой – выявляет ряд их существенных различий, представленных в табл. 2.1.

*Таблица 2.1*

*Различия традиционной и новой парадигм автоматизированного проектирования корпусной мебели*

<b>№ п/п</b>	<b>Традиционная парадигма проектирования</b>	<b>Новая парадигма проектирования</b>
1	Ориентация на традиционный способ серийно-массового производства мебельных изделий	Ориентация на позаказное промышленное производство мебельных ансамблей
2	Отсутствие жестких временных ограничений на этапах проектирования, подготовки производства, собственно производства	Наличие жестких временных ограничений на всех этапах реализации проекта мебельного ансамбля
3	Ориентация на традиционный маршрут проектирования	Ориентация на высокоуровневое эскизное проектирование
4	Реализация функций «электронного кульмана» для низкоуровневого конструкторского проектирования	Реализация интеллектуальных процедур высокоуровневого проектирования
5	Организация контроля качества проектирования после окончания конструкторского проектирования	Организация процедур безошибочного проектирования в процессе эскизного проектирования
6	Подготовка производства осуществляется после завершения полного цикла конструкторского проектирования	Комплексная подготовка и сопровождение производства осуществляются параллельно с конструкторским проектированием
7	Не требует изменения сложившейся инфраструктуры мебельных предприятий	Вносит рекомендации по изменению традиционной инфраструктуры мебельных предприятий
8	Отсутствие оперативной связи между производителем и потребителем	Наличие оперативного взаимодействия производителя с заказчиком
9	Контроль качества произведенной продукции осуществляет ОТК, подчиненный производителю	Приемку изделий и контроль их качества осуществляет заказчик

### **ГЛАВА 3**

## **КОНЦЕПЦИЯ БЕЗОШИБОЧНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА КОРПУСНЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И АНСАМБЛЕЙ**

Новая парадигма автоматизированного проектирования сложных изделий корпусной мебели основывается на ряде положений концепции безошибочного проектирования и производства. Главная цель разработки концепции нашла отражение в самом ее названии, а именно: максимально освободить от субъективных ошибок процессы проектирования и производства сложной корпусной мебели, т.е. сделать их практически безошибочными. Естественно, степень достижения данной цели имеет относительный характер, определяющийся уровнем проработки моделей, методов и алгоритмов, лежащих в основе средств автоматизации проектирования корпусной мебели и технологической подготовки мебельного производства. При этом область охвата концепции БОПП не ограничивается только процессами проектирования и технологической подготовки производства мебели, она простирается и на другие этапы и стадии жизненного цикла изделия, включая и более поздние, называемые постпроизводственными стадиями.

Основные положения концепции БОПП ориентируют на выполнение ряда условий, среди которых можно выделить следующие:

- повышение уровня абстрагирования при моделировании КМИА и использование комплекса высокоуровневых структурных моделей вместо традиционной геометрической модели;
- перенос «центра тяжести» с этапа рабочего проектирования на этап эскизного проектирования;
- параллельное выполнение ряда проектных процедур и операций, относящихся как к самому процессу проектирования, так и к другим процессам ЖЦ КМИА;
- многоаспектное проектное представление КМИА в качестве базы для практической реализации CALS-технологий в мебельной промышленности;
- моделирование информационной инфраструктуры с целью формирования единого информационного пространства мебельного предприятия и эффективного управления им.

Важнейшей предпосылкой для практической реализации основных положений концепции БОПП в условиях позаказного проектирования и производства является осознание необходимости и готовность решения

комплексной задачи информатизации на мебельном предприятии. Некоторые особенности данной задачи и аспекты ее решения применительно к мебельной отрасли представлены ниже.

### 3.1. Информатизация предприятий мебельной промышленности

При организации позаказного промышленного производства перед мебельным предприятием встает ряд сложных задач информационного характера, связанных с обеспечением различных подразделений достоверной, полной и оперативной (своевременной) информацией. В этой связи, особую актуальность приобретает комплексная задача информатизации производственно-хозяйственной деятельности предприятий мебельной промышленности.

**Информатизация** – это организованный социально-экономический и научно-технический процесс, ориентированный на создание оптимальных условий для удовлетворения информационных потребностей отдельного человека, предприятия или организации. Данный процесс реализуется на основе формирования и использования информационных ресурсов посредством современных информационных технологий и развитой инфраструктуры.

Информатизация включает в себя три взаимосвязанных процесса:

- **медиатизацию** (от лат. *mediatus* – выступающий посредником) – совершенствование средств сбора, хранения и распространения информации;
- **компьютеризацию** (от англ. *computer* – вычислитель) – совершенствование средств поиска и обработки информации;
- **интеллектуализацию** (от лат. *intellectus* – ум, рассудок, разум) – развитие способности восприятия и порождения информации, повышающей интеллектуальный потенциал общества.

В настоящее время на многих мебельных предприятиях в качестве первоочередных задач рассматривается реализация двух первых составляющих процесса информатизации. Для их решения требуется внедрение комплексных средств автоматизации, охватывающих основные этапы расширенного производственного процесса и представленные распределенной интегрированной информационной системой реального времени.

### **3.1.1. Автоматизированные информационные системы и их классификация**

Ранее разработкой автоматизированных решений различных задач управления мебельным производством занимались, главным образом, в рамках крупных мебельных объединений регионального масштаба. Самостоятельно подобные задачи могли решать лишь немногие крупные мебельные предприятия, что объяснялось дороговизной вычислительной техники и ее дефицитом. Кроме того, ретроспективный анализ публикаций показывает, что в условиях плановой экономики вопросам автоматизации управления на мебельных предприятиях уделялось существенно меньше внимания, чем на предприятиях в других промышленных отраслях. Так, например, на 1 января 1976 года, во время увлечения подобной проблематикой, в промышленности бывшего СССР действовало 2778 АСУ, из них всего лишь 20 в лесной и деревообрабатывающей промышленности, что составляло менее 1 % от общего числа [90].

Снижение стоимости вычислительных систем, благодаря достижениям микроэлектроники и стремительному развитию компьютерных технологий, обеспечило возможность компаниям среднего и даже малого бизнеса приобретать или разрабатывать АИС различного назначения. Один из возможных вариантов классификации АИС, известных в России, представлен в табл. 3.1 [91, 92]. В качестве основных критериев, позволяющих отнести каждую конкретную АИС к одной из четырех представленных групп (классов), является ее функциональная полнота – набор реализуемых функций, а также степень интеграции, т.е. совместное, согласованное использование функций, и, соответственно, зависящий от этого ценовой диапазон.

Вообще существуют различные варианты классификации информационных систем в зависимости от используемых критериев, среди которых можно выделить следующие:

- по функциональному признаку: маркетинговые информационные системы, производственные, для управления финансами и ведения учета, для управления кадрами и другие, зависящие от специфики предприятия;
- по уровню реализации управления: системы нижнего (исполнительского, оперативного или операционного), среднего (тактического) и верхнего (стратегического) уровней (рис. 3.1);
- по признаку структурированности решаемых задач: системы, реализующие структурированные (формализуемые), неструктуриро-

ванные (не формализуемые) и частично структурированные задачи.

Таблица 3.1

## Классификация автоматизированных информационных систем

Степень интеграции	Локальные системы	Малые интегрированные системы	Средние интегрированные системы	Крупные интегрированные системы
Цена	2–50 тыс. долл.	50–200 тыс. долл.	200–500 тыс. долл.	≥ 500 тыс. долл.
Название системы	1С:Предприятие, БЭСТ, Инотек, Инфин, Флагман, Инфо-бухгалтер и др.	Concorde XAL, Navision, Solomon IV, SunSystems, Босс-Корпорация, Галактика, Парус и др.	Microsoft Axapta, MAX, MFG/PRO, Platinum Era, Renaissance, SCALA, Business One, FastForward и др.	SAP/R3, Baan IV, Oracle Applications, JD Edwards и др.

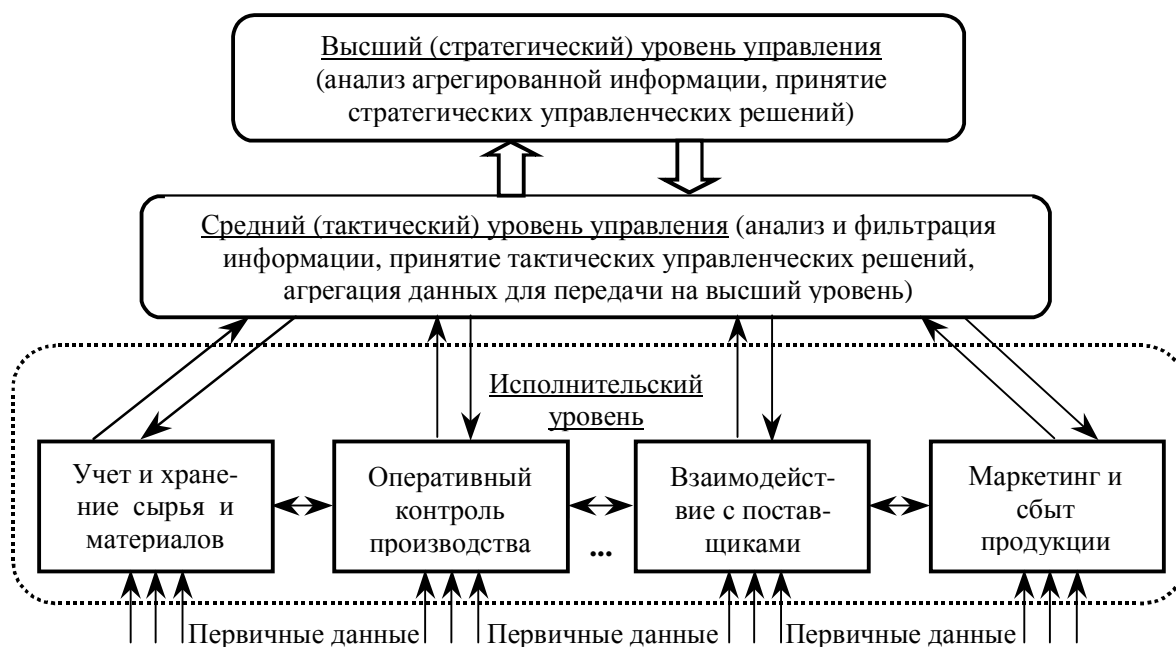
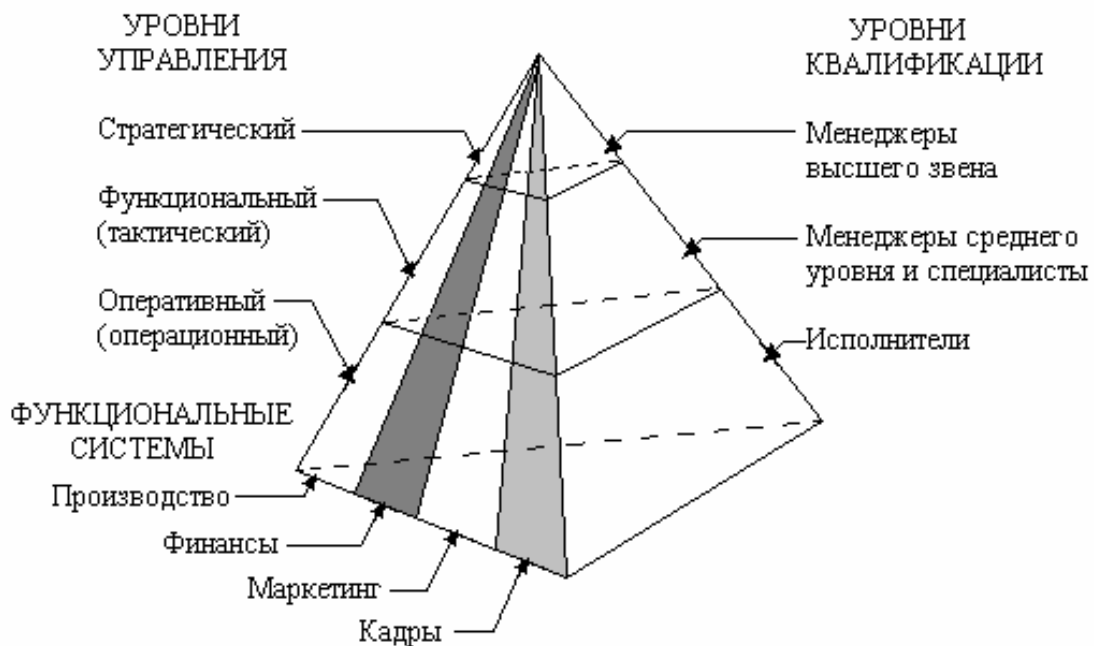


Рис. 3.1. Трехуровневая организация информационной системы поддержки управления производственным предприятием

Комбинированный способ классификации информационных систем по функциональному признаку с учетом уровней управления и уровней квалификации персонала представлен на рис. 3.2.

Чем выше по значимости уровень управления, тем меньше объем работ, выполняемых специалистом и менеджером с помощью информационной системы. Однако при этом возрастают сложность и интеллектуальные возможности информационной системы, а также ее роль в принятии менеджером решений. Любой уровень управления нуждается в информации из всех функциональных систем, но в разных объемах и с разной степенью обобщения.

В основании пирамиды представлены информационные системы, с помощью которых исполнители занимаются оперативной (операционной) обработкой данных, а менеджеры низшего звена – оперативным управлением. На вершине пирамиды, на уровне стратегического управления информационные системы изменяют свою роль и становятся стратегическими, поддерживающими деятельность менеджеров высшего звена по принятию решений в условиях слабо структурированных задач.



**Рис. 3.2. Комбинированный способ классификации информационных систем**

Если следовать принятой за рубежом классификации АИС, то все системы, поддерживающие ведение бизнеса на предприятиях, можно разделить на следующие две группы [92]:



- системы управления бизнес-процессами (Business Management System – BMS);
- системы управления ресурсами предприятия (системы, в основе которых лежат современные методологии управления предприятиями MRPII/ERP).

В свою очередь, программные продукты класса BMS разбиваются на три группы, условно называемые Low End, Middle и High End PC. К первой группе (Low End PC) относят достаточно простые системы (так называемые «коробочные программные продукты»), позволяющие автоматизировать небольшое количество стандартных бизнес-процессов предприятия. Как правило, они устанавливаются на автономно работающем персональном компьютере (ПК) или в небольшой локальной сети, объединяющей 5–7 компьютеров. Стоимость подобных программ не превышает 3 тыс. долл., возможности их конфигурации ограничены, а сама установка и конфигурирование могут быть выполнены собственными силами. Большинство отечественных систем, автоматизирующих работу бухгалтерии предприятия (например, «1С-Бухгалтерия», «Инфо-Бухгалтер» и др.), относятся к данному классу систем.

Ко второй группе (Middle PC) относят системы, отличающиеся большей глубиной и широтой охвата функций, включающих поддержку бухгалтерского, складского и других видов учета. Стоимость таких систем составляет от 3 тыс. до 30 тыс. долл., их настройку, как правило, выполняют либо специалисты фирмы-разработчика, либо специалисты фирм, занимающихся их внедрением, поскольку в подобных системах требуется описать десятки бизнес-процессов. В качестве примера отечественных разработок, относящихся к данной группе, можно назвать системы «БЭСТ», «Флагман», «1С-Предприятие» и некоторые другие.

К третьей группе (High End PC) относят системы, которые могут применяться на предприятиях среднего масштаба, не предъявляющих высоких требований к функциональности и гибкости своих систем управления. Подобные программные продукты, рассчитанные на одновременную работу большого количества пользователей, могут содержать описания сотен бизнес-процессов, а для их эффективного функционирования требуются надежные операционные системы Windows NT/2000/2003 или Unix. Стоимость систем данной группы составляет от 30 тыс. до 100 тыс. долл. и, как правило, сопоставима с затратами на их внедрение. Из отечественных разработок к продуктам данной группы относятся системы «Парус», «Галактика» и «Босс-Корпорация», из западных – Concorde XAL и некоторые другие.

К системам высшего уровня относятся программные продукты, которые базируются на современной методологии управления ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия), содержат описания нескольких тысяч бизнес-процессов, могут иметь до 100 тыс. настраиваемых параметров и требовать сложной и длительной настройки. Системы данного класса отвечают большинству запросов как средних, так и крупных предприятий, их стоимость составляет от 100 тыс. до 500 тыс. долл. и выше, срок внедрения – от полугода до полутора лет и более. При этом стоимость внедрения может в два и более раз превышать стоимость самой системы. В настоящее время отечественных разработок подобного класса нет, лишь немногие из систем приближаются к этому уровню, реализуя, в большей или меньшей степени, предыдущий стандарт управления MRPII (Manufacturing Resource Planning – планирование производственных ресурсов), например, указанные выше системы «Галактика» и «Босс-Корпорация». Следует отметить, что различных ERP-систем в мире насчитывается несколько десятков, в то время как MRPII-систем – несколько сотен.

Все ERP-системы можно разделить на две группы, которые ориентированы на крупные и средние предприятия, соответственно. К первой группе относятся системы: R/3 (фирма SAP, ФРГ), Baan IV (BAAN, Нидерланды), Oracle Manufacturing (Oracle, США) и другие. Ко второй группе относятся системы: MFG/PRO (QAD, США), SyteLine (Frontstep, США), Business One (Oracle, США), infor:COM (infor Global Solutions AG, ФРГ) и другие.

По оценкам экспертов компании SAP AG Russia, в течение последних 2–3 лет российский рынок комплексных информационных систем (класса MRPII/ERP) дает ежегодный прирост от 20 до 40 %, причем обеспечивают его в основном компании среднего бизнеса с годовым оборотом свыше 500 тыс. долл. США.

Компании малого бизнеса также используют специализированные программные системы (локальные информационные системы), позволяющие оптимизировать существующие бизнес-процессы. При этом достаточно актуальными становятся задачи информационного и функционального согласования (интеграции) различных программных систем в рамках действующего предприятия.

### **3.1.2. Автоматизация производственно-хозяйственной деятельности мебельных предприятий**

Как отмечалось выше, большинство отечественных мебельных предприятий являются небольшими компаниями, которые полностью или частично перешли на позаказное производство мебели. У них, как правило, недостаточно финансовых средств для полномасштабного внедрения комплексных информационных систем (КИС), автоматизирующих основные аспекты их деятельности. Тем не менее, бухгалтерско-финансовая и учетная сфера деятельности таких предприятий автоматизирована достаточно хорошо за счет использования сравнительно недорогих типовых отечественных программных продуктов, наиболее известными из которых являются разработки фирмы «1С» (г. Москва).

Для автоматизированного решения задач планирования и управления на мебельных предприятиях ряд российских фирм, занимающихся внедрением КИС, предлагают апробированные западные системы, относящиеся к среднему классу. В частности, компания «Фронтстеп СНГ» (г. Москва) предлагает ERP-систему SyteLine американской фирмы Frontstep, Inc. (ранее известной как Symix) в качестве подходящего отраслевого решения для мебельной промышленности [93]. Имеется положительный опыт внедрения этой системы на мебельной фабрике «Авиастар-мебель», входящей в производственное объединение «Ульяновскмебель» (г. Ульяновск), а также в торгово-производственной компании «Дарсо-мебель» (ныне группа компаний «Дарсо», г. Москва). При этом средняя стоимость внедрения каждого из так называемых контуров управления составляет около 50–70 тыс. долл. США.

Компания «ЭпикРус» (г. Москва) предлагает российским мебельщикам собственное отраслевое решение infor:Мебель – адаптированный вариант системы infor:FURNITURE; последняя реализована на базе ERP-системы infor:COM немецкой фирмы Infor Business Solutions AG (ныне – группа компаний Infor Global Solutions) [94]. В этой разработке учтен ряд особенностей мебельных предприятий, таких как немедленный расчет стоимости изделия, отслеживание точных сроков поставки, поддержка резервирования комплектующих под заказ. Кроме того, учитываются особенности производства и делопроизводства, к которым относится также оформление заказа на языке поставщика. Последняя особенность имеет большое значение для отечественной мебельной отрасли, поскольку значительная часть фурнитуры и комплектующих изделий поступает из-за рубежа.

По мнению руководства компании «ЭпикРус», практика предложения предприятиям решений, изначально адаптированных к требованиям той или иной отрасли, а не настройка существующих универсальных решений, наилучшим образом отвечает потребностям средних и малых предприятий. При этом для старта внедренческих работ требуется сумма не менее 50 тыс. долл. США, а для реализации полноценного проекта – более 150 тыс. долл. Ряд российских мебельных предприятий, среди которых ПК «Корпорация Электрогорскмебель» (г. Электрогорск, Московская обл.), ЗАО «Энгельсская мебельная фабрика» (г. Энгельс, Саратовская обл.), МК «Катюша» (г. Дятьково, Брянская обл.), остановили свой выбор на данном отраслевом решении.

Следует отметить, что внедрение подобных систем на мебельных предприятиях за рубежом выполняется в комплексе с разработкой (адаптацией, доработкой) и внедрением специализированных САПР (CAD/CAM-систем). Например, внедрение отраслевого решения infor:FURNITURE на ведущем немецком мебельном предприятии Weimann Ladenbau GmbH, успешно выполненное в 2004 г., осуществлялось совместно компаниями Infor Global Solutions и COBUS ConCept. Последняя известна в ФРГ как разработчик специализированных CAD/CAM-систем для мебельных и деревообрабатывающих предприятий [95].

Внедренческий центр ООО «1С-Рарус» (г. Москва) предлагает мебельным предприятиям собственную разработку – типовое решение «1С-Рарус: Мебельное предприятие», предназначенное для автоматизации оперативного и управленческого учета на предприятиях, осуществляющих производство и продажу мебели [96]. В основе этого решения лежит известный программный продукт «1С-Предприятие 7.0» российской фирмы «1С» (г. Москва).

Программный пакет «1С-Рарус: Мебельное предприятие. Ред. 2.0» позволяет выполнить построение и настройку следующих автоматизированных рабочих мест (АРМ): руководителя предприятия, начальника производства, технолога, начальника службы сбыта, начальника службы снабжения, менеджера склада, бухгалтера.

Типовое решение «1С-Рарус: Мебельное предприятие», помимо передачи данных (размеры мебельных заготовок) в программы формирования карт раскроя листовых материалов, предусматривает информационный обмен со специализированными САПР мебели «БАЗИС» и «КЗ-Мебель» (см. выше рис. 1.3). В частности, для справочника «Номенклатура» (материалы) обеспечивается двухсторонняя передача данных, а информация о заказе загружается из САПР мебели и может конвертироваться в ряд взаимосвя-

занных документов (заказ на отгрузку, технологическая карта, задание на производство).

Таким образом, в настоящее время на отечественном рынке информационных технологий представлены разнообразные программные решения, связанные с автоматизацией поддержки различных аспектов производственной и управленческой деятельности предприятий (в том числе и мебельных). Анализ представленных решений показывает, что в большинстве случаев они игнорируют сам «объект» производства, т.е. предмет труда в его завершенном представлении – мебельное изделие или ансамбль, оперируя при этом некоторыми опосредствованными финансово-экономическими показателями. При этом ряд важных особенностей позаказного промышленного проектирования и производства сложной корпусной мебели фактически не берутся в расчет [97].

В то же время, важно учесть и сохранить особенности заказанного мебельного ансамбля на всем протяжении расширенного производственного процесса, включающего этапы дизайна и конструкторской проработки, технологической подготовки производства и собственно изготовления изделий, последующей компоновки их в составе мебельного ансамбля и, возможно, оборудования интерьера помещения. Для этого необходимы адекватные информационные модели мебельного изделия и основных этапов его ЖЦ, важнейшим среди которых является этап конструкторско-технологической подготовки производства. Информационному моделированию должны предшествовать процедуры информационного обследования и проектирования процессов производственно-хозяйственной деятельности предприятия [98, 99].

Важность информационного моделирования в процессах проектирования, реализации и использования АИС трудно переоценить. Именно оно, являясь разновидностью математического моделирования, позволяет заложить прочные основы для разработки эффективной информационной системы. Здесь уместно упомянуть Р. Баркера, признанного эксперта в области АИС и вице-президента ORACLE Europe, который неоднократно заявлял, что информация должна рассматриваться не только как некая принадлежащая предприятию ценность, но и как отправной пункт в процессе построения информационной системы, обслуживающей предприятие.

В этой связи целесообразно рассмотреть мебельное предприятие, осуществляющее позаказное промышленное производство, как пример производительной системы, акцентировав внимание на подсистеме обработки данных и поддерживающей ее информационной инфраструктуре.

### 3.1.3. Мебельное предприятие как производительная система

Мебельное предприятие, наряду с другими промышленными предприятиями, осуществляющими производство товаров для удовлетворения нужд конечных потребителей, может рассматриваться как производительная система. В составе этой системы можно выделить следующие основные подсистемы [100]:

- производства товара ( $P$  – *product*);
- потребления товара ( $C$  – *consume*);
- распределения-доставки товара потребителям ( $L$  – *logistic*);
- утилизации отходов производства, распределения и потребления товара ( $R$  – *recycle*);
- обработки информации, обеспечивающей функционирование производительной системы ( $D$  – *data*).

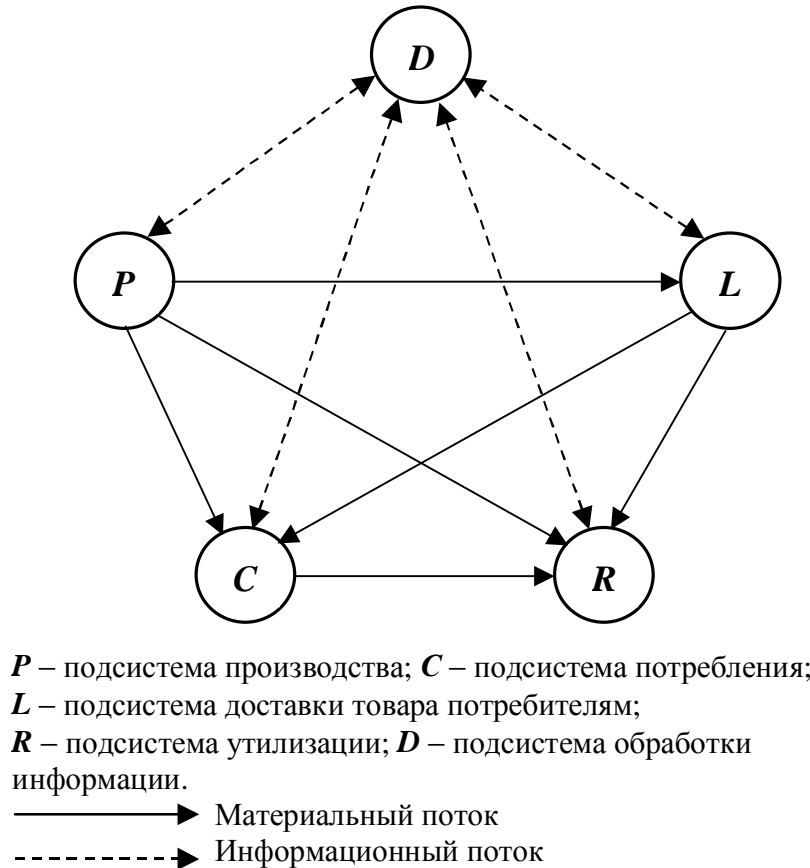
Перечисленные подсистемы связаны друг с другом материальными и информационными потоками. С их учетом производительную систему можно схематично представить в виде, показанном на рис. 3.3.

Важнейшую роль в производительной системе играет подсистема обработки информации ( $D$ ), выступающая в качестве связующего звена между другими подсистемами. В любом, в том числе и мебельном производстве, она охватывает решение задач, относящихся к анализу рынка и определению целей деятельности; проектированию изделия, методов и средств производства, распределению, потреблению и утилизации; управлению функционированием производительной системы и всех ее подсистем.

Информация, циркулирующая в производительной системе, создается, преобразуется и накапливается в системах конструкторской (КПП) и технологической (ТПП) подготовки производства, которые могут быть объединены в единую систему конструкторско-технологической (технической) подготовки производства (КТПП). Информационные потоки между подсистемами, составляющими систему КТПП, имеют сложную структуру, которая отражает взаимосвязь и взаимозависимость задач, возникающих и решаемых в производительной системе на разных этапах жизненного цикла изделия ЖЦИ. Обобщенно структуру информационных потоков в производительной системе можно представить с помощью схемы, показанной на рис. 3.4.

Из приведенной схемы (рис. 3.4) видно, что центральное место в процессе обработки информации в производительной системе, отводится системе КПП. В настоящее время построение любой из таких систем основыв-

вается на использовании комплексных средств автоматизации, включающих в свой состав специализированные и/или универсальные САПР.



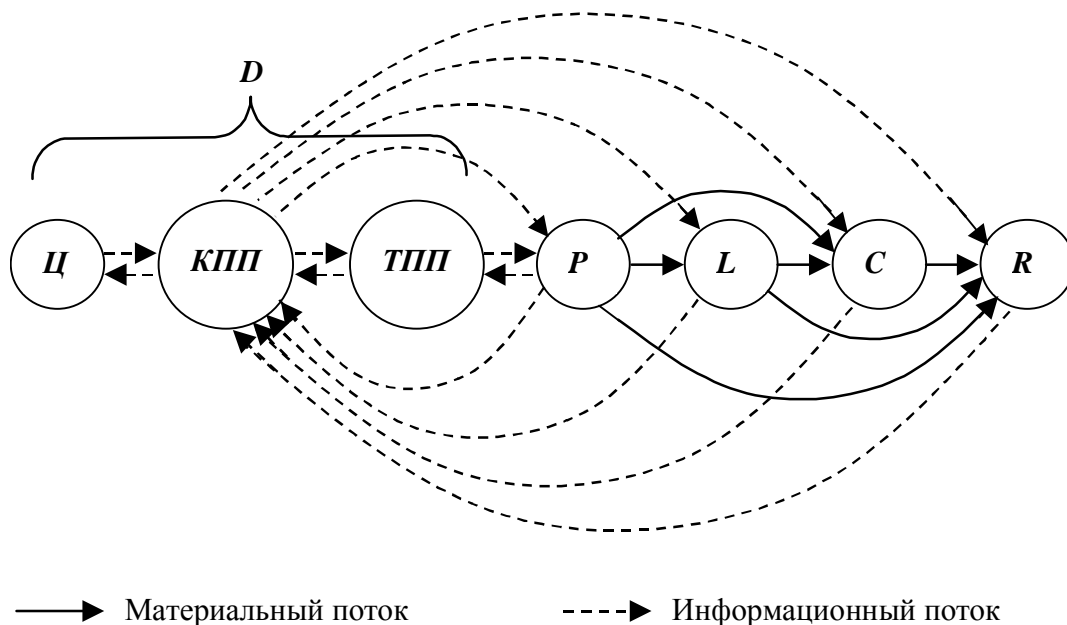
**Рис. 3.3. Схема материальных и информационных потоков в производительной системе**

Схемы, представленные на рис. 3.3 и 3.4, иллюстрируют важность эффективной системы обработки информации в любой производительной системе вне зависимости от охватываемой ею предметной области. Качественные и количественные показатели системы обработки информации в значительной степени определяются эффективностью информационной инфраструктуры предприятия. Проектирование подобной инфраструктуры и разработка автоматизированных средств управления ею являются важнейшими и первоочередными задачами по созданию интегрированной информационной системы предприятия.

При разработке информационной инфраструктуры мебельного предприятия, осуществляющего позаказное производство сложной корпусной мебели, может быть использовано обобщенное представление процесса

проектирования в виде многоуровневой, конвейерной и сетевой модели, в которой [101]:

- аспекты и уровни отражают этапы проектирования объекта, а также процесс последовательной детализации объекта в ходе проектирования;
- конвейер отражает механизмы передачи данных между этапами проектирования (не обязательно соседними), а также спектр передаваемых данных;
- сетевая структура отражает параметрические связи между отдельными характеристиками (атрибутами) проектируемого объекта.



*Ц* – система целеобразования; *КПП* – система конструкторской подготовки производства; *ТПП* – система технологической подготовки производства; *D, P, L, C, R* – обозначения соответствующих подсистем производственной системы (см. выше).

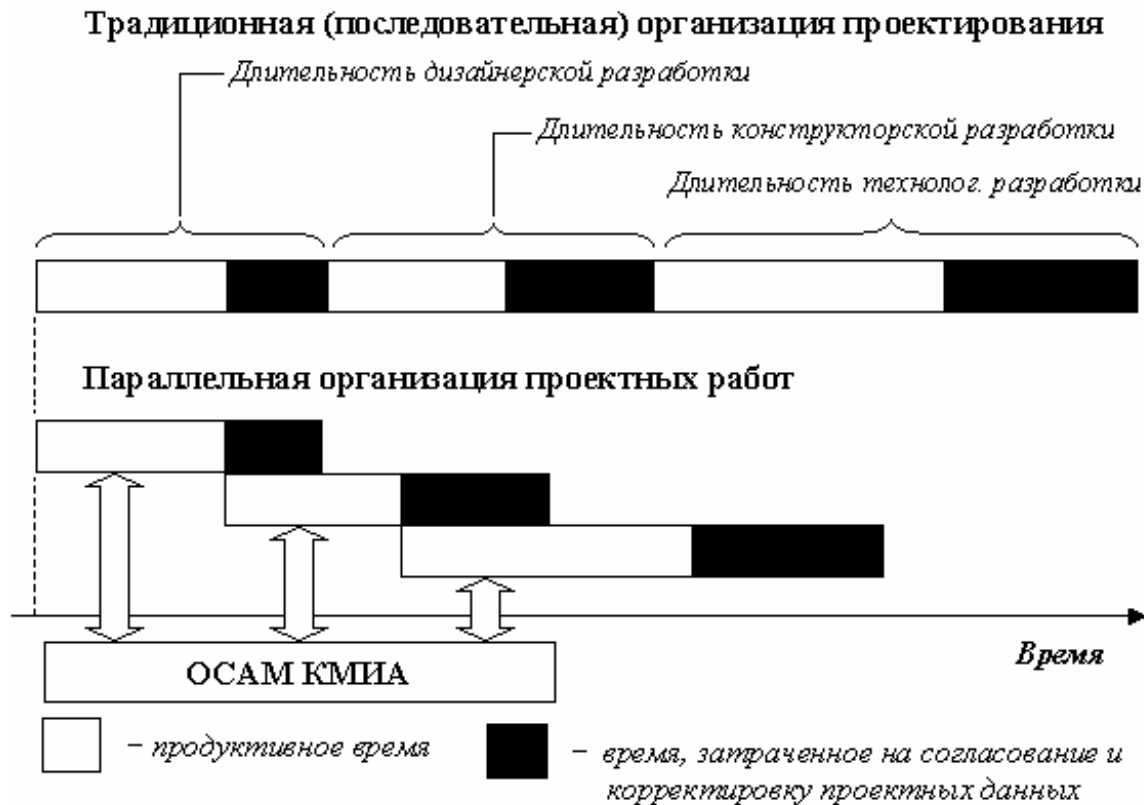
**Рис. 3.4. Структура информационных потоков в производительной системе**

Центральным звеном обобщенной модели является объектная структурно-атрибутивная модель КМИА, которая используется в качестве «информационного ядра» при реализации процессов параллельного, или совмещенного проектирования (*concurrent engineering*) на предприятии (рис. 3.5).

Параллельное проектирование, в отличие от традиционного, последовательного подхода, позволяет сократить как общее время, затрачиваемое



мое на разработку проекта, так и количество совершаемых при этом субъективных ошибок. Система обработки информации использует ОСАМ для обеспечения информационных обменов между подсистемами, начиная с самых ранних этапов процесса проектирования КМИА, позволяя, тем самым, оперативно вносить изменения в проект с учетом существующих или изменившихся технологических условий [60].



**Рис. 3.5. Сокращение времени на разработку проекта КМИА при организации параллельного проектирования**

Необходимо отметить, что в рамках предложенной концепции БОПП возможность «раннего» старта для каждого последующего этапа проектирования может быть распространена и на другие этапы ЖЦ мебельного изделия (в частности, при планировании материально-технического обеспечения производства, доставки, установки и гарантийного обслуживания мебели у заказчика).

### 3.2. Основные положения концепции безошибочного проектирования и производства корпусных мебельных изделий и ансамблей

Формирование информационной инфраструктуры предприятия должно выполняться с учетом основных положений концепции БОПП КМИА, среди которых необходимо выделить следующие [66, 102]:

**1. Единая концептуальная основа** интегрированной информационной среды, обеспечивающая условия для исключения необоснованного дублирования проектных процедур и операций. В качестве такой основы предлагается использовать:

- объектную структурно-атрибутивную модель КМИА [69, 103];
- концептуальную модель информационных обменов, реализованную в виде асинхронного последовательно-параллельного информационного конвейера с системным интерфейсом контейнерного типа [101, 104, 105].

**2. Сквозная информационная поддержка** распределенных процессов проектирования и производства КМИА, базирующаяся на предложенной информационной модели (ОСАМ) и информационной инфраструктуре и позволяющая устранить потери и дублирование информации при ее вводе и обработке. Данная возможность может быть обеспечена путем предоставления регламентированного доступа к разделам ОСАМ из любой проектной процедуры, входящей в состав информационного конвейера [55].

**3. Повышение уровня абстрагирования** при разработке индивидуального проекта КМИА и минимизация степени участия человека в качестве ЛПР – лица, принимающего решение, при выполнении проектных процедур и операций. Уровень абстрагирования может быть повышен за счет отказа от разработки низкоуровневой полноформатной геометрической модели изделия, перехода к комплексу информационных моделей более высокого уровня и использования соответствующего инструментария [106].

**4. Интерактивное формирование информационной модели**, включающей эскизное, структурно-атрибутивное и графо-аналитическое описание объекта проектирования, с последующей автоматической генерацией геометрической модели объекта, учитывающей заданные конструкторско-технологические требования и ограничения, и визуальной проверкой этой модели в среде специализированной САПР корпусной мебели [107]. Информационная модель (ОСАМ) формируется на этапе эскизного проектирования в процессе инжиниринга КМИА с использованием комплекса специализированных инструментов – автоинтерактивных таблично-графических редакторов, обеспечивающих возможности высокоуровневого

описания объекта проектирования [70]. Задачи рабочего проектирования, включающие подготовку чертежей, спецификаций и сметы, решаются в процессе реинжиниринга прототипной модели КМИА [59].

**5. Обоснованная избыточность семантической информации** с целью выполнения алгоритмического контроля формирования исполнительных данных (массива исполнительных координат) проекта на этапе генерации геометрической модели. Избыточная семантическая информация представляется, главным образом, графо-аналитическим описанием, использующим специально разработанную нотацию – множество операторов отношений между элементами структуры КМИА. Программная поддержка данного набора операторов обеспечивает автоматическое формирование и последующее использование для целей контроля объектного представления структуры КМИА на этапе реинжиниринга прототипной модели.

**6. Использование и развитие средств автоматизации** проектирования, повышающих качественный уровень разработки проектов сложных мебельных ансамблей и создающих необходимую базу для перехода к гибкому автоматизированному позаказному производству. Для реализации сквозной информационной поддержки проектов на основе ОСАМ КМИА требуется использование комплексной системы проектирования (CAD/CAM/CAE/PDM), включающей в свой состав высокоуровневые средства эскизного проектирования.

**7. Трехуровневая архитектура распределенной СУБД** реляционного типа, обеспечивающая расширенную функциональность и ориентированная на длительное использование и выполнение темпорального (с привязкой к временной оси) мониторинга баз данных.

**8. Формирование архивной системы** и поддержание ее в актуальном состоянии, широкое использование библиотек прототипных моделей корпусных мебельных изделий. Архивная подсистема – одна из важнейших составляющих информационной инфраструктуры мебельного предприятия, выполняющая функции глобального хранилища проектов (проектных решений) в составе асинхронного последовательно-параллельного конвейера проектирования.

**9. Унифицированная инфологическая модель** структуры предприятия, отражающая особенности предметной области, а также разнообразие аспектов отношений между сущностями предметной области.

Реализация представленных выше положений концепции БОПП позволяет учесть ряд ограничений, определяющих особенности позаказного проектирования и производства сложных КМИА, а именно:

- ансамбль включает в себя мебельные изделия различной функциональности, объединенные единым стилевым (дизайнерским) решением (замыслом);
- стилевое оформление ансамбля достигается не только за счет элементов отделки, но и путем реализации архитектурных (дизайнерских), конструкторских и технологических решений;
- изделия, входящие в состав мебельного ансамбля, обладают значительной конструкторско-технологической сложностью;
- индивидуальный подход реализуется при формировании структуры, стиля и качества мебельного ансамбля и в максимальной степени учитывает пожелания и требования заказчика;
- формирование спецификаций мебельных изделий и ансамбля в целом выполняется в режиме реального времени;
- жесткие временные ограничения действуют на всем протяжении процесса реализации проекта, т.е. при выполнении интегрированных проектных процедур законченного цикла менеджмента-проектирования-производства;
- каждый проект реализуется в условиях повышенной финансовой ответственности за соблюдение срока и качества поставки мебельного ансамбля;
- «прозрачная» схема калькуляции стоимости каждого изделия и мебельного ансамбля в целом, понятная заказчику;
- необходимость обеспечения гарантийного обслуживания и послегарантийного сопровождения продукции у заказчика.

Следует отметить, что вариантное моделирование, выполняемое в рамках объектно-ориентированного подхода (ООП) к разработке сложных структурно-функциональных объектов, позволяет избежать полного повторного проектирования объектов при изменении внешних условий [108, 109].

Важнейшими элементами (свойствами) ООП, нашедшими отражение в вариантном моделировании, являются:

- инкапсуляция, предполагающая сокрытие (маскирование) внутренних данных (свойств) объекта от непосредственного доступа извне и реализацию для этой цели специальных методов, являющихся неотъемлемой частью объекта (класса объектов);
- наследование, позволяющее создавать новый объект, выступающий в качестве потомка и сохраняющий свойства родительского объекта с возможностью их переопределения и добавления новых.

Унифицированные операции вариантного моделирования КМИА можно классифицировать как:

- адаптация прототипной модели отдельного мебельного изделия к общей структуре КМИА с учетом конструкторских и технологических особенностей производства корпусной мебели, представленных в системе КТТО;
- трансформация, выполняемая с помощью набора манипуляций, для изменения габаритных размеров прототипного изделия;
- сопряжение мебельных элементов прототипной модели с учетом заданных КТТО;
- параметрическая вариативность (изменяемость), позволяющая изменить основные характеристики прототипной модели изделия с помощью инкапсулированных методов объекта.

Использование адаптивных конструкторских операций обусловлено необходимостью изменения вида сопряжения при размещении выбранной из библиотеки прототипной модели изделия в геометрической модели создаваемого мебельного ансамбля. Рассмотрим простой пример, позволяющий пояснить данный нюанс вариантного моделирования КМИА.

Предположим, в составе библиотеки корпусной мебели имеются прототипные модели четырех различных корпусных мебельных изделий, из которых требуется сформировать композиционно целое и функционально завершенное изделие – шкаф-колонку для кухни.

Первое изделие, помещаемое в основание шкафа-колонки, представляет собой напольную тумбу с выдвижным ящиком, оснащенным решетчатой емкостью; второе, водружаемое на основание, – шкаф навесной с одной дверцей; третье, устанавливаемое на второе, – открытые полки (2 шт.); четвертое, завершающее композицию, – антресоль с дверцей.

Выбор габаритных размеров перечисленных изделий, входящих в состав шкафа-колонки, достигается выполнением операции трансформации; она позволяет привести в соответствие размеры изделий, т.е. их высоту, ширину и глубину, до значений, согласованных с заказчиком.

Операция адаптации обеспечивает изменение конструктивных элементов изделий при компоновке их в составе шкафа-колонки. В частности, в соответствии с конструкторскими требованиями, предъявляемыми к изделиям, подобным проектируемому шкафу, потребуется замена четырех правых и четырех левых боковых стенок изделий на две боковые стенки, целиком выкроенных из листов ДСтП и обеспечивающих необходимый запас прочности и устойчивости для изделия. Аналогично, потребуется выполнить адаптацию четырех задних стенок изделий применительно к про-

ектируемой конструкции шкафа, заменив их одной, состоящей из цельного листа ДВП, или двумя фрагментами листов ДВП.

Рассмотренный пример отражает общую идею конструктивного подхода к задаче реструктуризации проектируемого мебельного изделия, предполагающую использование набора элементарных схем, определяющих структурные видоизменения прототипной модели. Схемы приводятся в действие при выполнении определенных операций с прототипной моделью изделия и контролируются системой КТТО. Таким образом, можно говорить об «интеллектуальных» атрибутах адаптации  $A_i^A$ , представленных в данных схемах и определенных на множестве функций адаптации  $F^A$ , составляющих базовый функционал интерфейса взаимодействия с внешней моделью КМИА.

Операция трансформации обеспечивает изменение геометрических характеристик прототипной модели, главным образом – габаритных размеров. С точки зрения возможностей подобной «геометрической» параметризации каждый элемент модели мебельного изделия можно классифицировать как «жесткий», не допускающий изменение ее габаритных размеров; «мягкий», разрешающий изменения размеров без ограничений; «эластичный», сочетающий в себе свойства жесткости и мягкости. Мебельный прототип, как правило, обладает свойством эластичности, включая в себя элементы, обладающие перечисленными свойствами.

Рассмотрим основной конструктивный элемент корпусной мебели – бокс, для которого заданы габаритные размеры  $h$  (высота),  $w$  (ширина) и  $d$  (глубина) в соотношениях, определенных следующим образом:

$$h : w : d = h_t : w_t : d_t,$$

где  $h_t$ ,  $w_t$ ,  $d_t$  – величины, соответствующие габаритным размерам, соотношения которых заданы в таблице КТТО наряду с их предельными значениями. Дополнительно в данной таблице может содержаться величина  $\pm e$ , определяющая допуски при производстве корпусной мебели.

При изменении габаритных размеров бокса новые габариты вычисляются, исходя из следующей пропорции:

$$h : w : d = (h - \Delta_h) : (w - \Delta_w) : (d - \Delta_d).$$

Например, при уменьшении ширины на величину  $D_w$ , с учетом указанных выше производственных допусков  $\pm e$ , рассчитывается интервал изменения высоты  $D_h$  бокса [76]:

$$h \cdot \left( 1 - \frac{(w - \Delta_w) \cdot (1 - e)}{w} \right) \geq \Delta_h \geq h \cdot \left( 1 - \frac{(w - \Delta_w) \cdot (1 + e)}{w} \right).$$

Полученные ограничения определяют возможности изменения габаритных размеров прототипной модели каждого мебельного изделия и являются элементом ее информационного (алгоритмического) описания. Их включение в состав модели позволяет контролировать появление ошибок при выполнении реинжиниринга прототипной модели изделия, наделяя, таким образом, операцию трансформации определенным уровнем «интеллектуальности».

Операция сопряжения элементов прототипной модели КМИА обеспечивает конкретизацию типа узлов сопряжения для деталей изделия, включая сопряжение стенок корпуса и стенок корпуса с дверцами, а также прототипных моделей различных изделий, входящих в состав мебельного ансамбля, друг с другом. Этому способствует автоматизированная процедура инжиниринга КМИА, выполняемая с помощью подсистемы эскизного проектирования и предусматривающая возможные варианты сопряжения панелей изделия [67, 110]. Включение информации об обобщенных узлах сопряжения элементов изделия в состав системы КТТО обеспечивает возможность автоматизированного контроля их корректного использования при выполнении реинжиниринга прототипной модели изделия.

Операция параметрической вариативности обеспечивает возможность изменения негеометрических свойств прототипной модели КМИА, например, замену одного типа облицовки деталей изделия на другой. Каждый тип облицовки имеет свой цвет, текстуру и фактуру, а также такую физическую характеристику, как толщина, которую в ряде случаев требуется учитывать при выполнении реинжиниринга прототипной модели изделия.

### **3.3. Моделирование информационной инфраструктуры САПР**

В составе САПР следует выделить информационную инфраструктуру, под которой понимается организационная структура, обеспечивающую информационное взаимодействие всех участников процесса проектирования. Поскольку любая САПР, по определению, является организационно-технической системой, в ней априори предполагается наличие некоторой информационной инфраструктуры.

Информационная инфраструктура может иметь различный уровень сложности, определяемый рядом факторов, важнейшими среди которых являются: сложность объектов и задач проектирования, реализуемая методология разработки проекта, структура и состояние среды проектирования. Необходимо отметить, что для современных процессов проектирования характерны [101, 103]:

- высокая информационная сложность объектов проектирования, что приводит к необходимости декомпозиции проекта на составные части, разработке каждой части проекта по отдельности с последующим объединением («сшиванием») частных проектных решений в единый (совокупный) проект;
- высокая функциональная сложность решаемых задач, что обуславливает необходимость декомпозиции процесса проектирования на этапы и выполнения каждого этапа с помощью соответствующей функциональной (проектирующей) подсистемы;
- распределенный характер обработки, который реализуется функциональными (проектирующими) подсистемами, расположенными в различных узлах распределенной среды проектирования;
- динамически изменяющаяся структура и состояние распределенной среды проектирования, которая часто создается путем комплексирования существующих и вновь разработанных функциональных (проектирующих) подсистем.

Теоретически обоснованная декомпозиция проекта на составные части предусматривает использование блочно-иерархического подхода (БИП) к проектированию [111]. Данный подход основывается на структурировании описаний объекта проектирования с разделением описаний на ряд иерархических, или горизонтальных уровней, каждому из которых присущ свой уровень детальности отображения свойств объекта, математические модели, языки и алгоритмы проектирования, а также форма представления проектной документации.

При разработке сложных объектов проектирования обычно выделяются следующие укрупненные иерархические уровни:

- **системный уровень**, на котором решаются наиболее общие задачи проектирования, а результаты представляются в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования, диаграмм потоков данных и т.п.;
- **макроуровень**, на котором выполняется проектирование отдельных устройств и узлов, а результаты представляются в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т.п.;
- **микроуровень**, на котором выполняется проектирование отдельных деталей и элементов разрабатываемого объекта с представлением результатов проектирования в заданной форме.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают нисходящее, восходящее и смешанное проектирование.



Последовательность решения задач от нижних уровней к верхним характеризует восходящее проектирование, обратная последовательность приводит к нисходящему проектированию, в смешанном стиле имеются элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочтительным оказывается нисходящее проектирование. Однако при наличии заранее разработанных блоков и узлов, используемых при проектировании сложного объекта, можно выполнять смешанное проектирование.

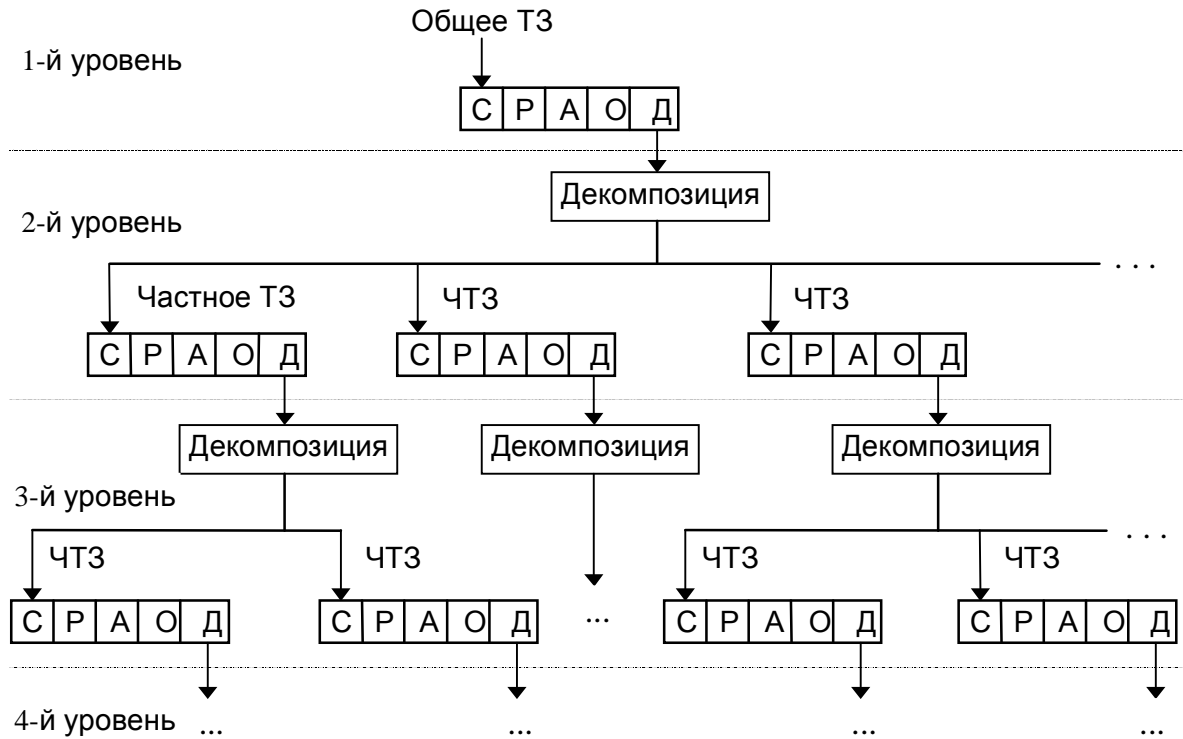
Процесс проектирования может создавать зависимые процессы (под-процессы) проектирования, формируя частные технические задания (ЧТЗ) для компонентов проектируемого объекта. На рис. 3.6 показана типовая схема проектирования, представленная несколькими иерархическими уровнями. На каждом иерархическом уровне решается задача проектирования, включающая ряд подзадач (например, *С* – синтез, *Р* – расчет, *А* – анализ, *О* – оптимизация, *Д* – документирование). Совокупность этих уровней во взаимодействии образует процесс проектирования [112]. Синхронизация подпроцессов проектирования и выделение необходимых им ресурсов являются функциями исходного (родительского) процесса проектирования.

Функциональная декомпозиция процесса проектирования предполагает выделение вертикальных уровней, или аспектов, различающихся по характеру отображаемых свойств объекта проектирования. В рамках каждого аспекта возможно построение собственной иерархии – «дерева» проекта. В общем случае в пределах различных аспектов структура проекта может различаться (например, из-за учета количественных ограничений в проектных процедурах, ответственных за проработку объекта проектирования в том или ином аспекте). Таким образом, в стадии разработки проект представляет собой совокупность иерархических описаний объекта в различных аспектах проектирования.

В качестве адекватного математического представления для информационной модели проекта может быть выбран конечный гиперграф  $H(X, E; R)$ , где  $X$  – множество  $n$  вершин  $x_i$ , ассоциированных с разрабатываемыми частями проекта в различных аспектах;  $E$  – множество  $m$  ребер  $e_j$ , представляющих отношения между вершинами, т.е. между частями проекта;  $R = f(x, e)$  – логическая функция (инцидентор), определенная для  $\forall x_i \in X, \forall e_j \in E$  и принимающая значение «истина» (1), если  $x_i$  и  $e_j$  инцидентны, или «ложь» (0) – в противном случае.

Схематично гиперграф информационной модели проекта можно представить в виде совокупности «слоев» – информационных проекций

или аспектов проектируемого объекта, «пронизанных» вектором обработки, который задает общее направление обработки проекта и может быть представлен пронумерованным перечнем аспектов проектирования (рис. 3.7).



**Рис. 3.6. Типовая иерархическая схема проектирования**

Современная методология параллельного (совмещенного) проектирования предполагает наличие распределенной среды разработки проектов, представленной, как правило, совокупностью АРМ, объединенных в компьютерную сеть и осуществляющих доступ к общей базе проектов. Наличие общей информационной базы предъявляет повышенные требования к обеспечению защиты от несанкционированного доступа к проектным данным, а также к соблюдению определенного регламента информационных обменов между проектирующими подсистемами САПР.

В комплексной САПР обработка каждого проекта организуется по принципу информационного конвейера, обрабатываемыми элементами которого являются прикладные программы, образующие технологический маршрут проектирования и реализующие проектные процедуры, а обрабатываемыми объектами – фрагменты, полученные в результате декомпозиции проекта. Таким образом, с технологической точки зрения общая схема процесса проектирования представляется набором связанных проектных

процедур. Математически ее можно описать ориентированным графом  $G(V, D)$ , вершины  $V$  которого ассоциированы с проектными процедурами технологического маршрута проектирования, а дуги (направленные ребра)  $D$  – с информационными связями между этими процедурами.

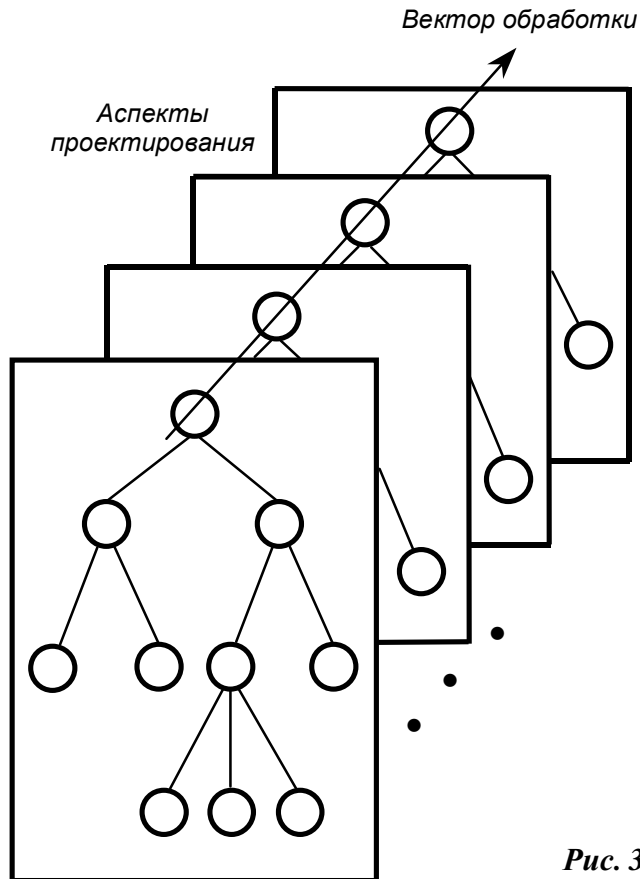
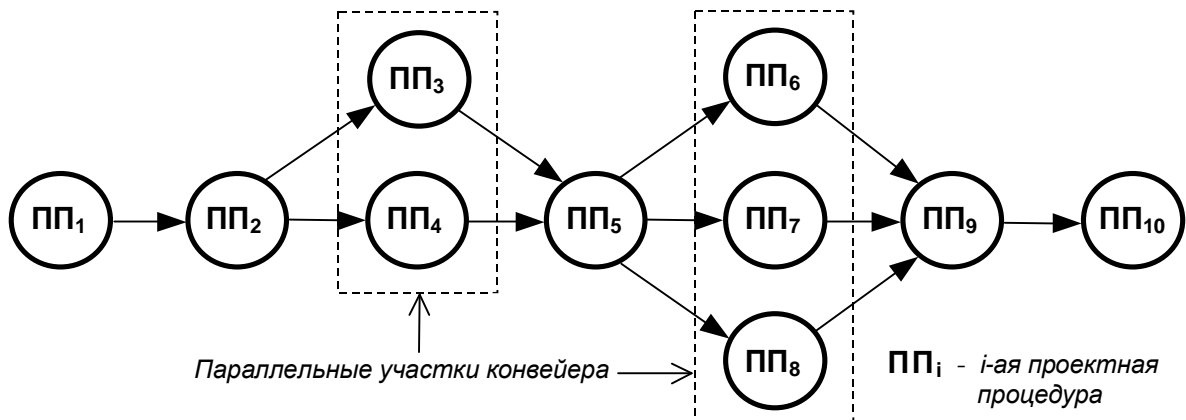


Рис. 3.7. Гиперграф модели проекта

В технологическом маршруте проектирования могут содержаться как информационно зависимые проектные процедуры, допускающие только последовательное выполнение, так и информационно независимые, допускающие при наличии необходимых ресурсов параллельное выполнение. Следовательно, с концептуальной точки зрения процесс проектирования в комплексной САПР может быть представлен асинхронным последовательно-параллельным конвейером с системным интерфейсом контейнерного типа [101, 103]. Пример гипотетического конвейера проектирования, содержащего два параллельных участка обработки проектных данных, показан на рис. 3.8.



**Рис. 3.8. Гипотетический последовательно-параллельный асинхронный конвейер проектирования**

Асинхронный режим функционирования конвейера проектирования обусловлен стохастическим характером временных затрат, требуемых каждой проектной процедуре на выработку проектного решения, и обеспечивается за счет использования хранилища информационных контейнеров. Наличие хранилища контейнеров с проектными решениями позволяет объединить в одном технологическом маршруте проектные процедуры различной производительности и обеспечить тем самым максимальную загрузку конвейера.

В современных комплексных САПР обеспечивается мультипроектный режим работы, для которого можно выделить следующие три уровня параллельности [101]:

- одновременное выполнение ряда проектных процедур для обработки одного и того же проекта;
- параллельная обработка различных частей одного проекта;
- одновременное выполнение нескольких различных проектов.

Для моделирования первых двух из указанных уровней параллельной обработки проектов в рамках асинхронного конвейера проектирования необходимо выполнить процедуру суперпозиции  $S(H, G)$ , где  $H$  – гиперграф проекта,  $G$  – орграф технологического маршрута проектирования, определенные для проекта. Фактически суперпозиция (наложение) заключается в привязке частей проекта к соответствующим проектным процедурам, в результате чего формируется обобщенная информационная модель  $P$  процесса проектирования, математическим представлением которой является ациклический орграф сложной структуры.

Для идентификации каждой из проектных процедур, входящих в состав модели  $P$ , определены следующие атрибуты (внешние реквизиты, не зависящие от существа выполняемых процедурой действий):

- идентификатор проектной процедуры;
- идентификатор проектируемого узла;
- идентификатор типа проектного решения;
- идентификатор ответственного исполнителя;
- идентификатор проектирующего подразделения;
- временные параметры функционирования (планируемые и фактические сроки выполнения);
- код рабочего состояния (определены следующие состояния проектной процедуры: пассивное, ожидания, выполнение, приостановленное, локально завершенное, глобально завершенное);
- входные ссылки (идентификаторы проектных процедур, которые формируют проектные решения, поступающие на вход данной процедуры).

С помощью несложного языка декларативного типа можно описать модель информационной инфраструктуры комплексной САПР, обеспечивающую «поименную» привязку разрабатываемых частей проекта и проектирующих подразделений к проектным процедурам технологического маршрута и, соответственно, к «рабочим местам» конвейера проектирования. Специально разработанный транслятор формирует на основе исходного описания модели рабочую (целевую) модель, используемую в дальнейшем для реализации регламентированных информационных обменов между проектными процедурами, т.е. для решения основной задачи информационной инфраструктуры САПР [104].

Процесс проектирования сложных технических объектов, как правило, имеет итеративный характер, т.е. реализующие его проектные процедуры могут выполняться многократно до тех пор, пока не будут достигнуты результаты, удовлетворяющие требованиям технического задания. Наличие входных ссылок в описаниях проектных процедур позволяет определить обратные связи, требующиеся при выполнении «откатов» в технологическом маршруте проектирования. Откат – это возврат к ранее выполненным проектным процедурам в технологическом маршруте при обнаружении ошибок в сформированных ими проектных решениях. Выполнение каждого отката инициируется руководителем проекта после того, как установлен факт появления ошибки и определена проектная процедура, сформировавшая некорректное проектное решение.

Сформированная транслятором рабочая модель является динамической, отражающей текущее состояние процесса проектирования. Она используется при решении задач управления информационной инфраструктурой, включая передачу, прием, удаление и замену контейнеров с проектными решениями, выполнение откатов в технологическом маршруте проектирования и других.

Необходимость выполнения откатов предопределяет наличие в орграфе  $G(V, D)$  трех подмножеств дуг  $D = D_1 \cup D_2 \cup D_3$ :

$D_1$  – прямые связи между смежными вершинами (см. выше рис. 3.8);

$D_2$  – «ближние» обратные связи между смежными вершинами;

$D_3$  – «дальние» обратные связи между вершинами, которые не являются смежными, т.е. между ними отсутствуют прямые связи, но существует опосредствованная информационная связь.

Перегруженность орграфа  $G(V, D)$  дугами приводит к увеличению накладных расходов при его формировании, хранении и обработке. Например, проектная процедура  $ПП_9$  (рис. 3.8) при трех прямых связях ( $ПП_6-ПП_9$ ,  $ПП_7-ПП_9$ ,  $ПП_8-ПП_9$ ) имеет соответственно три ближних ( $ПП_9-ПП_6$ ,  $ПП_9-ПП_7$ ,  $ПП_9-ПП_8$ ) и пять дальних ( $ПП_9-ПП_5$ ,  $ПП_9-ПП_3$ ,  $ПП_9-ПП_4$ ,  $ПП_9-ПП_2$ ,  $ПП_9-ПП_1$ ) обратных связей.

Анализ информационных связей между проектными процедурами в технологическом маршруте (с точки зрения автоматизации процедуры управления «глубокий откат») показывает, что дуги, соответствующие дальним обратным связям, можно исключить из рассмотрения без ущерба для общности решения задачи. Учет ближних обратных связей обеспечивает возможность обхода орграфа в двух направлениях. Если при решении задачи глубокого отката выбрать только одно направление, соответствующее прямым информационным связям в технологическом маршруте проектирования, то из рассмотрения можно исключить и ближние обратные связи проектных процедур.

С концептуальной точки зрения, информационная инфраструктура комплексной САПР образует логическую звездообразную структуру, в центре которой размещается центральная мониторинговая система (ЦМС), а каждый из лучей представлен локальной системой соответствующего типа. Выделяют системы следующих типов:

- локальная мониторинговая система (ЛМС);
- центральная информационная система (ЦИС);
- центральный архив проектных решений (ЦАПР) САПР.

Количество ЛМС в звездообразной структуре соответствует количеству «рабочих мест» в конвейере проектирования, поскольку каждое рабочее место оснащается собственной ЛМС. ЛМС является инвариантной обслуживающей подсистемой САПР, т.е. она не зависит ни от предметной области, ни от состава используемых инструментальных средств проектирования. Кроме того, ЛМС является конфигурируемой подсистемой, позволяющей легко выполнить настройку на решение задач, реализуемых на каждом рабочем месте конвейера проектирования, без перепрограммирования, трансляции и повторной компоновки используемых программных инструментальных средств.

Для реализации информационного взаимодействия в рамках рассматриваемой инфраструктуры разработан комплекс высокоуровневых синхронных протоколов обмена. Необходимо отметить, что обмен информационными контейнерами между проектирующими подсистемами осуществляется опосредствованно – по запросу соответствующей ЛМС к ЦМС; последняя, в свою очередь, реализует запрос к ЦИС, которая является централизованным хранилищем контейнеров с проектными решениями, выполненными проектными процедурами. Аналогичный протокол используется для организации взаимодействия информационной и архивной систем. В частности, проектные решения завершенных проектов по соответствующим запросам могут быть переданы из ЦИС в ЦАПР или, наоборот, извлечены из него и помещены в ЦИС для последующей передачи в затребовавшую их проектную процедуру.

### **3.4. Автоматизация управления информационной инфраструктурой комплексной САПР**

Программный инструментарий, поддерживающий иерархическую структуру проекта, сетевое планирование и оценку получаемых результатов с использованием динамической модели процесса проектирования, представлен в мониторинг и информационной системах САПР [96]. Данные системы инвариантны по отношению к другим (проектирующим) подсистемам и обеспечивают своего рода «платформу» для построения комплексных САПР различного назначения.

Разработка информационной модели процесса проектирования осуществляется в три этапа. На первом этапе осуществляется выбор одного из множества технологических маршрутов проектирования, обеспечиваемых комплексной САПР, т.е. задается (и прорабатывается) так называемый вектор обработки. При этом определяются идентификаторы проектирующих

подсистем, реализующих необходимые проектные процедуры. Перечень идентификаторов устанавливается и утверждается руководителем САПР по согласованию с администратором информационной системы. В дальнейшем это множество идентификаторов, включенное в базу данных информационной системы, используется при разработке и сопровождении информационных моделей проектов с целью указания подсистем, имеющих право доступа к проектным решениям, выработанным для каждого функционального узла каждого разрабатываемого проекта.

На втором этапе создается иерархическая схема проекта, адекватно отражающая структуру объекта проектирования. На этом этапе выполняется иерархическая декомпозиция объекта на фрагменты, в отношении которых также может быть выполнена декомпозиция, и так далее – до тех пор, пока сложность каждого фрагмента не станет приемлемой для выполнения его проектирования с помощью имеющихся инструментальных средств. В дальнейшем фрагменты объекта проектирования получают относительную свободу при прохождении по маршруту проектирования, т.е. их проектирование в определенном смысле выполняется самостоятельно.

Иерархическая схема проекта используется при разработке исходного описания информационной модели проекта и создается в среде информационной системы комплексной САПР. Для подготовки исходного описания разработан специальный язык описания проекта (ЯОП). Этот язык позволяет задавать следующие элементы информационной модели проекта:

- уникальный идентификатор, однозначно определяющий данный проект среди множества разрабатываемых в САПР проектов;
- перечень уникальных (в рамках данного проекта) идентификаторов проектируемых функциональных узлов объекта проектирования;
- иерархическую подчиненность (структуру) функциональных узлов объекта проектирования;
- перечень идентификаторов типов проектных решений, вырабатываемых для каждого функционального узла объекта проектирования и выбираемых из множества (домена) типов проектных решений, определенного в базе данных информационной системы;
- перечень идентификаторов проектирующих подсистем, реализующих проектные процедуры, которые имеют право доступа к проектному решению указанного типа для каждого проектируемого узла;
- перечень идентификаторов проектирующих подсистем, реализующих проектные процедуры, ответственным исполнителям которых



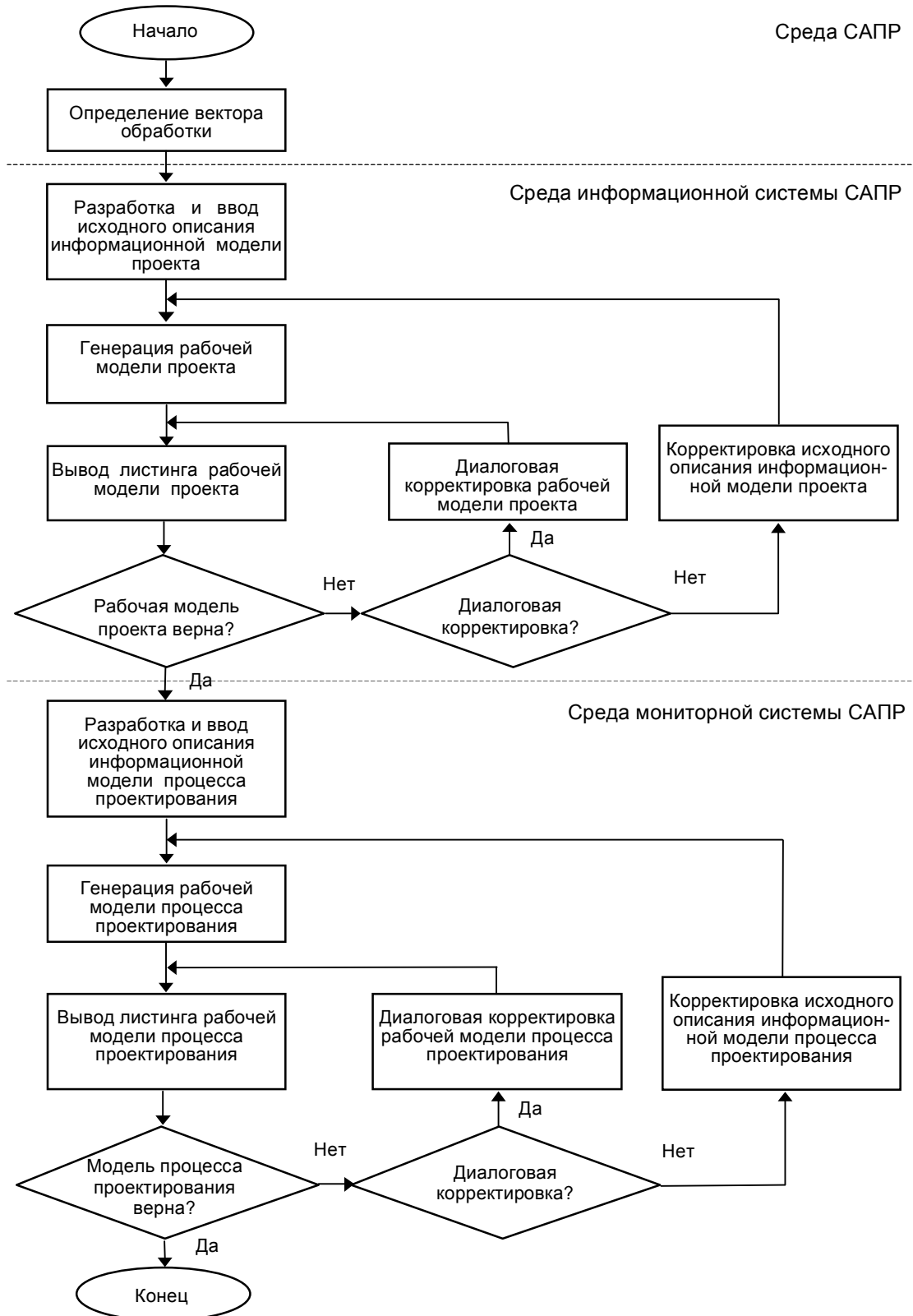
необходимо послать оповещение в случае изменения проектного решения для проектируемого узла.

Трансляция исходного описания информационной модели проекта выполняется с помощью генератора модели проекта (ГМП). Для визуальной проверки сгенерированной рабочей модели проекта используется листинг рабочей модели, формируемый одной из сервисных программ. При необходимости рабочую модель проекта можно модифицировать либо путем корректировки исходного описания модели и повторной его трансляции, либо с помощью программ интерактивной (оперативной) корректировки. Рабочая модель проекта используется информационной системой для решения задач управления фондом проектных решений и, в частности, для предотвращения несанкционированного доступа к контейнерам с проектными решениями со стороны проектирующих подсистем.

На третьем этапе создается информационная модель процесса проектирования путем выполнения «привязки» фрагментов объекта проектирования к проектным процедурам конвейера обработки, представляющего технологический маршрут проектирования. На этом этапе решается вопрос о возможности параллельного выполнения некоторых проектных процедур маршрута, а также осуществляется календарное планирование работ, выполняемых проектными процедурами маршрута. Информация о векторе обработки, т.е. о технологическом маршруте проектирования, и результаты иерархической декомпозиции проекта, полученные на предыдущих этапах, используются при разработке исходного описания информационной модели процесса проектирования на специальном декларативном языке (ЯОМ).

Для обработки исходного описания и формирования рабочей модели процесса проектирования используется специальный транслятор, называемый генератором рабочей модели (ГРМ). Генерация рабочей модели процесса проектирования выполняется по трехпроходной схеме. Хотя многопроходная схема трансляции требует несколько больших временных затрат на генерацию рабочей модели, чем однопроходная, она позволяет существенно снизить сложность процедур, реализующих каждый проход генератора.

Укрупненная структурная схема формирования информационной модели процесса проектирования, использующейся при решении задач автоматизации управления информационной инфраструктурой САПР, представлена на рис. 3.9.



**Рис. 3.9. Структурная схема формирования информационной модели процесса проектирования**

Для эффективного управления проектом и процессом проектирования в среде комплексной САПР необходимо решение ряда задач, основные из которых следующие:

- мониторинг текущего состояния проекта, реализуемого в режиме мультипроектирования;
- координация действий различных групп (подразделений) проектировщиков, занятых в работе над проектом;
- обеспечение и контроль логической целостности проекта, реализуемого в распределенной вычислительной среде;
- перепланирование и временная увязка различных проектных работ;
- реализация глубокого отката в технологическом маршруте проектирования.

Способы и средства решения перечисленных задач основываются на использовании информационной модели процесса проектирования.

Среди задач управления информационной инфраструктурой комплексной САПР, подлежащих первоочередной автоматизации, следует выделить реализацию процедуры «отката» в технологическом маршруте проектирования. Процесс проектирования сложных технических объектов имеет выраженный итерационный характер. Каждой итерации предшествует «откат» к ранее выполненной проектной процедуре в технологическом маршруте.

Откаты могут иметь различную «глубину», которая определяется как объективными (например, сложность проектируемого изделия, наличие или отсутствие подходящих инструментальных средств проектирования и др.), так и субъективными факторами (например, опыт проектировщиков, квалифицированное руководство проектом и др.) процесса проектирования.

При проектировании сложных объектов нередко возникает необходимость выполнения «глубоких» откатов, когда допущенная на ранних этапах ошибка обнаруживается лишь на одном из заключительных этапов и требует возврата в какую-либо из ранее выполненных проектных процедур или даже в начало технологического маршрута.

Задача реализации отката в технологическом маршруте проектирования сводится к одной из задач глобального анализа графов, а именно к обходу вершин орграфа.

Наиболее распространенными методами, использующимися при решении задач глобального анализа графов, являются поиски в глубину и в ширину [113]. Метод поиска в глубину получил широкое распространение благодаря большей универсальности. Поиск в глубину – это регулярный обход вершин графа по следующим правилам:

- находясь в вершине  $x$ , нужно двигаться в любую другую, ранее не пройденную вершину  $y$  (если таковая найдется), одновременно запоминая дугу, по которой впервые попали в нее;
- если из вершины  $x$  не удастся попасть в ранее не пройденную вершину, или таковой вообще нет, то необходимо вернуться в вершину  $z$ , из которой впервые попали в  $x$ , и продолжить поиск в глубину из вершины  $z$ .

Таким образом, при выполнении обхода вершин графа по этим правилам стремятся проникнуть в глубь графа так далеко, как это возможно, затем выполняют отход на шаг назад и снова стремятся пройти вперед и т.д.

Методу поиска в глубину можно в известном смысле противопоставить метод поиска в ширину, который предполагает последовательный просмотр всех вершин графа на уровне  $k$ , затем всех вершин на уровне  $k+1$  и т.д.

Итеративный алгоритм обхода орграфа, использующий вспомогательный список корневых вершин (под)деревьев, является своеобразным «симбиозом» алгоритмов, реализующих методы поиска в глубину и ширину [114, 115]. В отличие от известного рекурсивного алгоритма поиска в глубину, предложенного Р. Тарьяном [116], данный алгоритм обладает двумя следующими преимуществами:

- не требует наличия (или запоминания) обратных дуг для вершин орграфа, т.е. экономит оперативную память и/или дисковое пространство;
- сокращает время обработки вершин орграфа за счет отказа от возврата в корневые вершины поиска по обратным дугам.

Итеративный алгоритм выполняет регулярный обход вершин орграфа по следующим правилам:

Попав в некоторую вершину  $x$ , нужно проанализировать ее тип (по количеству исходящих дуг). Если вершина корневая, то занести ее в список корневых вершин (при условии, что она не была ранее занесена в этот список) и прекратить продвижение вглубь орграфа. Если вершина обычная, то продвигаться в другую, ранее не пройденную вершину  $y$ .

Если из вершины  $x$  не удастся попасть в ранее не пройденную вершину, или таковой вообще нет, то необходимо выбрать очередную корневую вершину  $z$  из списка и продолжить поиск в глубину из этой вершины.

Если список корневых вершин оказывается исчерпанным, т.е. все обнаруженные корневые вершины орграфа обработаны, то алгоритм прекращает свою работу.

Структурная схема итеративного алгоритма для обхода вершин произвольного орграфа представлена на рис. 3.10. Данный алгоритм обеспечивает обход и нумерацию всех вершин орграфа. В качестве побочного результата от выполнения алгоритма можно рассматривать нумерацию исходящих дуг для каждой корневой вершины орграфа. Небольшая модификация алгоритма позволяет выполнить сквозную нумерацию дуг в орграфе.

Следует также отметить, что хотя данный алгоритм разрабатывался в расчете на обработку ациклических орграфов, исходя из условий конкретной предметной задачи, после небольшой модификации он корректно работает и в случае произвольных орграфов, содержащих контурные пути.

Действительно, одним из условий прекращения продвижения в глубину орграфа является обнаружение пронумерованной вершины, что исключает возможность многократной нумерации вершин. Всякий раз, когда обнаруживается пронумерованная вершина, осуществляется возврат в текущую вершину поиска для продолжения обхода орграфа. Если это корневая вершина, то для нее выбирается следующая исходящая дуга и обход продолжается по этой дуге. Если это вершина, которая имеет только одну исходящую дугу, то в описании алгоритма после того, как выполнится переход к следующей вершине, необходимо включить проверку, что вершина пронумерована. Данная проверка позволяет исключить «зацикливание» алгоритма в случае обнаружения пронумерованной вершины.

Анализ эффективности выполнения рекурсивного и итеративного алгоритмов для двух граничных вариантов структуры ациклических орграфов (линейного орграфа и двоичного дерева) позволил получить следующие соотношения:

$$K_1 = \frac{2N - 1}{N} \quad \text{— для линейного орграфа;}$$

$$K_2 = \frac{N + 2M}{N + 2M - 1} \quad \text{— для двоичного дерева,}$$

где  $N$  — общее количество вершин орграфа;

$M$  — количество корневых вершин;

$K$  — коэффициент, показывающий отношение эффективностей рекурсивного и итеративного алгоритмов.

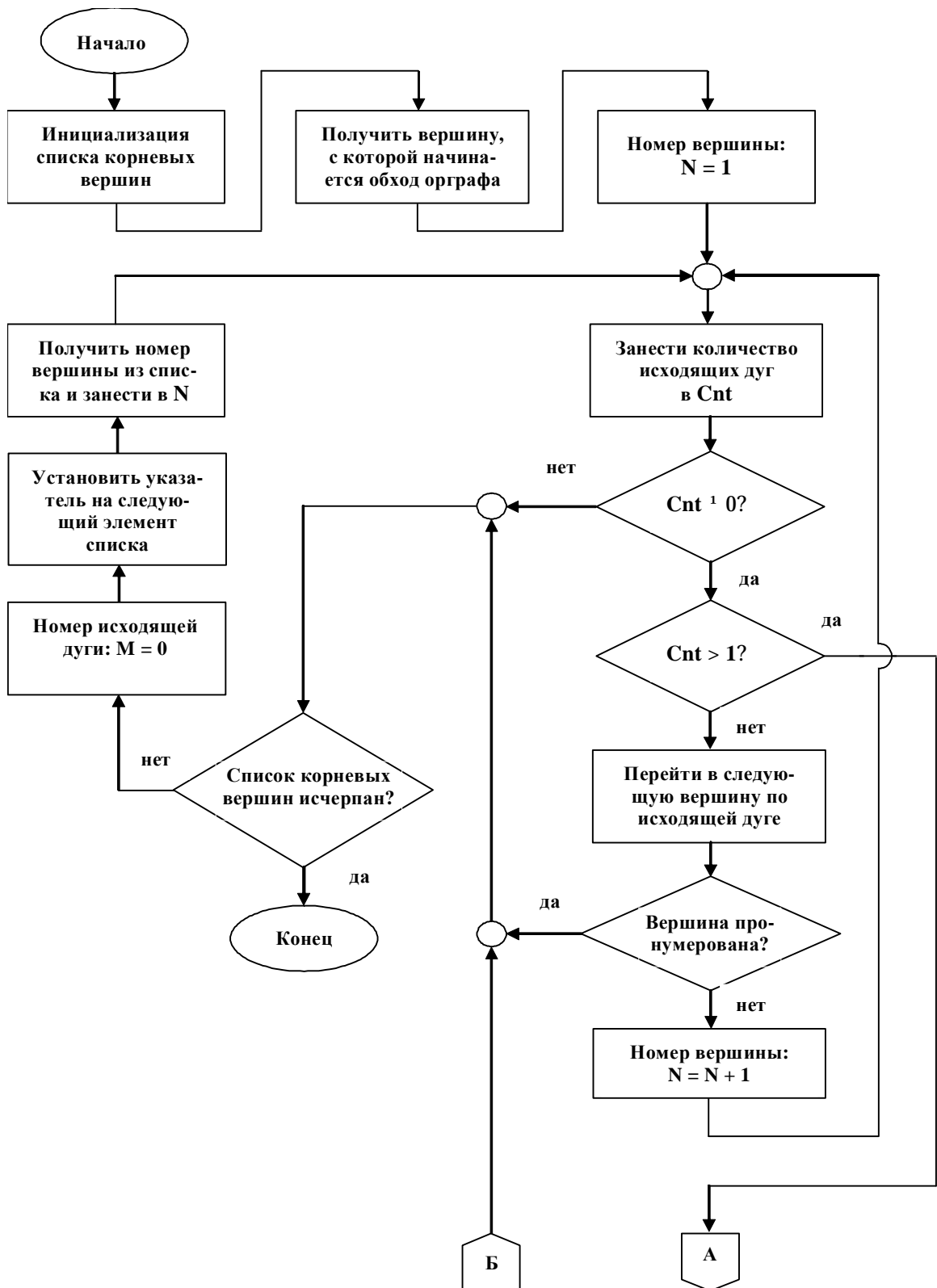


Рис. 3.10, а. Структурная схема итеративного алгоритма для обхода вершин произвольного орграфа (начало)

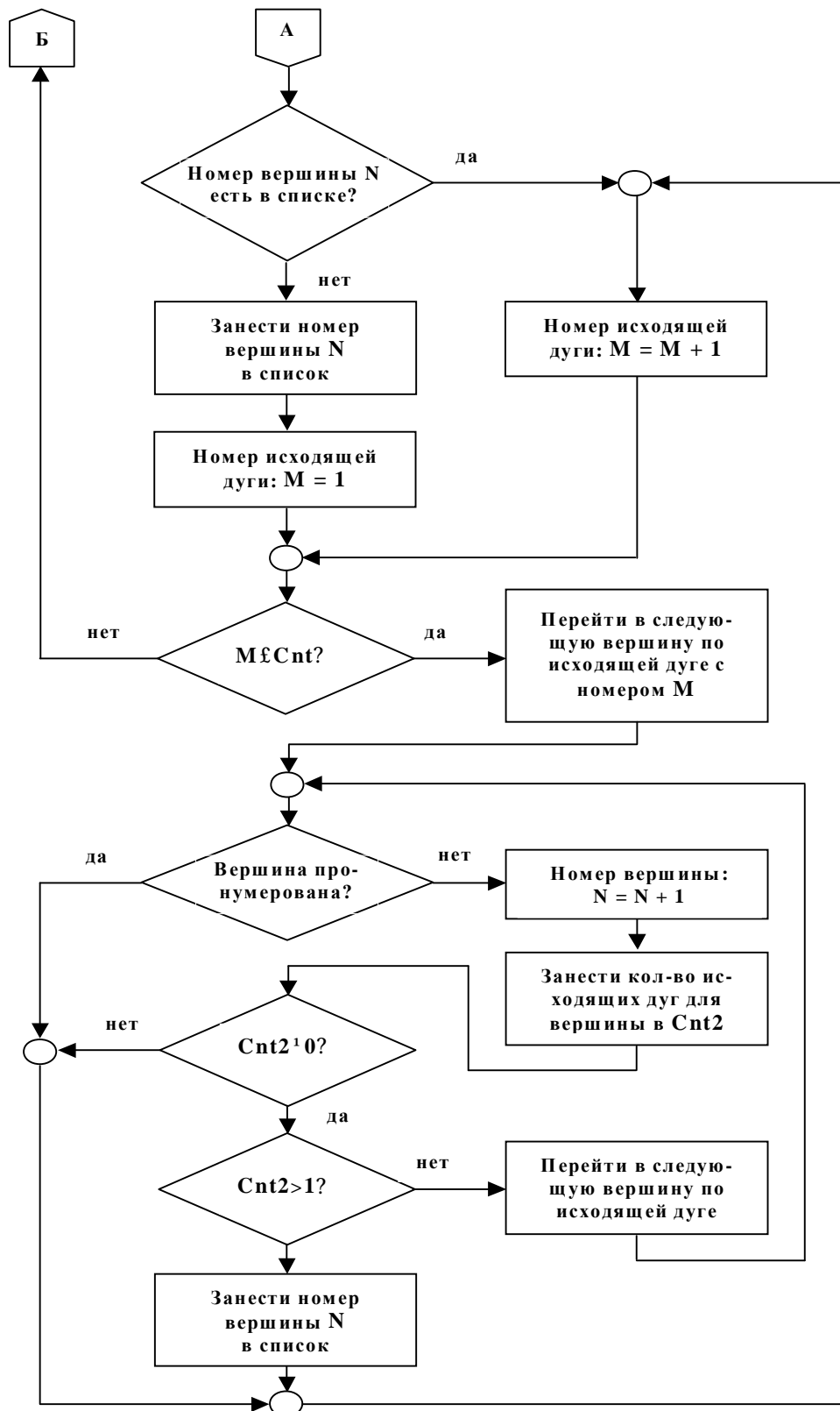
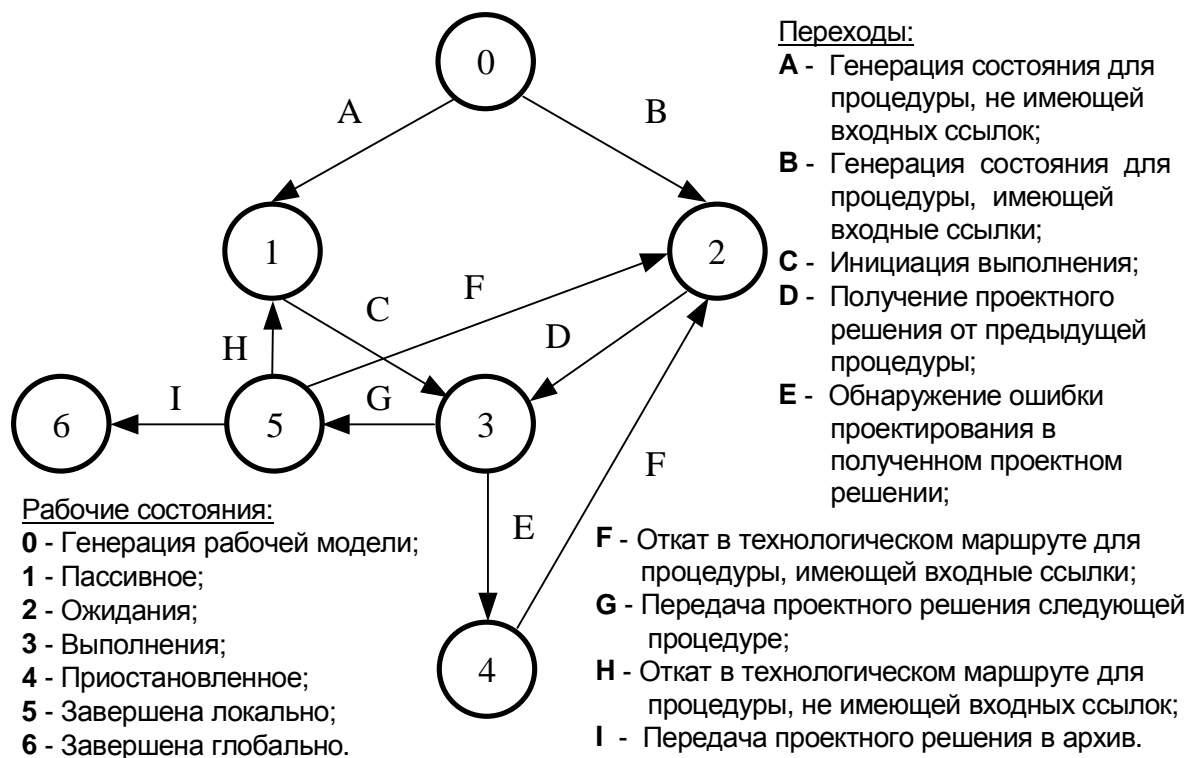


Рис. 3.10, б. Структурная схема итеративного алгоритма для обхода вершин произвольного орграфа (окончание)

Каждая проектная процедура, представленная в информационной модели, в любой момент процесса проектирования находится в одном из следующих рабочих состояний: пассивное, ожидания, выполнение, приостановленное, локально завершена, глобально завершена. Сразу после генерации рабочей модели проектные процедуры находятся либо в состоянии «пассивное» (если они не имеют входных ссылок, т.е. являются начальными процедурами маршрута), либо в состоянии «ожидания» (если им на вход не поступило проектное решение от предшествующей по маршруту проектной процедуры).

В дальнейшем важные – с точки зрения задач управления – события в системе могут привести к смене рабочего состояния проектной процедуры. Эти события (передача, прием, удаление или замена контейнера с проектным решением, откат в технологическом маршруте) контролируются средствами мониторинговой системы, которые обновляют состояние информационной модели. Смену рабочих состояний проектной процедуры можно представить с помощью диаграммы состояний (рис. 3.11).



*Рис. 3.11. Диаграмма состояний проектной процедуры*

Приведенный выше итеративный алгоритм обхода вершин произвольного орграфа можно модифицировать применительно к задаче реали-



зации глубокого отката в технологическом маршруте проектирования [117]. Пошаговое описание модифицированного итеративного алгоритма, предназначенного для автоматизации выполнения процедуры глубокого отката, приведено ниже.

- 1) **НАЧАЛО**. Для вершины, соответствующей проектной процедуре, в процессе выполнения которой была обнаружена ошибка проектирования, сменить рабочее состояние «Активная» на «Приостановлена».
- 2) Ввести идентификатор вершины, начиная с которой выполняется обход в орграфе, т.е. идентификатор проектной процедуры, сформировавшей некорректное проектное решение.
- 3) Инициализировать список идентификаторов корневых вершин (под)деревьев орграфа.
- 4) Прочитать запись, относящуюся к указанной вершине, из файла рабочей модели.
- 5) Получить информацию о состоянии вершины.
- 6) Если вершина имеет состояние «Локально завершена», то переход на шаг 9.
- 7) Если список корневых вершин исчерпан, то **КОНЕЦ**.
- 8) Получить очередной идентификатор вершины из списка корневых вершин, установить указатель на следующий элемент и переход на шаг 4.
- 9) Сменить состояние «Локально завершена» у вершины на «Пассивная».
- 10) Получить информацию об ответственном исполнителе данной проектной процедуры и послать ему оповещение о смене рабочего состояния и о причине этого.
- 11) Получить содержимое счетчика выходных ссылок для данной вершины (*OutCnt*).
- 12) Если  $OutCnt = 1$ , т.е. вершина не является корнем (под)дерева, получить выходную ссылку (идентификатор вершины) и выполнить переход на шаг 4.
- 13) Если идентификатор данной вершины отсутствует в списке корневых вершин, поместить идентификатор в список корневых вершин.
- 14) Инициализировать номер выходной ссылки:  $i = 1$ .
- 15) Если  $i > OutCnt$ , то переход на шаг 7.
- 16) Получить  $i$ -ю выходную ссылку, т.е. идентификатор  $i$ -го потомка данной вершины.

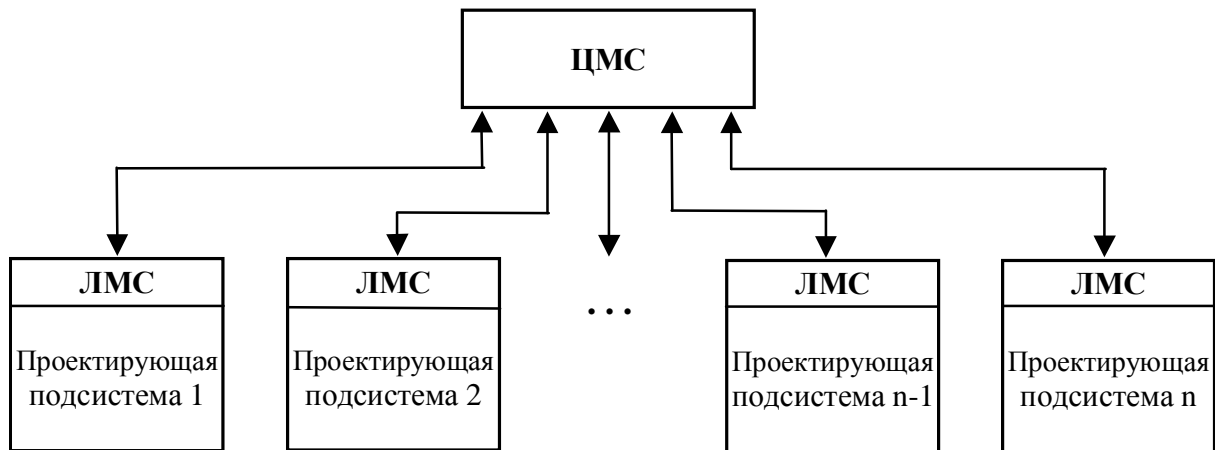
- 17) Прочитать запись, которая относится к вершине, указанной выходной ссылкой (идентификатор этой вершины используется в качестве ключа поиска в файле рабочей модели).
- 18) Получить содержимое счетчика выходных ссылок для данной вершины (*Cnt*).
- 19) Если  $Cnt > 1$ , т.е. это корневая вершина, то поместить идентификатор этой вершины в список идентификаторов корневых вершин. Иначе – переход на шаг 21.
- 20) Увеличить номер (индекс) выходной ссылки на 1, т.е.  $i = i + 1$ , и выполнить переход на шаг 15.
- 21) Получить информацию о состоянии вершины.
- 22) Если вершина имеет состояние «Пассивная» или «Приостановлена», то переход на шаг 20.
- 23) Сменить состояние «Локально завершена» у вершины на «Пассивная».
- 24) Получить информацию об ответственном исполнителе данной проектной процедуры и послать ему оповещение о смене состояния и о причине этого.
- 25) Получить выходную ссылку и выполнить переход на шаг 17.

Реализация модифицированного итеративного алгоритма обеспечивает поиск всех проектных процедур, на вход которых поступили некорректные проектные решения, проверку и смену их рабочих состояний, рассылку соответствующих оповещений ответственным исполнителям этих проектных процедур.

В соответствии с распределенным характером процесса проектирования и логической звездообразной структурой информационной инфраструктуры в комплексной САПР реализована двухуровневая распределенная система управления (СУ), которая представлена центральной и локальными мониторными системами, как показано на рис. 3.12.

ЦМС функционирует на выделенной ЭВМ, связанной сетевым каналом с совокупностью АРМ, и включает в себя компоненты методического, лингвистического, программного и информационного обеспечения, реализованные в следующих подсистемах: генерации, диалога, регистрации, справочной, информационной, управления, контроля, защиты, взаимодействия и связи.

Каждая ЛМС, функционирующая на проблемно-ориентированном АРМ, также содержит перечисленные подсистемы, за исключением подсистемы управления и информационной подсистемы, и управляет работой соответствующей проектирующей подсистемы.



**Рис. 3.12. Двухуровневая распределенная система управления информационной инфраструктурой комплексной САПР**

Реализация концепции распределенной мониторинговой системы с логической звездообразной структурой обеспечивает возможность контроля информационных обменов между функциональными подсистемами, образующими комплексную среду проектирования. Согласно предложенной концепции, непосредственные обмены между подсистемами не допускаются. Все информационные обмены контролируются ЦМС.

Обмены между подсистемами выполняются посредством информационных структур контейнерного типа, содержащих проектные решения. Передача контейнеров с проектными решениями из проектных процедур (ПП) в хранилище, обеспечиваемое информационной системой (ИС) САПР, выполняется по следующей схеме:  $ПП \rightarrow ЛМС \rightarrow ЦМС \rightarrow ИС$ . Прием контейнеров из хранилища ИС выполняется по обратной схеме:  $ИС \rightarrow ЦМС \rightarrow ЛМС \rightarrow ПП$ .

Все обмены контейнерами в комплексной САПР выполняются с использованием специально разработанного синхронного протокола прикладного уровня, который определяет набор соглашений и последовательность операций, реализующих указанные схемы информационных обменов. Поддержка подобных протоколов обеспечивается программными средствами, входящими в состав ЛМС, ЦМС и ИС.

## **ГЛАВА 4**

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОУРОВНЕВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ КОРПУСНЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И АНСАМБЛЕЙ**

Как отмечалось выше, традиционная парадигма проектирования, реализованная в большинстве современных САПР корпусной мебели, не учитывает особенностей позаказного промышленного производства. Основываясь на использовании полноформатной геометрической (чертежной) модели, она не создает условий, способных обеспечить должный уровень безошибочности разрабатываемых проектов и выполнение жесткого временного регламента проектных работ.

В отличие от нее, новая парадигма автоматизированного проектирования корпусной мебели ориентируется на использование высокоуровневого представления объекта проектирования, состоящего из комплекса структурных моделей, среди которых геометрическая модель – важная, но не единственная составляющая. Повышение уровня абстрагирования при разработке проекта является одним из условий безошибочности проектирования сложных объектов. При этом подготовка моделей, представляющих проект, должна выполняться с помощью специализированных программных средств, что, в свою очередь, является предпосылкой для обеспечения высокого качества проектирования.

В ходе проектирования комплексной САПР корпусной мебели необходимо решить ряд вопросов, связанных с разработкой моделей различного назначения. Среди них, в частности, выделяются следующие важные задачи:

- моделирование объектов проектирования;
- моделирование и оптимизация процесса проектирования;
- моделирование системы управления информационной инфраструктурой комплексной САПР.

Содержательная постановка, подходы к формализации и поиски практического решения второй и третьей задач – применительно к условиям позаказного производства – представлены в главах 2 и 3 соответственно. В данной главе рассмотрены вопросы моделирования объектов, представляющих сложные КМИА, с учетом особенностей конструкторской и технологической подготовки производства мебельных изделий.

#### 4.1. Эскизно-структурное и структурно-атрибутивное моделирование объектов проектирования в САПР корпусной мебели

Для повышения качества проектирования в среде САПР корпусной мебели необходимо использовать структурные модели более высокого уровня абстракции, чем традиционные, – эскизно-структурную, структурно-атрибутивную и графо-аналитическую [60, 106, 118]. Перечисленные модели – информационная основа для формирования ОСАМ объекта проектирования. При этом подготовка данных моделей выполняется с применением комплекса специализированных АТГР, входящих в состав подсистемы эскизного проектирования и управляемых программой-монитором [63, 64, 70].

##### 4.1.1. Эскизно-структурное описание объекта проектирования

Эскизно-структурное описание объекта проектирования основывается на системе классификации корпусной мебели и ее элементов и обеспечивает укрупненное координатное представление мебельной конструкции. Для идентификации элементов этой конструкции используется система соподчиненных понятий (уровней), с помощью которых структуру любой мебельной конструкции модульного типа можно представить в виде планарного графа (см. выше рис. 2.25), каждая вершина которого относится к одному из четырех уровней: изделия ( $F$ ), секций ( $S$ ), блоков ( $B$ ) или деталей ( $D$ ) [89].

В терминах теории множеств представление планарного графа можно записать в виде совокупности следующих соотношений [107, 118]:

$$F = S \cup D'; \quad (4.1)$$

$$S = \bigcup_{i=1}^l S_i, \quad S_i = \left( \bigcup_{j=1}^m B_j \right) \cup \left( \bigcup_{k=1}^n D'_k \right); \quad (4.2)$$

$$B = \bigcup_{i=1}^p B_i, \quad B_i = \left( \bigcup_{j=1}^q D_j \right) \cup \left( \bigcup_{k=1}^s D'_k \right); \quad (4.3)$$

$$D \cup D' = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}, \quad D \cap D' = \emptyset, \quad (4.4)$$

где  $S$  – множество секций в изделии  $F$ ;

$B$  – множество блоков;

$D'$  – множество деталей, не входящих в состав блоков;

$D$  – множество деталей, входящих в состав блоков;

$d_i$  – деталь, являющаяся элементом множества  $D$  или  $D'$ .

На рис. 4.1 представлен эскиз корпусного мебельного изделия (набора), структуру которого можно представить с помощью планарного графа, описанного соотношениями (4.1) – (4.4). Для этого необходимо выполнить разбиение мебельной конструкции ( $F$ ) на составляющие, воспользовавшись в данном случае двумя парами секущих плоскостей: горизонтальных ( $g_1, g_2$ ) и вертикальных ( $v_1, v_2$ ). Одна из двух пар плоскостей может быть выбрана в качестве секущих для формирования второго уровня графа, представляющего секции ( $S$ ) мебельного изделия. Если выбрать горизонтальные секущие плоскости ( $g_1, g_2$ ), то формируется второй уровень ( $S$ -уровень), включающий нижнюю ( $S'_1$ ), верхнюю ( $S'_2$ ) и антресольную ( $S'_3$ ) секции. В свою очередь, выбор вертикальных секущих плоскостей ( $v_1, v_2$ ) обеспечивает формирование  $S$ -уровня, который образуется левой ( $S''_1$ ), средней ( $S''_2$ ) и правой ( $S''_3$ ) секциями.

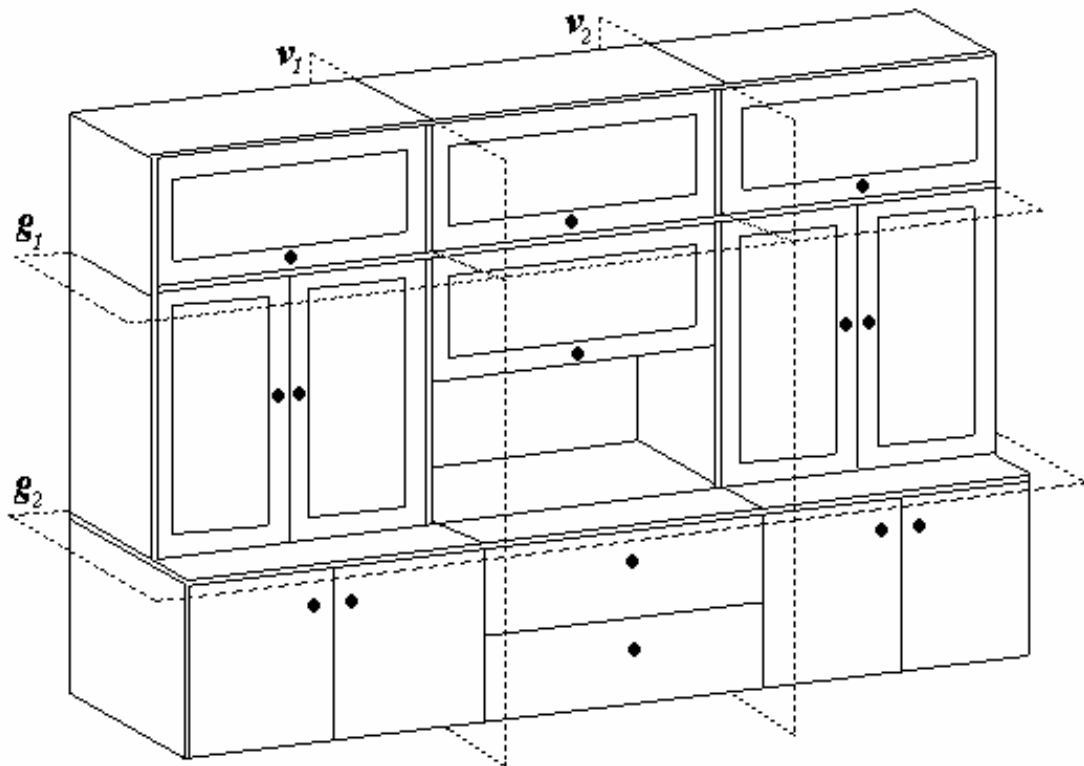


Рис. 4.1. Эскиз корпусного мебельного изделия (набора)

После того как выполнено формирование  $S$ -уровня с использованием пары секущих плоскостей, другая пара используется для декомпозиции его на составляющие блоки, или боксы ( $B$ -уровень). При этом необходимо

иметь в виду, что в составе мебельной конструкции можно выделить детали ( $D'$ ), которые нельзя связать только с одной секцией или блоком. Например, для представленного мебельного изделия (набора) такой деталью является задняя стенка, которая может быть выполнена либо из целого листа ламинированной ДВП, либо из трех отдельных его фрагментов (по одному для каждой из секций).

Логическая структура блока, как отмечалось ранее, определяется рекурсивно, в виде совокупности деталей, блоков и стандартных блоков. При этом первые два вида объектов иерархии изделия рассматриваются как единое целое на данном уровне ( $B$ -уровне), но для них предполагается дальнейшая декомпозиция. В отличие от них, стандартный блок представляет собой неделимое изделие – с точки зрения объектного представления модели, не допускающее дальнейшей декомпозиции по физическим или логическим причинам. В мебельном производстве в качестве стандартных блоков часто выступают комплектующие изделия, закупаемые у сторонних производителей (например, встраиваемая бытовая техника для кухонной мебели).

После формирования  $B$ -уровня выполняется декомпозиция каждого из его блоков; составляющие их детали, входящие в состав множества  $D$ , совместно с множеством  $D'$  образуют полное множество деталей  $\{d_i\}$  корпусного мебельного изделия.

Особую роль в процессе изготовления предметов мебели играют элементы сопряжения, обеспечивающие надежное соединение всех деталей конструкции и определяющие в большой степени ее долговечность. Обобщенное представление узлов сопряжения в эскизной модели корпусного мебельного изделия описано в главе 2. На уровне эскизного проекта узел сопряжения представляется абстрактным понятием, включающим в себя комбинацию сопрягаемых панелей и крепежных элементов (см. выше рис. 2.26). Последние, в свою очередь, описываются как обобщенные отверстия (рис. 2.27).

Построение эскизно-структурной модели выполняется на ортогональных (фронтальных, профильных и горизонтальных) проекциях, или видах. Среди них выделяют основные виды (спереди, слева и сверху) и вспомогательные (сзади, справа и снизу). Сбор информации для модели мебельной конструкции выполняется с помощью таблично-графических редакторов, позволяющих идентифицировать детали изделия, определять для них габаритные размеры и предельные значения, обеспечивать привязку каждой детали в модели с помощью указания их эскизных координат, задавать вид материала для каждой детали и т.д. [67, 68].

#### 4.1.2. Графо-аналитическое описание объекта проектирования

С любым мебельным объектом ( $F$ ,  $S$ ,  $B$  или  $D$ ) сопоставляется ряд основных свойств (атрибутов), каждое из которых можно отнести к одной из следующих двух групп: атрибуты объекта (параметры мебельной конструкции) и отношения (взаимосвязи) между объектами. Полное эскизное описание мебельного изделия, помимо указания составных элементов и их основных свойств, требует также задания отношений между ними. С учетом специфики конструирования корпусной мебели выделены следующие отношения между элементами: вложенности, или принадлежности ( $\in$ ), выравнивания ( $\equiv$ ), пропорциональности ( $\div$ ), симметрии ( $\supset|\supset$ ), зеркальности ( $\supset|\subset$ ), сопряжения ( $\leftrightarrow$ ).

Для описания различных типов отношений между элементами мебельного изделия может быть использован структурированный хроматический (цветной) граф с параллельными ребрами:

$$G(V, E) = G_N \cup G_A \cup G_S \cup G_I \cup G_M \cup G_P. \quad (4.5)$$

Каждый из подграфов, включенных в него, имеет одинаковое количество вершин и различным количеством ребер, отражающих свойства ассоциаций (отношений), присущих данному подграфу:

$$G_N(V, E_N); G_A(V, E_A); G_S(V, E_S); G_I(V, E_I); G_M(V, E_M); G_P(V, E_P), \quad (4.6)$$

где  $E_N$  – множество отношений вложенности;

$E_A$  – отношений выравнивания;

$E_S$  – отношений симметрии;

$E_I$  – отношений сопряжения;

$E_M$  – отношений зеркальности;

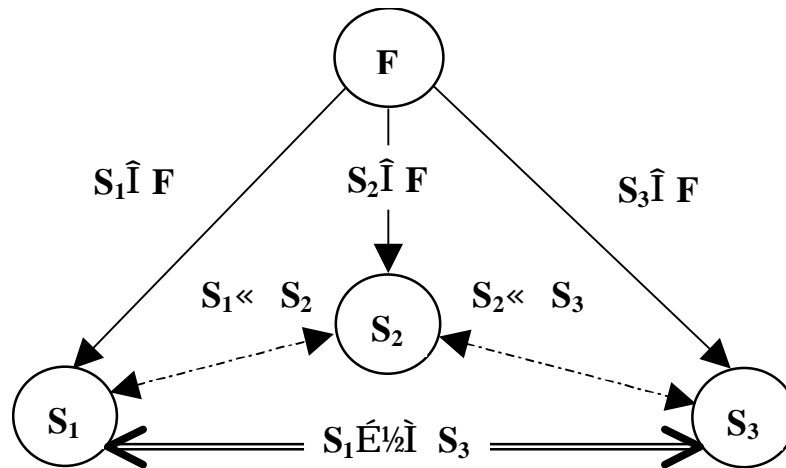
$E_P$  – отношений пропорциональности.

На рис. 4.2 приведен фрагмент структурированного хроматического (разноцветного) графа, представляющий два уровня описания модульной мебельной конструкции ( $F$ ), эскиз которой показан на рис. 4.1. Декомпозиция данной конструкции, состоящей из трех секций ( $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ ), выполнена с использованием вертикальных секущих плоскостей ( $v_1$ ,  $v_2$ ). В данном случае в качестве отношений между уровнями модели указаны принадлежность секций изделию ( $S_i \in F$ ), сопряжение секций ( $S_1 \leftrightarrow S_2$ ) и ( $S_2 \leftrightarrow S_3$ ), а также зеркальное положение левой и правой секций конструкции ( $S_1 \supset|\subset S_3$ ). Очевидно, что использование горизонтальных плоскостей ( $g_1$ ,  $g_2$ ) в ка-



честве секущих при построении  $S$ -уровня иерархии модели существенно меняет топологию отношений в графе.

Цвета в графе используются не только для того, чтобы представить иерархию объектов, сгруппированных по уровням; они также применяются для окраски ребер графа, задающих различные отношения между элементами одного или разных уровней иерархии.



*Рис. 4.2. Фрагмент структурированного хроматического графа, описывающего мебельную конструкцию*

Представленная выше форма описания структуры объекта, комбинирующая графические (граф) и лингвистические (специальный язык, обозначающий отношения между элементами объекта) возможности, получила название графо-аналитического описания [76].

Для графо-аналитического описания легко реализуются машинные алгоритмы обработки. Известно, что для компьютерной реализации алгоритмов работы с графами удобно использовать матрицы смежности и инцидентности [119, 120]. Матрицей смежности  $A(G)$  графа  $G(V, E)$  с  $n$  вершинами называется квадратная матрица порядка  $n$ , в которой элементы, стоящие на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, численно равны количеству ребер, соединяющих вершины  $i$  и  $j$ . Очевидно, в матрице смежности любого графа содержится вся информация о его структуре.

Матрицей инцидентности  $B(G)$  графа  $G(V, E)$  называется матрица с  $m$  вершинами и  $n$  дугами (ориентированными ребрами), значение элементов  $b_{ij}$  которой определяются следующим образом:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{я вершина является началом } j - \text{й дуги;} \\ -1, & \text{если } i - \text{я вершина является концом } j - \text{й дуги;} \\ 0, & \text{если } i - \text{я вершина и } j - \text{я дуга не инцидентны.} \end{cases}$$

Если  $i$ -я вершина является одновременно и началом и концом  $j$ -й дуги, т.е.  $j$ -я дуга образует петлю, то в качестве значения элемента  $b_{ij}$  матрицы инцидентности  $B(G)$  можно использовать любое другое значение, например, 2.

Каждое из введенных выше отношений между элементами конструкции мебельного изделия можно представить в виде квадратной матрицы, условно называемой матрицей отношения (например, матрица отношения вложенности, отношения выравнивания и т.д.). Такая матрица подобна матрице смежности, т.е. в любой ее позиции записано числовое значение: 0 или 1 – в зависимости от выполнения соответствующего отношения между элементами. Сама матрица смежности считается основной, поскольку она определяет топологию графа. При этом необходимо иметь в виду возможное усложнение программной реализации алгоритмов обработки совокупности семантически связанных, но структурно отдельных матриц, описывающих различные отношения (в данном случае – шесть видов отношений) между элементами мебельного объекта.

Ряд отношений, представленных в графе описания мебельной конструкции (4.5), характеризует как взаимосвязи между различными элементами, так и свойства отдельно взятых элементов. К ним относятся отношения пропорциональности, симметрии и зеркальности. Такой тип свойств выделяется в отдельную группу, получившую название ассоциативно-атрибутивных свойств модели описания мебельной конструкции [76].

При решении задачи обхода графа с целью отыскания вершин, обладающих заданными свойствами и/или отношениями, важным оказывается свойство его структурированности, т.е. возможность разделения графа на ряд подграфов (4.6). Таким образом, граф можно представить в виде набора слоев, в каждом из которых отражается конкретный тип отношений между его вершинами. Формирование слоев выполняется в процессе подготовки эскизно-структурной модели. Для хранения данных о структуре каждого слоя используются матрицы соответствующих отношений.

#### **4.1.3. Структурно-атрибутивное описание объекта проектирования**

Традиционный математический аппарат теории графов не обеспечивает средств одновременного описания и состава графа, т.е. его топологии,

и разнообразных свойств его вершин и ребер. Как правило, для этой цели используется ряд параллельных структур, одна из которых, основная, описывает топологию графа, а другие – различные свойства его элементов и отношений между ними.

Структурно-атрибутивное описание мебельного изделия расширяет введенное выше понятие хроматического графа, дополняя множество его окрашенных ребер окрашенными петлями. Каждая петля, для которой одна и та же вершина является одновременно и входной и выходной, представляет какой-либо внешний атрибут элемента. Различают следующие внешние атрибуты: геометрические (привязка элементов структуры, привязка к узлам сетки, ориентация элементов структуры, простановка размеров), материал, текстура, цвет, чистота обработки, покрытие и другие.

При решении задачи выбора и использования адекватных средств формализованного структурно-атрибутивного описания можно обратиться к математическому аппарату полихроматических (многоцветных) множеств и графов, разрабатываемому на протяжении ряда лет д.т.н., проф. В.В. Павловым (МГТУ «Станкин», г. Москва) и расширяющему возможности традиционной теории графов в области моделирования сложных систем [95].

Полихроматический граф, в отличие от хроматического, позволяет одновременно раскрасить любую отдельную вершину и/или ребро в несколько цветов. При этом определенному цвету ставится в соответствие конкретное свойство (атрибут) моделируемого объекта.

В основе теории полихроматических графов лежит понятие полихроматического множества ( $IPS$ ), которое определяется следующей тройкой:

$$IPS = (A, F(A), \{F(a_i), i = \overline{1, n}\}), \quad (4.7)$$

где  $A$  – множество элементов  $a_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;

$F(a_i)$  – множество цветов, в которые раскрашен отдельный элемент  $a_i$  (так называемая персональная раскраска этого элемента);

$F(A)$  – множество всех цветов из персональных раскрасок элементов и цветов самого  $IPS$ -множества как объекта  $A$  в целом.

Мультимножество  $\{F(a_i), i = \overline{1, n}\}$  удобно представлять в виде булевой матрицы персональных раскрасок элементов  $IPS$ -множества:

$$\|c_{ij}\| = [A \times F(A)], \quad (4.8)$$

где  $c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } F_j \in F(a_i); \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

При использовании булевой матрицы (4.8)  $PS$ -множество определяется следующей тройкой:

$$PS = (A, F(A), [A \times F(A)]). \quad (4.9)$$

Полихроматический граф  $PG = (PS_A, PS_C)$  состоит из полихроматического множества  $PS_A$  вершин и полихроматического множества  $PS_C$  ребер. По составу компонентов  $PS_A$ -множество соответствует  $PS$ -множеству (4.7);  $PS_C$ -множество имеет аналогичный состав компонентов.

С использованием покомпонентной записи  $PG$ -графа, учитывая (4.7) и (4.9), определяется следующей шестеркой элементов:

$$PG = (A, C, F(A), F(C), [A \times F(A)], [C \times F(C)]), \quad (4.10)$$

где  $C$  – множество ребер;

$F(C)$  – множество цветов персональных раскрасок отдельных ребер и цветов множества  $C$  в целом;

$[C \times F(C)]$  – булева матрица персональных раскрасок ребер, по назначению аналогичная булевой матрице:

$$\|c_{ij}\| = [C \times F(C)]. \quad (4.11)$$

При этом следует иметь в виду, что все операции над  $PG$ -графами, а также построение маршрутов, цепей, путей и другие действия отличаются от аналогичных действий с обыкновенными графами, поскольку здесь накладываются особенности, связанные с раскраской вершин и ребер.

Формальные представления (4.1)–(4.6) и (4.7)–(4.10) могут быть использованы при анализе объектов проектирования с целью формирования обобщенной модели КМИА и последующего алгоритмического контроля корректности выполняемых проектных операций в специализированной САПР корпусной мебели.

Таким образом, рассмотренные выше понятия хроматического и полихроматического графов, а также связанные с ними отношения и операции обеспечивают адекватный математический аппарат для разработки формализованного подхода к моделированию дискретных систем различной природы. Его использование в составе комплексной САПР корпусной мебели позволяет существенно расширить возможности структурного моделирования объектов и процессов проектирования.

## **4.2. Структурно-атрибутивное моделирование в системе технологической подготовки производства**

Объектное структурно-атрибутивное моделирование в системе технологической подготовки позаказного промышленного производства кор-

пусной мебели предполагает переход к более высоким уровням абстракции в представлении объектов проектирования при обеспечении тесной интеграции с этапом конструирования. Основной объем исходной информации, необходимой для решения задач технологической подготовки производства КМИА, формируется в конструкторской подсистеме, выходной информацией которой является ОСАМ. Ее можно представить следующей четверкой компонентов [89]:

$$\langle G, S, U, K \rangle \quad (4.12)$$

где  $G$  – геометрическая модель изделия;

$S$  – структурно-атрибутивная модель изделия;

$U$  – модель узлов сопряжения, фиксирующих элементы и блоки в составе изделия;

$K$  – система КТТО, определяющая степень свободы действий специалиста при реинжиниринге изделия.

Для решения большинства задач ТПП на более высоком уровне абстракции, чем в существующих системах, необходимо выполнять экспорт модели в технологическую подсистему еще до перехода в пространство исполнительных координат, т.е. на уровне работы с эскизными координатами модели. Это дает возможность реинжиниринга номенклатурного ряда КМИА в условиях автоматической реализации требований технологического процесса.

Как отмечалось выше, ОСАМ является объединением трех моделей: эскизно-структурной, структурно-атрибутивной и графо-аналитической, которые обеспечивают необходимый информационный континуум [66]. Это объединение может быть представлено следующим образом:

$$M_{osam} = \left( \bigcup_{i=1}^N \mathbf{U}(g_i \cup S_i) \right) \cup \left( \bigcup_{\substack{i=1, k=1, j=1, \\ j \neq i}}^{M, L_j, M} \mathbf{U} \mathbf{U} \mathbf{U} S_{i,k}^j \right) \cup \left( \bigcup_{\substack{i=1, j=1, \\ j \neq i}}^{N, N} \mathbf{U} \mathbf{U} F_{i,j}^1 \right) \cup \left( \bigcup_{i=1, j=1}^{N, M} \mathbf{U} \mathbf{U} F_{i,j}^2 \right) \cup \left( \bigcup_{k=1}^P \mathbf{U} f_k \right) \cup \left( \bigcup_{i=1, j=1, k=1}^{N, M, P} \mathbf{U} \mathbf{U} \mathbf{U} K_{i,j,k}^t \right), \quad (4.13)$$

где  $N$  – количество геометрических элементов КМИА;

$M$  – количество уровней иерархической декомпозиции объекта проектирования;

$L_j$  – мощность множества структурных элементов  $j$ -го уровня декомпозиции;

$P$  – количество внешних структурно-сопряженных связей объекта в рамках модели КМИА;

$g_i = \{g_i^g, g_i^p, g_i^v\}$  – вектор геометрических параметров  $i$ -го элемента, включающий в себя габаритные параметры, координаты характери-

ческих точек параметрических кривых, задающих форму деталей и параметры визуализации соответственно;

$s_i = \{s_i^f, s_i^k, s_i^t\}$  – вектор структурных параметров  $i$ -го элемента, состоящих из функциональных, конструктивных и технологических параметров соответственно;

$S_{i,k}^j$  – вектор связей  $k$ -го структурного элемента  $i$ -го уровня декомпозиции с элементами других уровней;

$F_{i,j}^1, F_{i,j}^2$  – внутренние сопряжения элементов объекта проектирования, относящихся к разным иерархическим уровням объекта (сопряжения 1-го типа) и к различным элементам одного иерархического уровня (сопряжения 2-го типа) соответственно;

$f_k$  – внешние сопряжения объекта в рамках модели КМИА;

$K_{i,j,k}^t$  – КТТО, предъявляемые к объекту проектирования, включая алгоритмы (методы) их реализации и контроля.

Определенная выше ОСАМ (4.13) выступает в качестве «информационного ядра», обеспечивающего информацией как проектирующие конструкторско-технологические подсистемы САПР, так и программные модули автоматизированной информационной системы управления предприятием.

Система КТТО, представленная в выражении (4.12), может быть записана как пара  $\langle K_k, K_t \rangle$ , отражающая конструкторские и технологические ограничения соответственно. В свою очередь, множество  $K_t$  может быть представлено следующей семеркой компонентов:

$$\langle T_g, T_s, T_m, T_f, T_o, P, \Psi \rangle, \quad (4.14)$$

где  $T_g$  – ограничения, определяемые геометрией изделия;

$T_s$  – ограничения, определяемые структурой изделия;

$T_m$  – ограничения, определяемые конструкционными материалами;

$T_f$  – ограничения, накладываемые элементами сопряжения (крепежной фурнитурой, профильными системами и механизмами);

$T_o$  – ограничения, определяемые производственными условиями, требованиями технологических процессов (ТП) и используемым станочным оборудованием;

$P$  – предикатные символы, определенные на объединении непересекающихся множеств  $\{(\cup T_i) \cup G \cup S \cup U\}$ , где  $i = \{g, s, m, f\}$ ;

$\Psi$  – функция формального отображения, которая ставит в соответствие любому предикатному символу  $p \in P$  определенное значение из множества числовых параметров.

Каждое из подмножеств  $T_k$ , где  $k = \{g, s, m, f\}$ , разделяется на две непересекающиеся части  $T_k = T_k^s \cup T_k^r$ , представляющие, соответственно, рег-

ламентирующие (обязательные для выполнения) и рекомендуемые ограничения (ответственность за несоблюдение которых возлагается на специалиста). Поскольку функция  $\Psi$  задает отношение порядка на множестве ограничений, любое подмножество ограничений, в свою очередь, можно разбить на непересекающиеся подмножества по степени необходимости реализации того или иного критерия:

$$T = \bigcup_{i=1}^N T_i. \quad (4.15)$$

Например, для подмножества  $T_k^s$  можно использовать следующую градацию:

- $T_1$  – ограничения, обусловленные функциональным назначением КМИА, которые должны выполняться в любом случае;
- $T_2$  – ограничения, связанные с возможностями имеющегося оборудования, которые можно преодолеть путем модернизации станочного парка;
- $T_3$  – ограничения, накладываемые используемыми ТП изготовления, которые можно снять внедрением новых ТП;
- $T_4$  – ограничения, связанные со сложившейся структурой производства и субъективными предпочтениями исполнителей.

Цель моделирования ТП изготовления КМИА заключается в формировании набора моделей в пространстве эскизных координат, соответствующих технологическим условиям предприятия и критериям позаказного промышленного производства. Решение данной задачи состоит в построении множества методов  $\omega$ , определяющих набор функций  $\theta$ , таких, что каждая из них задает точку модельного пространства КМИА, в которой удовлетворяются все элементы КТТО, т.е. все существующие предикаты получают значение истинности. Областью определения методов  $\omega$  является совокупность свободных переменных  $D \subseteq G \cup S \cup U$  в соответствии с (4.12).

Обозначим через  $\Theta$  множество технологических решений, удовлетворяющих регламентирующим КТТО высокого уровня ( $L < N$ ) в соответствии с (4.15). Тогда множество приемлемых решений будет представлять собой такое его подмножество  $\Theta_0$ , в котором удовлетворяется максимальное количество регламентирующих ограничений более низкого уровня. Оптимальная по технологическим критериям модель КМИА является элементом  $\Theta_0$ . Множества  $\Theta$  и  $\Theta_0$  можно определить следующим образом:

$$\Theta = \left\{ q \mid \forall p \in P; \forall w \in q : w(D) \in \bigcup_{i=1}^L T_i \right\};$$

$$\Theta_0 = \left\{ q \mid q \in \Theta; \forall w \in q : w(D) \in \left( \bigcup_{i=L+1}^N T_i^s \right) \bigcup \left( \bigcup_{j=1}^M T_j^r \right) \right\},$$

где  $M$  – количество градаций рекомендуемых ограничений.

#### 4.2.1. Обобщенная информационная модель объекта и процесса проектирования ТПП

Автоматизация всего спектра конструкторско-технологических задач в рамках комплексной САПР не может быть осуществлена без построения эффективной информационной модели объекта и процесса ТПП как составной части информационной инфраструктуры предприятия. Первым формальным этапом построения является инфологическое проектирование информационной структуры автоматизированной системы ТПП (АСТПП), в процессе которого выявляются информационные потребности системы, определяемые предметной областью – технологическая подготовка производства КМИА.

Для эффективной реализации данного этапа необходимо выявить полный набор информационных и функциональных зависимостей, имеющих место на всех этапах технологического проектирования, рассматривая сам процесс формирования проектного решения с точки зрения системно-структурного и системно-функционального подходов [121]. Выявленные информационные связи формализуются посредством построения инфологических структур данных, а функциональные связи – формальными алгоритмами преобразования информации при переходах между различными уровнями абстрагирования и способами описания объекта проектирования.

Системообразующими элементами технологического проектирования выступают локальные операции – группа проектных действий, которые характеризуются единством целей и способов их достижения. Формально этот процесс может быть представлен множеством функциональных зависимостей, описывающих преобразование вектора входной информации  $X = \{x_i\}$  в вектор выходной информации  $Y = \{y_i\}$ :

$$Y = \bigcup_{i=1}^N F_i(X), \quad (4.16)$$

где  $N$  – количество локальных операций.

Начальное значение вектора входной информации определяют ОСАМ КМИА и набор количественных характеристик технологических возможностей предприятия. Конечное значение вектора выходной инфор-



мации – это множество технологической документации, которая представляет ТП изготовления конкретного или типового изделия. Входная и выходная информация промежуточных операций образует разветвленный информационный поток между ними, каждая ветвь которого определяется функциональным назначением преобразования  $F_i$ .

Таким образом, цель технологического проектирования – преобразование определенной совокупности входной информации, представленной в координатном пространстве соответствующего уровня абстрагирования, в определенную совокупность выходной информации, координатное пространство представления которой может не совпадать с входным пространством.

Задачей инфологического проектирования информационной модели ТПП является исследование и формальное описание трех его составляющих  $X, F, Y$  (4.16), на основе которых реализуется структурная декомпозиция на локальные операции, и определяются технические, информационные и программные средства, необходимые для построения АСТПП в рамках комплексной САПР корпусной мебели.

Инфологическое представление модели  $i$ -ой проектной операции технологического проектирования, инвариантное к уровню абстрагирования, формально описывается следующим образом:

$$M_i = \{ I_i(X), A_i(X), S_i(X, Y), R_i(X, Y), O_i(Y) \},$$

где  $I_i(X)$  – входной информационный поток;

$A_i(X)$  – алгоритм реализации проектной операции;

$S_i(X, Y)$  – множество функциональных отношений;

$R_i(X, Y)$  – множество ограничений рассматриваемой проектной операции;

$O_i(Y)$  – выходной информационный поток.

Технологическое проектирование КМИА представляет собой итеративно-рекурсивный процесс последовательного преобразования информации об объекте проектирования в совокупности с различными видами справочной, дополнительной и вспомогательной информации. Он может быть описан в терминах информационных потоков  $I$ , включающих в себя модели объекта проектирования ( $M$ ) и документы ( $D$ ):

$$I \subseteq M \cup D.$$

Модель  $M$  представляет собой математическую абстракцию, с допустимой степенью адекватности отражающую свойства реального объекта, которая заменяет его при решении проектных задач. Для построения модели объекта необходимо провести операции абстрагирования и редукции размерностей [122]. В соответствии с принципами концепции БОПП моде-

ли, используемые на этапе ТПП, носят объектный структурно-атрибутивный характер и формируются в соответствии с (4.13).

Документ  $D$  является носителем информации, имеющим фиксированную структуру представления данных одного или нескольких типов. По количественному характеру преобладающего типа данных документы подразделяются следующим образом:

$$D \subseteq G \cup T \cup R,$$

где  $G$  – графические документы (эскизы, наладки, карты раскроя);

$T$  – текстовые документы (технические характеристики, инструкции);

$R$  – табличные документы (спецификации, операционные карты).

По назначению и характеру использования документы подразделяются на три класса:

$$D \subseteq D_{in} \cup D_s \cup D_{out},$$

где  $D_{in}$  – входные документы, содержащие, как правило, условно-постоянную информацию о производственно-технологических параметрах предприятия и имеющие справочно-методическую ориентацию;

$D_s$  – промежуточные документы, используемые при выполнении локальных проектных операций (4.16) внутреннего уровня;

$D_{out}$  – выходные документы, представляющие собой полный набор технологических документов, необходимых для изготовления разрабатываемого изделия.

Характер использования входных и промежуточных документов существенно зависит от направления вектора проектирования: инжиниринг прототипной модели или реинжиниринг конкретного изделия. В первом случае значительная часть документов учитывается специалистом (технологом) неформальным образом, поэтому структура их представления должна обеспечивать удобный интерактивный режим доступа и визуализации. Наиболее приемлемой формой структурирования информации в БД является реляционная модель, поддерживаемая большинством современных СУБД [123–125].

В процессе реинжиниринга значительная часть входных и промежуточных документов является «прозрачной» для специалиста, поскольку является составной частью комплекса КТТО и учитывается в автоматическом режиме, минуя стадию визуализации.

Выходные документы, как результат технологического проектирования, в общем случае представляют собой совокупность шести подмножеств:

$$D_{out} \subseteq D^{ТП} \cup D^{сн} \cup D^{кр} \cup D^{ТПУ} D^6 \cup D^{оп},$$

где  $D^{ТП}$  – маршрутные, операционные и маршрутно-операционные ТП;

$D^{cn}$  – спецификации на материалы и комплектующие изделия;  
 $D^{kp}$  – карты раскроя листовых и погонных материалов;  
 $D^{ЧПУ}$  – УП для станков с ЧПУ и обрабатывающих центров;  
 $D^e$  – ведомости на комплектацию изготовления изделия и закупку, в случае необходимости, недостающих компонентов;  
 $D^{on}$  – таблицы трудоемкости выполнения отдельных операций и нормирования трудозатрат.

Полный объем выходных документов может формироваться только при реинжиниринге прототипных моделей в пространство исполнительных координат. Он варьируется в зависимости от особенностей организации производственного процесса на конкретном предприятии. В пространстве эскизных координат существуют только типовые и групповые ТП.

#### 4.2.2. Закономерности преобразования информации при технологическом проектировании

На каждом этапе процесса технологического проектирования информационные модели и документы, представленные в предыдущем разделе, подвергаются сложным функциональным преобразованиям, которые последовательно уточняют описание проектируемого ТП. Формально эти преобразования описываются множеством функций преобразования:

$$F \subseteq F_{\delta \rightarrow \delta} \cup F_{M \rightarrow M} \cup F_{M \rightarrow \delta} \cup F_{\delta \rightarrow M},$$

где  $F_{\delta \rightarrow \delta}$  – функции взаимного преобразования документов;

$F_{M \rightarrow M}$  – функции взаимного преобразования моделей;

$F_{M \rightarrow \delta}$  – функции преобразования моделей в документы;

$F_{\delta \rightarrow M}$  – функции преобразования документов в модели.

Все операции взаимного преобразования документов могут быть сведены к двум основным видам операций:

- модификация отношений в БД (добавление, редактирование и удаление кортежей, включение новых экземпляров объектов и т.д.);
- поиск информации по заданной совокупности ключевых атрибутов и построение проекций отношений на выбранное подмножество атрибутов.

Характер взаимного преобразования моделей и документов в ходе технологической подготовки производства определяется необходимостью формирования ОСАМ процесса на основе ОСАМ изделия, т.е. решением задачи синтеза ТП. В общем случае модели ТП порождаются на основе подмоделей ОСАМ КМИА в соответствии с общими правилами выделения подграфов в структуре полихроматических графов [100].

Преобразование графо-аналитической модели в двумерные геометрические модели операционных эскизов и контуров для оптимизации раскроя материалов и трансляции в системы управления станков с ЧПУ определяется правилами проекционной геометрии, поскольку оно представляет собой получение ортогональных проекций по имеющейся объемной модели с подключением, при необходимости, алгоритмов выделения замкнутых контуров.

Наиболее сложной и в значительной степени неформальной на этапе инжиниринга является задача преобразования эскизно-структурной модели КМИА в операционную модель ТП и структурно-атрибутивной модели – в маршрутную модель ТП. В общем случае она представляет собой задачу синтеза ТП, которая может быть решена на одном из трех уровней:

$$U \subset U_1 \subseteq U_2 \subseteq U_3,$$

где  $U_1$  – уровень конструктивной идентичности КМИА, на котором задача синтеза ТП вырождается в поиск существующего аналога, полностью удовлетворяющего условиям изготовления нового изделия;

$U_2$  – уровень технологической идентичности КМИА, на котором существует типовой ТП, требующий модификации отдельных его параметров в соответствии с новыми требованиями;

$U_3$  – уровень синтеза нового ТП.

Проектирование ТП на уровне конструктивной идентичности требует организации эффективных механизмов поиска изделия-аналога, который может осуществляться по общим характеристикам: функциональному назначению, габаритным размерам, структуре внутреннего наполнения, применяемой фурнитуре и т.д. Для этого необходимо выполнение как минимум двух условий:

- разработки и применения системы классификации и кодирования, отражающей существенные особенности выпускаемых КМИА;
- накопление информации о ранее выпускаемых изделиях в БД с организацией режимов доступа к ней всех заинтересованных специалистов.

Естественно, что вероятность успешного поиска изделия или детали-аналога прямо пропорциональна объему информации в БД и полноте классификационного представления. Найденный ТП-аналог необходимо подвергнуть процедуре актуализации, поскольку он может являться морально устаревшим, т.е. выполнить ряд проектных операций уровня технологической идентичности.

Основным методом проектирования ТП на уровне технологической идентичности является метод адресации, основанный на теории типовых

технологических процессов [126]. Структурная схема алгоритма его реализации представлена рис. 4.3.



**Рис. 4.3. Структурная схема алгоритма реализации уровня технологической идентичности**

Модель  $i$ -ого комплексного объекта представляет собой множество изделий или деталей, которые можно изготовить в соответствии с  $i$ -ым типовым технологическим процессом ( $N$  – общее количество типовых объектов в БД).

Наиболее общим является уровень синтеза ТП, в основе которого лежит положение о том, что процесс проектирования является многоуровневым и итерационным. На каждом уровне решается задача оценки и фильтрации вариантов в соответствии с определенными критериями, по результатам которой либо осуществляется переход на нижележащий уровень, либо возврат на один из вышележащих уровней. Другими словами, синтез ТП требует решения задачи многокритериальной оптимизации, которая рассматривается в следующей главе.

На практике рассмотренные методы используются совместно. Поскольку  $U_1 \subseteq U_2 \subseteq U_3$ , целесообразно использовать именно эту последова-

тельность их применения и переходить на более общие уровни только после получения отрицательных результатов на предыдущих уровнях.

Преобразование моделей в документы может быть трех различных типов:

- извлечение некоторой части геометрической и структурной информации из ОСАМ с последующей ее обработкой и представлением в форме промежуточных или выходных документов. В ходе подобного преобразования возникает частичное дублирование информации в силу необходимости ее представления в иной форме. Примером подобного преобразования может служить процедура формирования чертежной документации, включающей в себя сборочный чертеж изделия и рабочие чертежи деталей;
- извлечение из ОСАМ только геометрической информации для модификации ее представления в соответствии с заданными критериями и формой визуализации. Например, при формировании карт раскроя материалов на основании геометрической информации о деталях и критериев оптимизации раскладки рассчитывается оптимальный вариант карт раскроя, форма представления которого определяется требованиями удобства использования в производстве;
- включение модели или ее части в качестве целостного составного объекта в документ с сохранением существующих связей структурного уровня. Это позволяет поддерживать направленные связи между моделью и документом, благодаря чему текущие модификации модели автоматически отражаются в связанных с ней документах. Например, модель схемы сборки изделия включает в себя графо-аналитическую и частично структурно-атрибутивную составляющие ОСАМ.

#### **4.2.3. Математическая модель оптимизации технологического процесса изготовления КМИА**

Бизнес-процессы на любом промышленном предприятии, в том числе и в мебельной промышленности, должны быть экономически эффективными, поэтому необходимой функцией технологической подготовки производства является структурная оптимизация ТП по обобщающим показателям технико-экономической эффективности. Целью ее является выбор из множества альтернативных вариантов таких решений, которые позволяют экономно расходовать материальные, энергетические, трудовые и иные ресурсы предприятия. Критерии, используемые при структурной оптимиза-

ции ТП, подразделяются на две группы, соответствующие двум основным принципам их разработки – технической и экономической целесообразности. Другими словами, разработанный ТП должен обеспечивать безусловную реализацию всех технических требований, предъявляемых к изделию, и обеспечивать при этом минимальные издержки производства. Основными технико-экономическими критериями являются: максимальная фактическая производительность, минимальное штучное время, максимальный коэффициент технического использования оборудования. В группу экономических критериев входят: минимальные приведенные затраты, минимальная себестоимость изготовления изделия, максимальная прибыль или рентабельность.

С математической точки зрения задача технологического проектирования представляет собой задачу многокритериальной оптимизации и сводится к определению варианта, в наилучшей степени реализующего требования к изготавливаемому изделию (критерии оптимизации) с учетом специфики, обусловленной конкретными производственными условиями (система ограничений). Оптимальным ТП изготовления КМИА считается в том случае, когда он обеспечивает выполнение всех требований, сформулированных на предыдущих этапах ЖЦ изделия, соответствует реальным производственно-техническим условиям и соответствует экстремуму целевой функции.

Поскольку критериев структурной оптимизации технологических процессов несколько, требуется определение обобщенного критерия, который может быть получен путем свертки отдельных нормализованных критериев оптимизации:

$$F = \sum_{i=1}^N a_i \cdot F_i ; \quad \sum_{i=1}^N a_i = 1,$$

где  $F_i$  – нормализованные значения критериев оптимизации;

$a_i$  – весовые коэффициенты, которые определяют вклад  $i$ -го критерия оптимизации в обобщенный критерий.

Нормализация критериев оптимизации, которая необходима для приведения их к безразмерному виду, выполняется в соответствии со следующим соотношением:

$$F_i = \frac{F_i'' - F_i^{\min}}{F_i^{\max} - F_i^{\min}},$$

где  $F_i$  – нормализованное значение  $i$ -го критерия;

$F_i''$  – ненормализованное значение  $i$ -го критерия;

$F_i^{\min}$ ,  $F_i^{\max}$  – соответственно, минимальное и максимальное значение  $i$ -го критерия на множестве допустимых значений.

Для постановки задачи оптимизации ТП требуется составить математическую модель обработки отдельных деталей КМИА и сборки изделия, включающую в себя критерии оптимальности, целевую функцию, систему ограничений, векторы входных, внутренних (с выделением управляемых) и выходных параметров.

Общий процесс изготовления КМИА в условиях позаказного промышленного производства является достаточно сложным, включающим в себя организационные, экономические, технические и технологические аспекты. В качестве обобщенного интегрального критерия оптимальности для оптимизации ТП в целом целесообразно выбрать удельные затраты на единицу продукции в течение планового периода. Соответствующая целевая функция в этом случае может быть представлена в виде:

$$Z = \frac{Z_k \cdot K_9 \cdot K_u + Z_{mo} + Z_n \cdot K_a + Z_m + Z_{и} + Z_{зп} + Z_{эл} + Z_o + Z_{эко} + Z_{доп} + Z_{пр}}{N}, \quad (4.17)$$

где  $Z_k$  – доля капитальных затрат на приобретение и установку оборудования, приведенная к плановому периоду;

$K_9$  – коэффициент экстенсивного (по режимному времени) использования оборудования;

$K_u$  – коэффициент интенсивного (по производительности) использования оборудования;

$Z_{mo}$  – затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования;

$Z_n$  – капитальные затраты на содержание производственных помещений;

$K_a$  – коэффициент амортизации;

$Z_m$  – затраты на материалы и комплектующие изделия;

$Z_{и}$  – затраты на ремонт и приобретение инструмента;

$Z_{зп}$  – затраты на заработную плату основного и вспомогательного персонала;

$Z_{эл}$  – затраты электроэнергии на реализацию ТП изготовления КМИА;

$Z_o$  – суммарные затраты от простоев оборудования вне зависимости от причин, которые их инициировали;

$Z_{эко}$  – затраты на экологические цели и обеспечение техники безопасности (утилизация опилок и отходов от распиловки заготовок, установка дополнительных фильтров и т.д.);

$Z_{доп}$  – дополнительные затраты, связанные с изготовлением КМИА повышенного уровня эксклюзивности;

$Z_{пр}$  – прочие затраты;

$N$  – количество КМИА, изготовленных в плановом периоде.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования определяется отношением фактического времени работы оборудования к режимно-



му фонду времени, а коэффициент интенсивного использования – отношением фактической производительности к производительности по технической норме. Их произведение определяет интегральный коэффициент использования.

Система ограничений рассматриваемой математической модели должна определяться спецификой конкретного предприятия и отражать все присущие ему существенные факторы, в том числе:

- возможность работы в существующей производственной системе (оборудование, материалы, инструменты, кадры и т.д.);
- взаимосвязи между объектами, входящими в систему (подразделения, этапы ЖЦ изделия, документооборот);
- принципы работы с клиентами (система приема заказов, условия транспортировки готовой продукции, организация гарантийного и послегарантийного обслуживания).

Вектор входных данных целевой функции включает в себя следующие группы параметров:

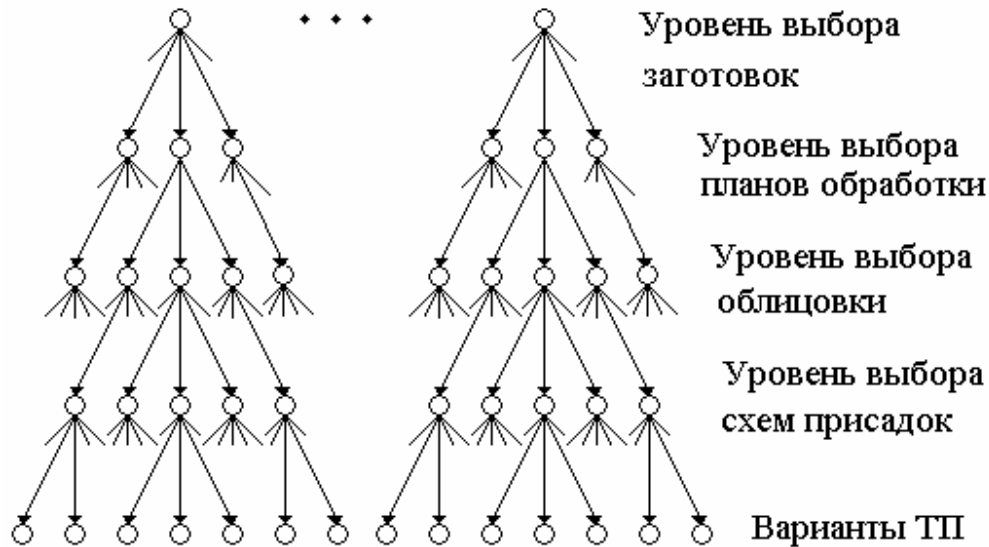
- взаимосвязи и взаимозависимости между параметрами, описывающими отдельные группы затрат, при использовании различных маршрутных технологий изготовления КМИА;
- системы неравенств, отражающих реальные производственные возможности предприятия;
- характеристики возможностей материально-технического и финансового обеспечения производства;
- изменение технологических факторов, а также факторов потребительского спроса на выпускаемую продукцию во времени.

Поскольку структурная оптимизация дифференцирует процесс технологического проектирования на ряд взаимосвязанных уровней (рис. 4.4), каждый из которых предполагает решение многовариантной задачи, промежуточными данными будут являться графы допустимых вариантов ТП, удовлетворяющих имеющейся системе ограничений.

Вектор выходных параметров представляет собой информационную структуру, содержащую полный набор данных для генерации комплекта технологической документации на изготовление эксклюзивного, типового или группового КМИА в соответствии с оптимальным ТП, или максимально приближенному к нему по заданным критериям. В зависимости от типа разрабатываемого технологического процесса в состав документации могут входить:

- маршрутные, операционные и маршрутно-операционные карты;
- карты типового технологического процесса;

- карты группового технологического процесса;
- различного рода технологические инструкции, например, по сборке изделия, выбору технологических параметров раскроя материалов, технике безопасности и т.д.;
- карты технологической информации;
- карты операционных и сборочных эскизов;
- карты комплектации.



**Рис. 4.4. Уровни структурной оптимизации ТП**

Задача структурной оптимизации ТП является многофакторной оптимизационной задачей, формально заключающейся в поиске такой ветви графа, которая обеспечит экстремум целевой функции в рамках заданной системы ограничений. Решение этой задачи позволяет формировать ТП изготовления КМИА с минимальными удельными затратами, что является исключительно актуальным в условиях позаказного промышленного производства.

Общая постановка задачи оптимизации технологического проектирования в рассматриваемом варианте с учетом соотношения может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned}
 & Z = Z(x_i) \rightarrow \min; \\
 & \begin{cases} x_i \in X, \\ f_j(x^* \subseteq X) \in F_j, \\ p(|s_k - s_k(t)| \leq e) \leq p_0^k, \\ \forall i \in I; \forall j \in J; \forall k \in K, \end{cases} \quad (4.18)
 \end{aligned}$$

где  $X$  – вектор входных параметров;

$f_j(x^*)$  – ограничения, накладываемые возможностями существующей производственной системы;

$p$  – ограничения на допустимые отклонения потребительского спроса на отдельные группы выпускаемых изделий в течение планового периода.

Решение задачи структурной оптимизации ТП предполагает обработку большого объема слабо формализованной и неупорядоченной информации, что требует соответствующих затрат времени и технических возможностей компьютеров. Уменьшить ее размерность можно в том случае, если на исходном графе или на отдельных уровнях промежуточных графов (рис. 4.4) существуют критерии промежуточной оптимизации, позволяющие отбросить все ветви, заведомо не содержащие оптимального решения:

$$G_i = G_i^{opt} \cup G_i^{del}. \quad (4.19)$$

На основании предлагаемой математической модели оптимизации проектирования ТП изготовления КМИА разработан алгоритм реализации и структурная схема подсистемы (рис. 4.5), которая состоит из следующих модулей:

- модуль формирования входной информации (МВхИ), предназначенный для определения целевой функции технологического проектирования;
- модуль получения функциональных зависимостей (МФЗ) между составными частями приведенных затрат и характеристиками производственной системы;
- модуль расчета прогнозов (МРП) изменения параметров в зависимости от времени в течение планового периода;
- модуль построения целевой функции (МПЦФ);
- модуль построения системы ограничений (МПСО);
- модуль нахождения промежуточных критериев оптимизации (МПКО) и дифференцирования подграфа в соответствии с (4.19);
- модуль решения оптимизационной задачи на определенном уровне (МРОЗ);
- модуль оценки полученного решения и определения необходимости коррекции исходных данных (МОР);
- модуль формирования выходной информации (МВыИ).

В зависимости от своего функционального назначения модули рассматриваемой подсистемы функционируют как в автоматическом, так и в автоматизированном режиме. В последнем случае для их работы требуется привлечение определенного объема дополнительной информации (ДИ), в том числе и субъективного характера.

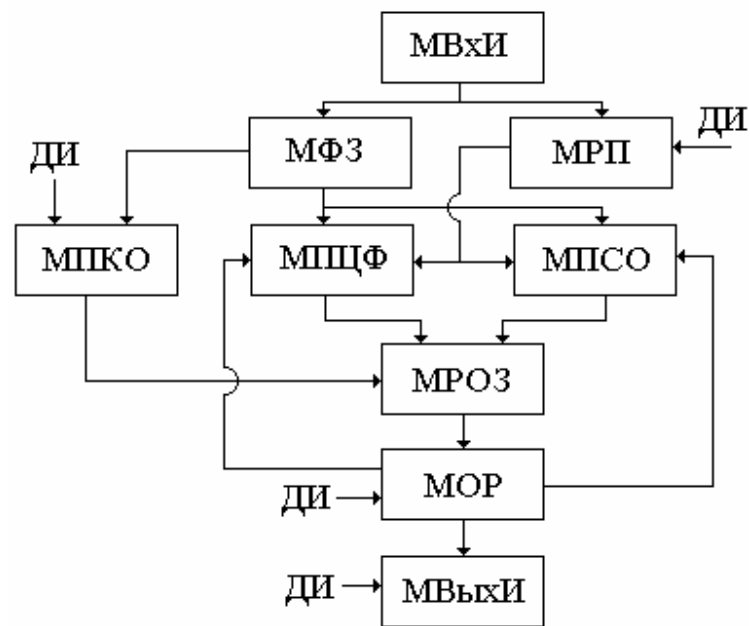


Рис. 4.5. Структурная схема подсистемы оптимизации проектирования ТП

## **ГЛАВА 5**

### **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ КОРПУСНЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И АНСАМБЛЕЙ**

Позаказное промышленное производство сложной корпусной мебели предъявляет повышенные требования к процессам проектирования и изготовления изделий, предполагая при этом использование более гибких схем взаимодействия конечного потребителя мебельной продукции с ее производителем, чем традиционные. Ключевым звеном данных схем является процедура приема индивидуальных заказов на изготовление корпусной мебели, являющаяся неотъемлемой составной частью процесса реинжиниринга прототипных мебельных изделий.

При приеме индивидуальных заказов важную роль играет визуализация (т.е. построение изображения) геометрических моделей мебельных изделий как на ознакомительном этапе – при выборе необходимых прототипных моделей из базы данных, так и на заключительном – при демонстрации заказчикам подготовленных проектов интерьеров помещений. С учетом этого актуальным является поиск новых подходов к решению задачи качественной визуализации геометрических моделей мебели в условиях позаказного проектирования КМИА.

#### **5.1. Понятие геометрического ядра моделирования**

В системах геометрического моделирования, лежащих в основе существующих САПР корпусной мебели, используются различные методы внутреннего и внешнего представления объектов проектирования. Внутреннее представление – математическая модель, описывающая геометрические свойства объекта с той или иной степенью адекватности реальному материальному (физическому) объекту. Внешнее представление – изображение объекта проектирования, отображаемое на экране монитора или выводимое на принтер.

В простейшем случае геометрическая (внутренняя) модель, определяющая форму объекта проектирования, представляется в виде множества линий и конечных точек, описываемых набором уравнений кривых, координат точек и информации о связности кривых и точек. Информация о связности необходима для решения вопроса о принадлежности точек конкретным кривым, а также о пересечении различных кривых друг с другом.

Соответствующая визуальная (внешняя) модель представляет собой каркасный чертеж формы объекта проектирования, основным недостатком которого является неоднозначность ее визуальной интерпретации [122, 127, 128]. Большинство существующих САПР корпусной мебели включают каркасное (*wireframe*) моделирование как простейший и наиболее быстрый способ отображения проектируемых объектов.

Более сложной является геометрическая модель, включающая не только информацию о характеристических линиях и их конечных точках, как в случае каркасного моделирования, но и сведения о формообразующих поверхностях объекта проектирования и их связности. Информация о связности поверхностей включает в себя сведения о кривых, по которым сопрягаются поверхности моделируемого объекта. В ряде случаев эти данные оказываются чрезвычайно полезными, например, при разработке управляющей программы для деревообрабатывающего станка с ЧПУ они помогают решить вопрос о форме траектории перемещения рабочего инструмента с тем, чтобы фреза не задевала поверхности, примыкающие к обрабатываемой. Необходимо отметить, что, если при визуализации поверхностной (*surface*) модели не выполнить закраску и затушевывание образующих ее поверхностей, то объект будет выглядеть почти так, же как и в случае каркасного моделирования.

Наиболее сложной и совершенной является твердотельная (*solid*) модель объекта проектирования, которая, в отличие от каркасной или поверхностной модели, представляет собой некоторый замкнутый объем (моноклит). Математическое описание твердотельной модели объекта проектирования содержит сведения, позволяющие получить любую информацию об объеме объекта и, в частности, о точном местонахождении любой его точки – снаружи, внутри или на границе объекта. В результате становится возможной разработка программ, основывающихся на формировании и использовании сетки конечных элементов объемного типа для модели объекта в целом, а не только для ее поверхностей.

Возможности, обеспечиваемые различными видами моделей с точки зрения конечного пользователя (конструктора, проектировщика), приведены табл. 5.1 [13].

*Таблица 5.1*

*Возможности различных типов геометрических моделей изделий*

<b>Операция</b>	<b>Каркасная модель</b>	<b>Поверхностная модель</b>	<b>Твердотельная модель</b>
Геометрические расчеты (вычисление объема, длины)	Затруднительны или невозможны	Затруднительны или невозможны	Возможны
Генерация видов (перспектива, фасад, вид сбоку)	Для контроля	Для контроля	Возможна
Удаление скрытых частей	Вручную	Возможно (зависит от способа задания поверхности)	Возможно
Разрезы	Для контроля	Для контроля	Возможны (с автоматическим выполнением штриховки)
Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ	Для контроля	Возможна автоматизация	Возможна автоматизация
Размерные цепи, допуски	Для контроля	Возможны	Возможны
Проверка пересечений	Визуальная (с возможностью заключения объектов в параллелепипеды)	Визуальная (не все объемы определены)	Возможна
Возможность изготовления изделия	Не гарантирована	Не гарантирована	Можно (потенциально) проверить возможность изготовления
Измерения	На некоторых видах (например, измерения расстояний между точками)	На некоторых видах (например, измерения расстояний между точками и вычисление площадей)	Все измерения можно (потенциально) выполнять точно

### 5.1.1. Классификация ядер геометрического моделирования

Для осуществления визуализации объекта проектирования в составе САПР, как правило, выделяется графическая подсистема, работа которой основывается на использовании одной или нескольких специальных гра-

фических библиотек, образующих так называемое ядро геометрического моделирования, или короче – геометрическое (графическое) ядро.

Геометрическое ядро – это библиотека математических функций САПР, которая определяет основные геометрические объекты, выполняет команды пользователя, сохраняет результаты моделирования и отображает их на экране монитора.

В настоящее время различают три типа геометрических ядер: лицензируемые, частные и доступные в исходном коде [129]. Лицензируемые геометрические ядра разрабатываются специализированными программными фирмами с целью последующей продажи лицензий на их использование в составе САПР, разрабатываемых другими фирмами. Например, компанией UGS (ранее именовавшейся Unigraphics Solutions) разработано геометрическое ядро Parasolid, которое используется в таких ее системах, как Unigraphics и Solid Edge. Вместе с тем лицензии на использование этого ядра были приобретены и рядом других известных компаний, включая CADMAX Corp. (True Solid/Master), SolidWorks Corp. (SolidWorks) и российскую компанию «Топ Системы» (T-Flex). Другим, не менее известным примером лицензируемого геометрического ядра, является библиотека ACIS 3D Geometric Modeler ([Spatial/Dassault Systemes](#)).

Частные геометрические ядра разрабатываются и поддерживаются разработчиками исключительно для использования в собственных приложениях. Основным преимуществом подобных ядер является более глубокая интеграция их с пользовательским интерфейсом САПР и, как результат, большие возможности управления системой, предоставляемые пользователям. Примерами частных ядер являются: thinkdesign kernel (фирма [think3, Inc.](#)) и VX Overdrive ([Varimetrix Corp.](#)).

Геометрические ядра, доступные в исходном коде, подобны лицензируемым ядрам, поскольку они также разрабатываются и поддерживаются специализированными программными фирмами с целью продажи лицензий на их использование другим компаниям. Отличие состоит в том, что разработчики обеспечивают при этом исходный код ядра, т.е. фирмы, которые имеют группу собственных программистов, получают возможность самостоятельно настраивать ядро, приспособляя его под специфические особенности своей системы. Наиболее известными примерами ядер, доступных в исходном коде, являются Open CASCADE (Matra Datavision) и SMLib ([Solid Modeling Solutions](#)).

В табл. 5.2 дан перечень основных типов ядер, используемых в современных системах геометрического моделирования.



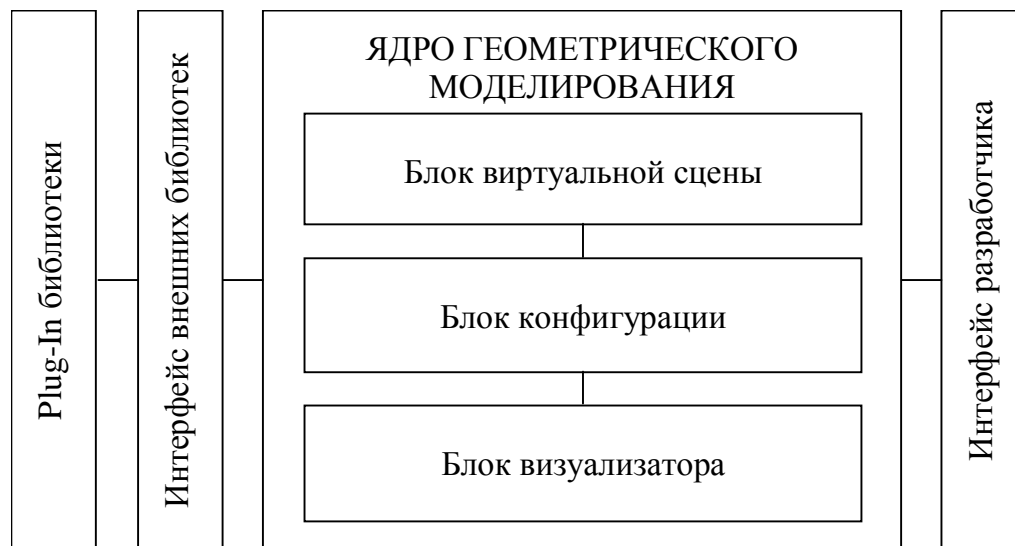
Таблица 5.2

*Основные типы ядер геометрического моделирования*

Ядро	Разработчик	Web-сайт	Тип ядра
ACIS 3D Geometric Modeler	Spatial/Dassault Systemes	<a href="http://www.spatial.com/">http://www.spatial.com/</a>	Лицензируемое
Open CASCADE	Matra Datavision	<a href="http://www.opencascade.org/">http://www.opencascade.org/</a>	Доступно в исходном коде
Parasolid	UGS	<a href="http://www.parasolid.com/">http://www.parasolid.com/</a>	Лицензируемое
SMLib	Solid Modeling Solutions	<a href="http://www.smlib.com/">http://www.smlib.com/</a>	Доступно в исходном коде
thinkdesign kernel	think3, Inc.	<a href="http://www.think3.com/">http://www.think3.com/</a>	Частное
VX Overdrive	Varimetrix Corp.	<a href="http://www.varimetrix.com/">http://www.varimetrix.com/</a>	Частное

**5.1.2. Пример организации ядра геометрического моделирования**

Один из возможных вариантов общей архитектуры ядра геометрического моделирования может быть представлен схемой, показанной на рис. 5.1. Данный вариант предусматривает компонентный подход к задаче построения ядра, предназначенного для использования внешними графическими системами [130].

**Рис. 5.1. Общая архитектура ядра геометрического моделирования**

Взаимодействие геометрического ядра с внешней графической системой (например, конструкторской САПР) осуществляется через интер-

фейс, представленный набором функций, который позволяет разработчику системы управлять объектами ядра и ядром в целом.

Геометрические объекты – основополагающие элементы, определяющие возможности ядра и использующей его графической системы. Имеются различные способы для представления геометрических объектов. Например, для моделирования поверхностных моделей можно использовать относительно простой способ, использующий полигональные модели (поверхностные сетки), и более сложный – на основе параметрических NURBS-поверхностей (*Non-Uniform Rational B-Spline surfaces* – неоднородные рациональные поверхности, определяемые В-сплайнами), являющихся обобщением известных поверхностей: многогранной билинейной поверхности, поверхности Безье, поверхностей второго порядка, рациональных поверхностей [127].

Для представления сплошных тел могут использоваться методы декомпозиции объектов на элементарные составляющие (например, воксельное представление, бинарные и октарные деревья), методы конструктивной геометрии, граничное (поверхностное) представление. Самым простым является граничное представление, определяющее сплошной объект путем указания его вершин, ребер и граней. Необходимое условие для проверки правильности граничного представления геометрического объекта может быть задано с помощью формулы Эйлера [131]:

$$V - E + F - H = 2 \cdot (C - G),$$

где  $V$  – количество вершин;

$E$  – количество ребер;

$F$  – количество граней;

$C$  – количество компонентов;

$H$  – количество несквозных (глухих) отверстий;

$G$  – количество сквозных отверстий.

Блок виртуальной сцены, входящий в состав ядра геометрического моделирования, содержит информацию обо всех используемых объектах сцены, а также обеспечивает управление этими объектами и сценой (например, перемещение, вращение и масштабирование объектов). Сама сцена – это иерархия узлов, которые представляют объекты – основные и вспомогательные (коннекторы, использующиеся для построения сложных геометрических систем; камеры или источники – для визуализации). Для узлов определены такие операции, как добавление узла в иерархию и удаление узла из иерархии. Математический аппарат блока виртуальной сцены базируется на матричных операциях. С каждым узлом сцены ассоциирует-

ся матрица, которая задает положение и ориентацию объекта в сцене или относительно родительского элемента.

Блок конфигурации содержит информацию об окнах, различных настройках и параметрах специальных визуальных эффектов, а также выполняет подготовительные действия перед выполнением визуализации сцены, например, распределение объектов сцены по слоям в зависимости от их прозрачности. Затем эти слои последовательно подаются на вход блока визуализатора. Распределение объектов по слоям выполняется с целью оптимизации процесса визуализации, поскольку иначе пришлось бы осуществлять отображение в несколько проходов.

Блок визуализатора, представляя конечное звено в структуре ядра геометрического моделирования, является необязательным в том смысле, что фактически работа ядра может происходить и без него, т.е. результат моделирования может быть сохранен в файле на диске, а не отображен на экране монитора. Встраивание блока визуализатора в состав ядра позволяет снизить трудоемкость разработки графической подсистемы САПР. Блок визуализатора может настраиваться на определенные графические стандарты, например, OpenGL или DirectX (см. ниже).

Блок внешних (plug-in) библиотек, обеспечивающий определенную гибкость ядра, включает в себя:

- библиотеку стандартных примитивов (например, сфера, параллелепипед, конус, призма, пирамида, цилиндр);
- библиотеку расширенных примитивов (например, полый цилиндр, тор, усеченный конус и другие);
- библиотеку динамических примитивов (объекты, получаемые методом кинематического вращения кривой вокруг некоторой оси или методом протягивания кривой вдоль некоторой направляющей);
- библиотеку составных объектов (создание объектов с помощью использования булевских операций объединения, пересечения и вычитания);
- библиотеку внешних форматов файлов;
- библиотеку пользовательских примитивов.

Интерфейс между внешними библиотеками и ядром, во-первых, обеспечивает легкое подключение библиотек, расширяющих функциональность ядра, не оказывая при этом влияния на функционирование самого ядра; во-вторых, предоставляет ядру информацию о количестве, именах и параметрах функций, содержащихся в подключаемых библиотеках. При вызове какой-либо функции из внешней графической системы ядро сможет таким образом отыскать ее в соответствующей библиотеке.

Интерфейс разработчика, обеспечивающий взаимодействие ядра с внешней графической системой, можно подразделить на следующие группы функций:

- инициализация ядра и визуализатора;
- управление конфигурацией ядра;
- управление сценой и объектами.

Инициализация ядра предполагает загрузку необходимых библиотек, инициализацию сцены и конфигурацию ядра. При управлении конфигурацией ядра выполняется настройка пользовательских окон визуализации, создание специальных эффектов сцены (таких, например, как туман), вывод на экран специальных вспомогательных средств (например, сетка, оси координат и другие). Управление объектами включает в себя такие операции, как перемещение, вращение и масштабирование объектов, добавление объектов в иерархию сцены и удаление из нее, а также функции, которые предоставляют внешние библиотеки.

Таким образом, описанный выше подход, основывающийся на компонентной технологии разработки программного обеспечения, позволяет создавать компактное, хорошо управляемое, расширяемое ядро геометрического моделирования. Подобное ядро может использоваться в качестве основы для построения графической подсистемы любой конструкторской САПР.

### **5.1.3. Стандартные графические библиотеки**

Ряд геометрических ядер, рассмотренных выше, используют в качестве своей основной платформы низкоуровневые графические стандарты, наибольшую известность среди которых получили OpenGL и DirectX.

#### **Графический стандарт OpenGL**

Графический стандарт OpenGL (*Open Graphic Library* – открытая графическая библиотека) – программный интерфейс, предоставляющий доступ к графическим устройствам и спроектированный так, чтобы быть одновременно максимально независимым и от специфики операционной системы, и от особенностей аппаратных операций. Этот интерфейс обеспечивает возможности для задания двух- и трехмерных графических объектов вместе с командами, которые управляют отображением этих объектов. Библиотека OpenGL не содержит высокоуровневых команд для описания сложных трехмерных объектов; вместо этого она обеспечивает набор геометрических примитивов – точек, линий и различных многоугольников

(полигонов), которые в сочетании друг с другом позволяют строить более сложные модели [132].

Разработчиком библиотеки OpenGL является фирма Silicon Graphics Inc. (США). Первая версия OpenGL была представлена в 1992 г., и с тех пор эта графическая библиотека получила широкое распространение, фактически став индустриальным стандартом для различных типов компьютеров и операционных систем. Предшественницей OpenGL была аппаратно независимая графическая библиотека IRIS GL, также разработанная Silicon Graphics, позволившая практически опробовать многие идеи, касающиеся трехмерной графики. В том же 1992 г. был образован консорциум, получивший название OpenGL Architectural Review Board (ARB), на который была возложена задача лицензирования и управления дальнейшим развитием OpenGL. В состав консорциума входит ряд всемирно известных компаний, среди которых Hewlett-Packard, IBM, Intel, Microsoft, Silicon Graphics и другие.

В настоящее время графический стандарт OpenGL получил широкое распространение благодаря его следующим характерным особенностям [133]:

**Стабильность.** Дополнения и изменения в OpenGL реализуются таким образом, чтобы сохранить совместимость с разработанными приложениями.

**Надежность и переносимость.** Приложения, использующие OpenGL, гарантируют одинаковый визуальный результат вне зависимости от типа используемой операционной системы и организации отображения информации. Кроме того, эти приложения могут выполняться на разнотипных вычислительных системах, начиная с персональных компьютеров и заканчивая суперкомпьютерами.

**Легкость применения.** Стандарт OpenGL имеет продуманную структуру и интуитивно понятный интерфейс, что позволяет создавать более эффективные приложения, чем с использованием других графических библиотек.

Графический стандарт OpenGL реализован в виде набора библиотек с низкоуровневым ядром, представленным основной библиотекой (GL), включающей около 200 команд. Еще более 50 команд содержится в библиотеке OpenGL Utility Library (GLU), предназначенной для моделирования кривых и поверхностей и включающей ряд специальных инструментов, таких как вычислители и NURBS. Необходимо отметить, что библиотека GLU является стандартной составляющей любой реализации OpenGL [134].

Все функции основной библиотеки GL графического стандарта OpenGL можно разделить на следующие пять категорий [133]:

**Функции описания примитивов**, определяющие низкоуровневые графические объекты (примитивы), которые способна отображать графическая подсистема (например, точки, линии, многоугольники и другие).

**Функции описания источников света**, служащие для описания положения и параметров источников света, которые расположены в трехмерной сцене.

**Функции задания атрибутов**, определяющие вид внешнего представления объектов, отображаемых на экране (в качестве атрибутов OpenGL позволяет задавать цвет, характеристики материала, текстуры, параметры освещения).

**Функции визуализации**, позволяющие задать положение наблюдателя в виртуальном пространстве, параметры объектива камеры. Знание этих параметров позволяет системе правильно построить изображение и отсеять объекты, оказавшиеся вне поля зрения.

**Функции геометрических преобразований**, позволяющие выполнять различные преобразования объектов – поворот, перенос, масштабирование.

В дополнение к основной библиотеке GL графический стандарт OpenGL обеспечивает несколько дополнительных библиотек – GLU, GLUT, GLX и некоторые другие. Упомянутая выше библиотека утилит (GLU), основываясь на низкоуровневой библиотеке GL, реализует набор более сложных геометрических примитивов (куб, шар, цилиндр, диск и другие), функции построения сплайнов, дополнительные операции над матрицами и т.д.

Графический стандарт OpenGL, являясь независимым от программно-аппаратной платформы, не содержит каких-либо специальных команд, обеспечивающих работу с окнами вывода или ввод информации от пользователя (например, обработку событий клавиатуры или мыши). Для этой цели дополнительно созданы специальные библиотеки, среди которых необходимо отметить библиотеку GLUT (GL Utility Toolkit), разработанную М. Килгардом<sup>5</sup>. Данная библиотека представляет набор функций, реализующих команды для управления окнами и обработки пользовательского ввода, выполнения ряда сервисных операций и создания некоторых более сложных геометрических объектов, чем обеспечиваемые в OpenGL примитивы.

Для обеспечения поддержки OpenGL со стороны различных оконных операционных систем разработан ряд системно-ориентированных расши-

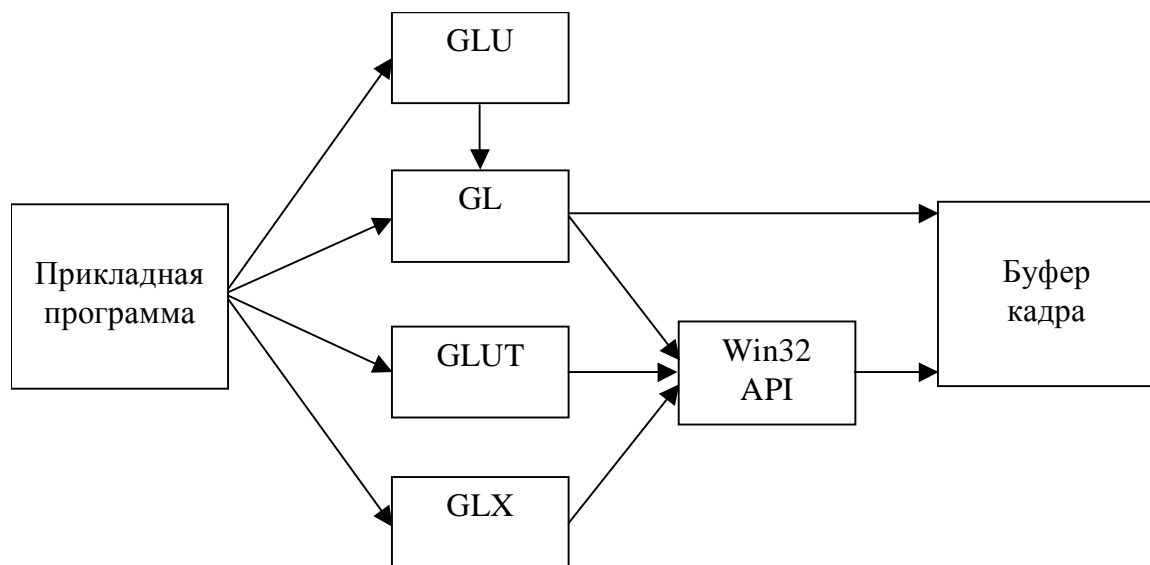
---

<sup>5</sup> Описание и исходный код библиотеки GLUT можно найти в Internet по следующему адресу: <http://www.opengl.org/resources/libraries/glut/>. Описания и исходный код для некоторых альтернативных библиотек, дополняющих и в ряде случаев заменяющих GLUT, можно найти по адресу: <http://www.opengl.org/resources/libraries/windowtoolkits/>.

рений: GLX (X Window System), AGL (Apple Macintosh), PGL (IBM OS/2 Warp), WGL (Microsoft Windows 95/98/NT/ME/2000/XP).

Кроме того, функции, специфичные для конкретной оконной подсистемы, обычно входят в ее прикладной программный интерфейс. Подобные функции, поддерживающие выполнение OpenGL, есть в составе Win32 API и X Window. Общая организация системы графических библиотек OpenGL, применительно к использованию в среде операционной системы Windows, показана на рис. 5.2.

Функциональная модель графической системы OpenGL разработана в соответствии с концепцией «клиент-сервер». Приложение, выступающее в роли клиента, вырабатывает команды, которые сервер OpenGL интерпретирует и выполняет. При этом сервер может находиться как на том же компьютере, что и клиент (например, в виде динамически загружаемой библиотеки – DLL), так и на другом (с возможностью использования специального протокола обмена данными).



**Рис. 5.2. Общая организация графического стандарта OpenGL**

Библиотека GL обрабатывает и рисует в буфере кадра графические примитивы (точки, отрезки, многоугольники и т.д.) с учетом некоторого числа выбранных режимов, каждый из которых может быть изменен независимо. Определение примитивов, выбор режимов и другие операции описываются с помощью команд, представляющих собой вызовы функций прикладной библиотеки.

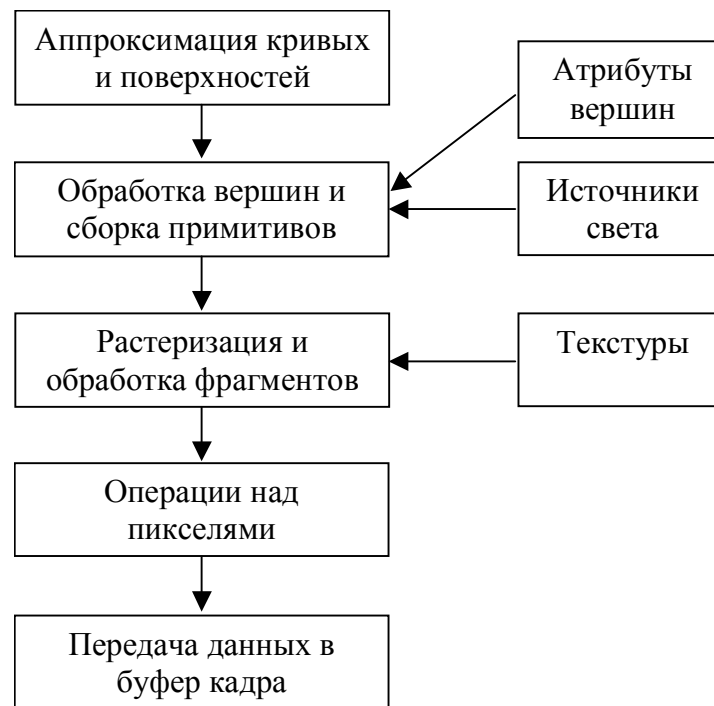
Примитивы определяются набором из одной или более вершин. Вершина определяет точку, конец отрезка или угол многоугольника. С каждой вершиной ассоциируются некоторые атрибуты (координаты, цвет, нормаль,

текстурные координаты и т.д.), представляемые определенными данными. В большинстве случаев обработка каждой вершины выполняется независимо.

С архитектурной точки зрения OpenGL образует конвейер, состоящий из нескольких последовательных этапов обработки графических данных (рис. 5.3).

С программной точки зрения, система OpenGL – это набор команд, предназначенных для управления графическими устройствами. Если устройство обеспечивает только адресуемый буфер кадра, то OpenGL должна быть реализована полностью с использованием ресурсов центрального процессора. Обычно графические устройства предоставляют различные уровни ускорения: от аппаратной реализации вывода линий и многоугольников до изолированных графических процессоров с поддержкой различных операций над геометрическими данными.

Кроме того, OpenGL можно рассматривать как конечный автомат, состояние которого определяется множеством значений специальных переменных и значениями текущей нормали, цвета, координат текстуры и других атрибутов и признаков. Вся эта информация будет использована при поступлении в графическую систему координат вершины для построения фигуры, в которую эта вершина входит. Смена состояний происходит с помощью команд, которые в программе представляются как вызовы функций [133].



*Рис. 5.3. Конвейер обработки данных графической системы OpenGL*



Графическая система OpenGL используется в качестве низкоуровневого графического ядра в системах трехмерного геометрического моделирования и проектирования, программах качественной визуализации геометрических объектов, мультимедийных и игровых программах. Список наиболее известных разработок, основанных на OpenGL, представлен в Internet по следующему адресу: <http://www.opengl.org/products/>. Библиотека OpenGL часто непосредственно или опосредствовано используется в конструкторских САПР и, в частности, в САПР корпусной мебели (например, в известной отечественной системе «БАЗИС» версии 7.0, рассмотренной в главе 1).

### **Графический стандарт DirectX**

Система DirectX разработана корпорацией Microsoft для использования с семейством операционных систем Windows. Она представляет собой набор функций API низкого уровня, которые позволяют разрабатывать высокопроизводительные графические и мультимедийные приложения и базируются на компонентной технологии (COM – Component Object Model).

Технология COM предназначена для разработки программных компонентов – двоичных исполняемых файлов (DLL и EXE), которые предоставляют необходимые сервисы приложениям, операционной системе, другим компонентам [135]. Преимущества использования компонентов обуславливаются их способностью подключаться к приложению и отключаться от него во время выполнения, без перекомпиляции и перекомпоновки приложения.

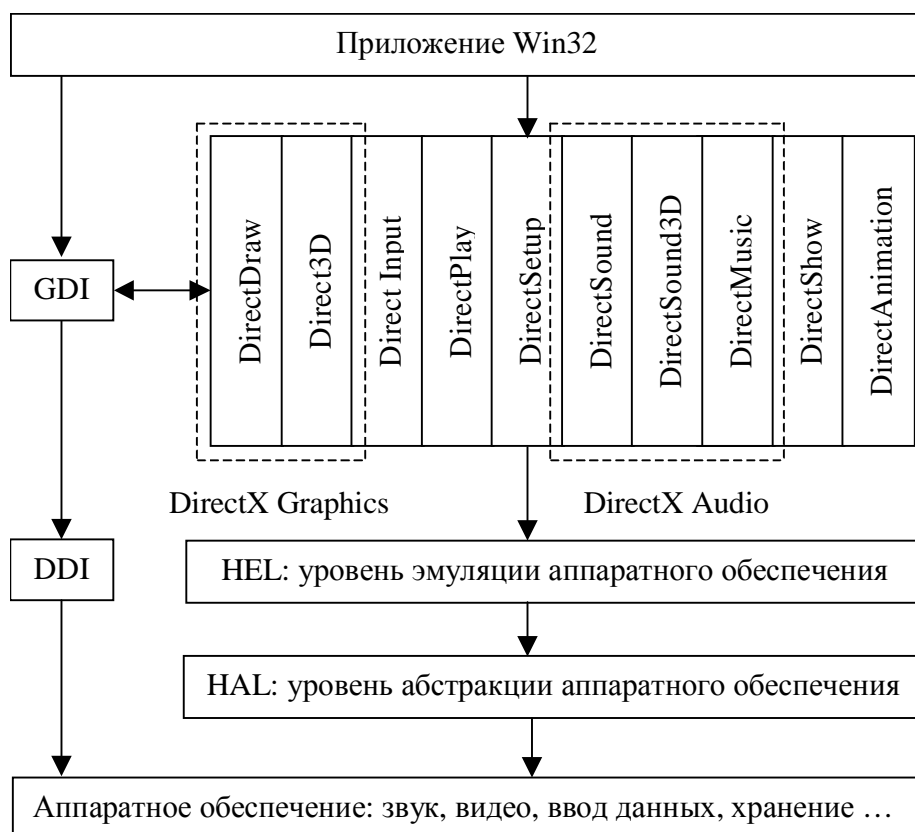
По времени появление первой версии DirectX совпадает с выходом операционной системы Windows 95 OSR2 (1996 г.). Помимо поддержки игровых и мультимедийных программ, система DirectX глубоко интегрирована в Windows для обеспечения ее внутренних нужд, включая поддержку графического интерфейса пользователя (GUI). С тех пор каждая новая версия Windows, как правило, поставляется с соответствующей версией DirectX и, кроме того, предусмотрена возможность установки новых версий DirectX в ранее выпущенных версиях Windows. В частности, выход DirectX версии 10 связывают с появлением новой операционной системы Microsoft Windows Vista.

Система DirectX содержит следующие компоненты [136, 137]:

- DirectX Graphics, объединяющий в себе возможности двух компонентов для работы с 2D- и 3D-графикой – DirectDraw и Direct3D, ранее существовавших независимо (до DirectX 8.0);

- DirectX Audio, объединяющий в себе компоненты DirectSound, DirectSound3D и DirectMusic и обеспечивающий работу с оцифрованными звуковыми потоками;
- DirectInput, использующийся для работы с различными устройствами ввода – клавиатурой, мышью, джойстиком и другими;
- DirectAnimation, предназначенный для создания анимационных эффектов;
- DirectShow, обеспечивающий захват и воспроизведение потоков мультимедиа-информации (сжатых аудио- и видеоданных);
- DirectPlay, позволяющий разрабатывать многопользовательские приложения, например, многопользовательские игры;
- DirectSetup, содержащий простой набор функций API, позволяющих устанавливать компоненты DirectX одним вызовом.

Архитектура системы DirectX, а также ее интерфейс с программным и аппаратным обеспечением компьютера, управляемого Windows, представлены на рис. 5.4.



**Рис. 5.4. Архитектура графической системы DirectX**

Приложения, разработанные с использованием Win32 API, могут взаимодействовать с аппаратным обеспечением компьютера либо с использованием интерфейса графических устройств (GDI) и интерфейса драйверов устройств (Windows DDI), либо с использованием системы DirectX. Второй способ более предпочтителен, поскольку предоставляет более высокий уровень абстрагирования, обеспечивая независимость программного кода от конкретной аппаратной конфигурации компьютера. При этом работа DirectX основывается на использовании следующих двух уровней:

- HAL (Hardware Abstraction Layer – уровень абстракции аппаратного обеспечения);
- HEL (Hardware Emulation Layer – уровень эмуляции аппаратного обеспечения).

Уровень HAL непосредственно взаимодействует с техническими средствами компьютера, используя для этой цели соответствующие драйверы устройств, а уровень HEL выполняет программную эмуляцию тех аппаратных функций, которые не поддерживаются HAL.

#### **5.1.4. Язык моделирования виртуальной реальности и программные средства его поддержки**

Одним из перспективных подходов к визуализации трехмерных объектов и сцен, получающих все более широкое распространение, является использование языка моделирования виртуальной реальности VRML (Virtual Reality Modeling Language) [138], а также его функционального расширения – языка X3D. Первая версия языка VRML была разработана в середине 1990-х гг., затем, спустя некоторое время, появилась его вторая версия и, наконец, в 1997 г. был принят международный стандарт VRML97 [139]. Проект стандарта был подготовлен Объединенным техническим комитетом (JTC1), созданным Международной организацией по стандартам (ISO) и Международной электротехнической комиссией (IEC), в сотрудничестве с образованным в 1996 г. Консорциумом VRML, в состав которого вошли более 35 известных компаний (Apple Computer, IBM, Intel, Microsoft, Oracle и другие).

Язык X3D (англ. eXtensible 3D – расширяемый 3D) впервые был представлен широкой научной общественности в феврале 2002 г. в США на VII международной конференции «3D Web Technology». Вскоре на основе Консорциума VRML был создан новый консорциум – Web3D Consortium, членами которого являются известные промышленные фирмы и исследовательские организации США; его основная задача – продвижение новой технологии трехмерной графики, ориентированной на использование

в среде Internet. Для языка X3D разработана группа международных стандартов ISO/IEC FCD 19775:200х, в которых определены его функциональное назначение и область применения, синтаксис и семантика, а также форматы кодирования данных и интерфейс с другими языками программирования [140].

Основными преимуществами языка X3D по сравнению с языком VRML являются компонентная (модульная) архитектура, компактность и более тесная интеграция с другими современными технологиями и стандартами, в частности, с XML, DOM и SVG. В составе X3D выделены самостоятельные модули, отвечающие за геометрическое моделирование, анимацию и обмен внутренней информацией (модуль Interchange), взаимодействие с пользователями (Interactive) и доступ к внешним источникам данным (Extensibility). Как и в случае VRML, в реализации языка X3D используется технология «клиент-сервер», однако при этом минимальный размер ее клиентской части составляет всего 300 Кбайт, тогда как для реализации VRML – 2,5 Мбайта.

## **Язык VRML**

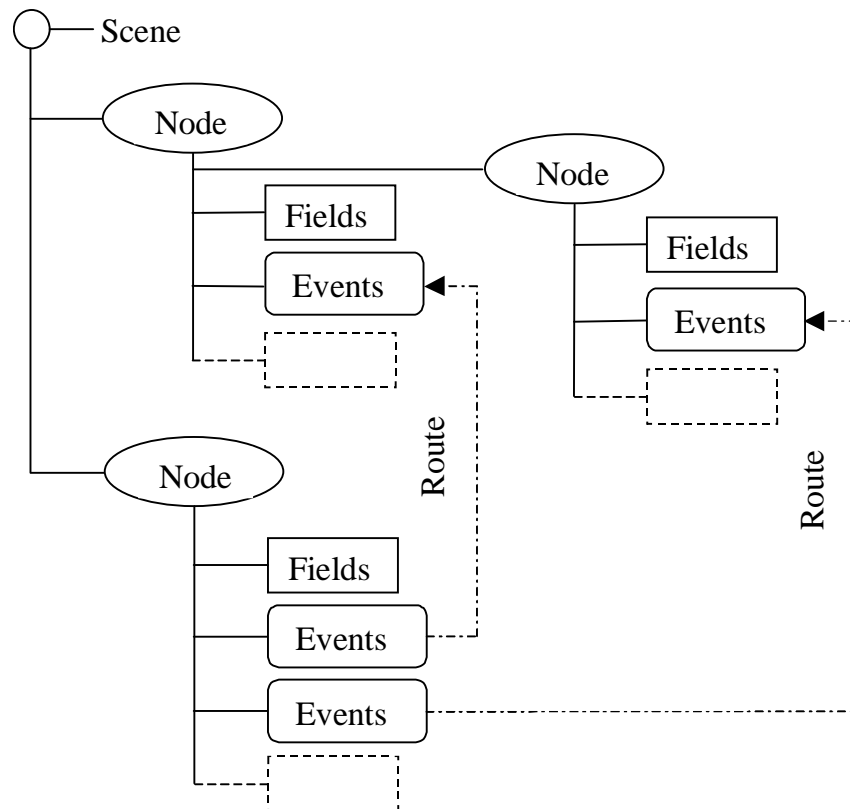
**VRML** – язык интерпретируемого типа, т.е. для его обработки (активизации) необходимо использовать специальную программу – VRML-браузер (VRML browser). Существует ряд подобных программ, разработанных различными фирмами: Cortona VRML Client, CosmoPlayer, VRML Viewer, World View и другие. Часто VRML-браузер конфигурируют с установленным в системе HTML-браузером, например Microsoft Internet Explorer или Netscape Navigator, обеспечивая, тем самым, легкий переход от просмотра HTML-документов к просмотру VRML-сцен.

Для подготовки VRML-файла может быть использован любой текстовый редактор или специальный VRML-редактор, обеспечивающий множество дополнительных возможностей (например, Cosmo Worlds 2.0, Internet Space Builder 3, RenderSoft VRML Editor и другие). Кроме того, имеется ряд программ, осуществляющих экспорт графической информации в VRML (такая возможность реализована в графических редакторах 3D Studio Max и Corel DRAW, а также в ряде конструкторских САПР, например, в отечественной системе bCAD, рассмотренной в главе 1). Дополнительно могут использоваться программы, выполняющие оптимизацию полученного в результате экспорта VRML-файла.

VRML – объектно-ориентированный язык, использующий в качестве объектов так называемые узлы (nodes). Иерархическая структура узлов образует ориентированный ациклический граф, называемый графом сцены

(scene graph), который определяет последовательность прорисовки и за-  
 краски объектов, образующих сцену, или мир (по терминологии VRML).  
 Узлы, находящиеся на нижних уровнях иерархии, могут наследовать свой-  
 ства узлов более высоких уровней. Для отмены наследования свойств пре-  
 дыдущих узлов в VRML используется специальный узел – разделитель  
 (Separator).

Узлы VRML могут генерировать события, которые обрабатываются  
 другими узлами. Кроме того, события могут генерироваться в ответ на дей-  
 ствия пользователя, что наделяет язык VRML свойством интерактивности.  
 Порядок обработки события узлами определяется графом маршрутизации  
 событий (рис. 5.5).



**Рис. 5.5. Структурная схема интерактивной сцены**

Для построения трехмерных изображений в языке VRML использу-  
 ются базовые фигуры (примитивы), представленные следующими узлами  
 простой геометрии (simply geometry nodes): Box – параллелепипед, Sphere  
 – сфера, Cylinder – цилиндр, Cone – конус. Хотя имеются всего лишь четы-  
 ре геометрических примитива, их комбинации позволяют строить доста-  
 точно сложные трехмерные изображения. Кроме того, для построения осо-

бо сложных объектов можно использовать узлы генерации точек (PointSet), линий (IndexedLineSet) и граней (IndexedFaceSet) по заданному набору координат.

Некоторые узлы языка VRML, такие как Material, ImageTexture, PixelTexture и другие, определяют свойства закраски и наложения текстуры на поверхность графических образов. При этом сама текстура может быть представлена в графическом файле одного из следующих форматов: JPEG, PNG (Portable Network Graphics), GIF, BMP и некоторых других (количество поддерживаемых форматов зависит от используемого VRML-браузера). Кроме того, текстура может быть задана в файле формата MPEG (MovieTexture), а также смоделирована непосредственно в исходном описании на языке VRML (PixelTexture).

Ряд узлов языка VRML определяет модель освещения сцены, т.е. тип и местонахождение источников света: DirectionalLight (направленный параллельный свет), PointLight (точечный источник света), SpotLight (направленный расходящийся свет).

При построении VRML-сцен используется декартова система координат, при этом ось абсцисс направлена вправо, ось ординат – вверх, ось аппликат – перпендикулярно поверхности экрана в сторону наблюдателя (пользователя). Линейные размеры измеряются в метрах, угловые размеры – в радианах, интервалы времени – в секундах. Представление цвета осуществляется в соответствии со схемой RGB, как и в языке HTML. Согласно этой схеме, каждый цвет представляется как комбинация красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue) компонентов, т.е. в виде (r, g, b). Например, ярко-красный цвет представляется комбинацией значений (1, 0, 0), белый – (1, 1, 1), черный – (0, 0, 0), серый – (0.5, 0.5, 0.5).

Перемещение наблюдателя по созданной сцене (виртуальному миру) и взаимодействие с ее объектами обеспечивается с помощью средств VRML-браузера. Например, в браузере Cortona VRML Client 5.1 фирмы ParallelGraphics (<http://www.paragraph.ru>) наблюдателю предоставляется несколько режимов перемещения, включая такие как «прогулка пешком, или обход» (WALK), «полет» (FLY), «исследование» (STUDY). Кроме того, каждый режим может комбинироваться с тем или иным модификатором (PLAN, PAN, TURN, ROLL), что позволяет определить способ движения камеры и ее ориентацию (табл. 5.3).

Для некоторых из объектов, образующих сцену, разработчик может предусмотреть то или иное поведение, снабдив их соответствующими сенсорами (датчиками). При попадании на сенсор курсор мыши видоизменяет свою форму, указывая тем самым на возможность взаимодействия с объек-

том. Например, в браузере Cortona VRML Client различают следующие виды сенсоров:

- Touch Sensor – датчик касания (эффект определяется автором сцены);
- Anchor – якорь (гиперссылка, обеспечивающая переход по щелчку мыши к другому объекту, сцене или HTML-документу);
- Cylinder Sensor – цилиндрический датчик (преобразует движение мыши при нажатой левой кнопке во вращение объекта вокруг своей оси);
- Sphere Sensor – сферический датчик (преобразует движение мыши при нажатой левой кнопке в свободное вращение объекта);
- Plane Sensor – плоский датчик (преобразует движение мыши при нажатой левой кнопке в перемещение объекта).

Таблица 5.3

*Режимы и модификаторы режимов браузера Cortona VRML*

Режим	Модификатор режима			
	PLAN	PAN	TURN	ROLL
<b>WALK</b>	Движение в горизонтальной плоскости	Движение налево или направо в горизонтальной плоскости	Изменение угла камеры, под которым она смотрит на мир	—
<b>FLY</b>	Движение налево и направо	Движение вверх, вниз, направо или налево в вертикальной плоскости	Поворот камеры	Наклон камеры
<b>STUDY</b>	Исследование объекта под разными углами	—	Исследование объекта под разными углами	Наклон камеры

## Язык X3D

**Язык X3D**, появившийся в результате достаточно короткого, но интенсивного развития VRML, имеет богатый набор средств для поддержки таких областей применения, как инженерная и научная визуализация, мультимедийные презентации, развлекательные и обучающие игры, WEB-страницы и разделяемые виртуальные миры. Он обеспечивает следующие основные возможности:

- *трехмерная (3D) графика*: полигональная и параметрическая геометрия, иерархические трансформации, освещение, материалы и наложение текстур (многопроходное, многоэтапное);

- **двумерная (2D) графика:** текст, двумерные векторные и плоские фигуры, отображаемые в рамках иерархии трехмерных преобразований;
- **анимация:** таймеры и интерполяторы для выполнения непрерывной анимации, человекоподобная анимация и морфинг (специальный эффект, заключающийся в слиянии нескольких изображений или преобразовании одного изображения в другое с сохранением некоторых основных параметров);
- **пространственное аудио и видео:** аудиовизуальные источники, отображаемые на геометрию в сцене;
- **взаимодействие с пользователем:** стандартные манипуляции с мышью, ввод с клавиатуры;
- **навигация:** камеры, перемещение пользователя внутри трехмерной сцены, проверка на пересечение, удаленность и видимость объектов;
- **объекты, определяемые пользователем:** возможность расширения встроенной функциональности браузера путем создания «пользовательских» типов данных;
- **создание сценариев:** способность динамического изменения сцены посредством языков программирования и языков для разработки сценариев;
- **сетевая поддержка:** способность формировать отдельную X3D-сцену из объектов, распределенных в сети, и осуществлять гиперссылки на объекты в других сценах, размещенных в Internet;
- **моделирование физических объектов:** человекоподобная анимация, геопространственные наборы данных, интеграция с протоколами распределенного интерактивного моделирования (Distributed Interactive Simulation – DIS).

### **Использование языка VRML (X3D) для визуализации проектных решений дизайнера интерьеров**

Перечисленные выше свойства языка VRML (X3D) позволяют сделать вывод о возможности использования его в качестве подходящего средства для визуализации проектных решений дизайнера интерьеров. Естественно, непосредственная запись проектных данных на языке VRML затруднительна. Более приемлемым вариантом является предварительная подготовка проекта с помощью соответствующего графического пакета программ (например, 3D Studio Max), экспорт проектной информации в



VRML (с помощью 3D Studio Max VRML 2.0 exporter), проверка и оптимизация полученного описания, последующая визуализация с помощью одного из VRML-браузеров.

В частности, предлагается следующий подход к автоматизации проектирования интерьеров помещений, основанный на использовании параметризованной библиотеки прототипных моделей изделий [83–85].

Вначале создаются 2D-проекции интерьера (план и фронтальный вид) с помощью специально разработанной программы WinGRAF, позволяющей выполнить точную масштабную привязку помещения и устанавливаемых в нем изделий. Причем проекция фронтального вида формируется автоматически на основе данных, полученных при создании плана. К таким данным относятся: линейные размеры проектируемого помещения (для плана важны, прежде всего, длина и ширина), количество и местоположение на плане окон и дверей и их размеры, а также зон, недоступных для размещения мебели. Недоступная зона может представлять собой выступ в стене или колонну, а совокупность связанных зон (цепочка) позволяет построить помещение достаточно сложной конфигурации.

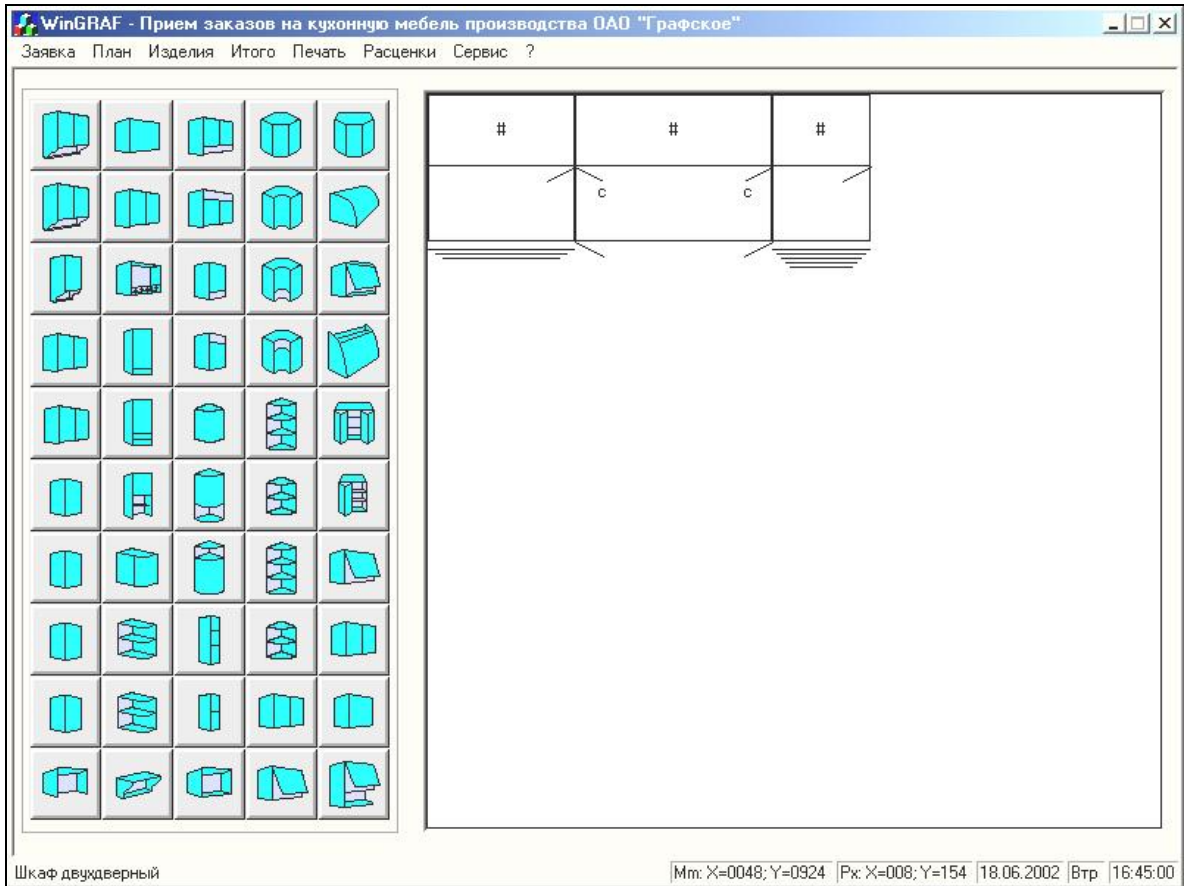
Затем выполняется выбор моделей изделий из библиотеки и расстановка их условных графических изображений на плане (рис. 5.6). При этом учитывается пропорциональность устанавливаемых изделий и осуществляется контроль перекрытия, т.е. попадания контура изделия в недоступную зону или на контур другого однотипного (навесного или напольного) изделия, а также выход за пределы периметра помещения.

Одновременно с выбором изделия можно осуществить параметрическую настройку его размеров (высоты, ширины, глубины), задать некоторые конструктивные особенности изделия (например, свесы столешницы или карниза) и типы облицовочных материалов, установить чашу мойки, встроенную технику и т.д.

В результате формируется информация, необходимая для работы генератора VRML-описания. В настоящее время используется следующий упрощенный формат записи информации об изделии:

$$< id > < x \ y \ z > < h \ w \ d > < x1 \ y1 \ z1 > < a > < url1 > < url2 > .$$

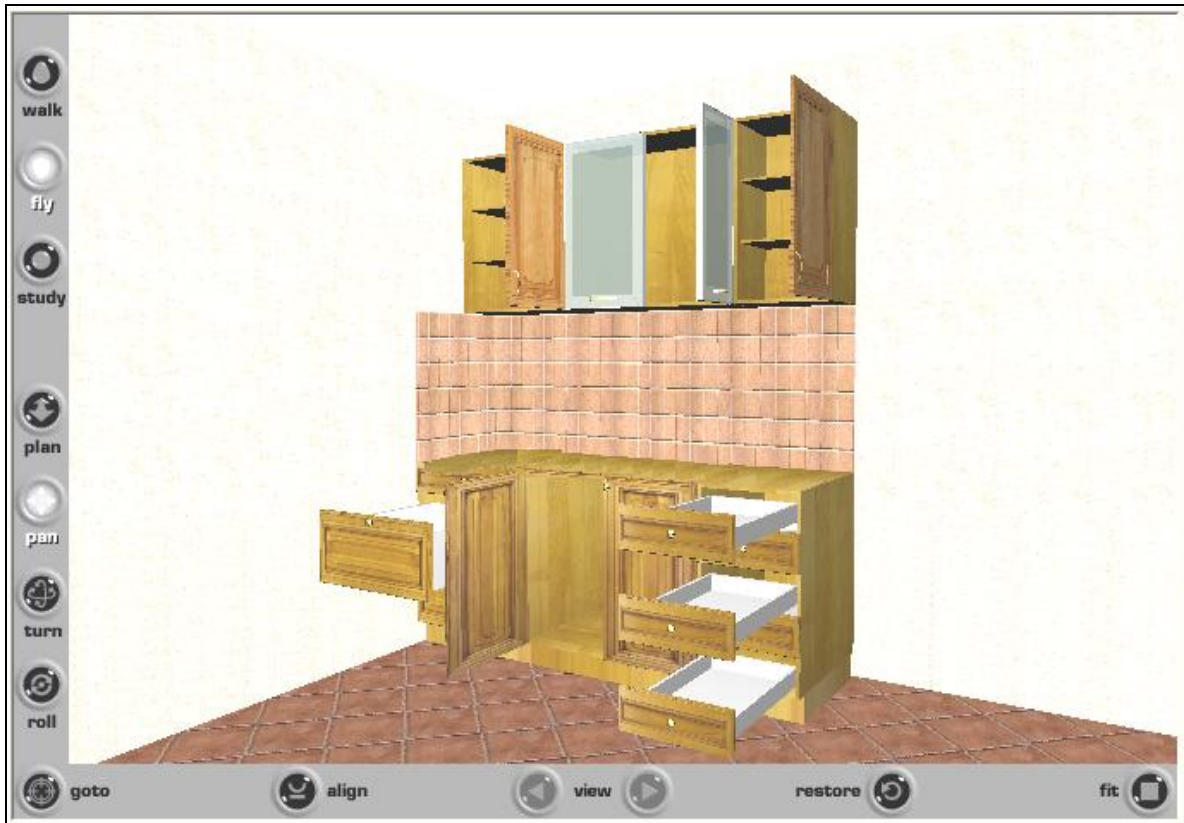
При работе генератора выполняются следующие основные действия: определяются размеры параллелепипеда, ограничивающего совокупность объектов в заданном *wrl*-файле, (*BoundingBoxSize*) и вычисляется вектор масштабирования найденного параллелепипеда для заданных линейных размеров изделия (*h*, *w*, *d*), осуществляется изменение текстуры объекта (*url2*) и внедрение *wrl*-объекта в заданное место, определяемое координатами (*x*, *y*, *z*) генерируемой сцены. В заключение формируется *wrl*-файл с описанием моделируемого интерьера помещения.



**Рис. 5.6. План размещения мебельных изделий на кухне заказчика**

Полученный *wrl*-файл может быть открыт с помощью одного из VRML-браузеров для просмотра и анализа выработанного проектного решения (рис. 5.7). В сочетании с файлами 2D-проекций *wrl*-файл может использоваться в составе электронной документации проекта интерьера.

Описанный выше подход к построению трехмерных моделей интерьеров помещений отличается от решений, реализованных в известных системах твердотельного моделирования и основанных на использовании стандартных библиотек 3D-графики. В частности, следует отметить возможность показа спроектированного интерьера с различных точек обзора (под разным ракурсом), предоставления средств демонстрации в динамике функциональности различных изделий интерьера (например, щелчком кнопки мыши можно распахнуть дверцы стола, выдвинуть ящик, включить настольную лампу или верхний свет и так далее). Все это выгодно отличает интерактивную, динамическую VRML-сцену от традиционного представления интерьера помещения, которое обеспечивается большинством современных специализированных САПР мебели.



*Рис. 5.7. Виртуальный набор кухонной мебели, отображаемый с помощью браузера Cortona VRML Client 5.1*

## **5.2. Внешняя модель высокоуровневого представления КМИА**

Как было отмечено в предыдущих главах, одним из основных положений концепции БОПП, определяющей методологический подход к организации позаказного промышленного производства КМИА, является перенос «центра тяжести» решения проектных задач с этапа рабочего проектирования на этап эскизного проектирования (инжиниринга), в ходе выполнения которого формируется прототипная модель, являющаяся высокоуровневым представлением проектируемого КМИА.

Основой для построения внешней (оболочечной) модели КМИА, использующейся для визуализации разрабатываемых мебельных конструкций, является прототипная модель, или сокращенно прототип. Прототип – это шаблон, предназначенный для формирования новых проектов однотипных (родственных) изделий. У прототипного изделия можно выделить ряд свойств, которые в процессе разработки нового проекта остаются неизмен-

ными (например, форма изделия) или изменяются (например, цветовая гамма, текстура и фактура облицовки, элементы декоративной фурнитуры).

Анализ основных свойств прототипной модели КМИА можно выполнять с использованием следующих аспектных представлений проекта:

- *функция* (набор функциональных свойств изделия);
- *конструкция* (конструктивные особенности изделия, в том числе реализующие заданный набор функций);
- *материал* (состав конструкционных материалов, обеспечивающих заданные параметры конструкции);
- *технология* (совокупность технологических способов и приемов, позволяющая реализовать конструкцию с заданными функциональными свойствами).

В рамках представленных аспектов выделяют *геометрические, физические* и *архитектурно-художественные* свойства мебельной конструкции. Последние могут быть рассмотрены в рамках понятия *композиция*, под которой понимают структуру, отражающую взаимосвязь элементов объекта и определяющую его смысл, служащую для выражения замысла дизайнера. С данным понятием связан ряд следующих свойств: *тектоника, единство, соподчинение, масштабность, пропорция, ритм, нюанс* и *контраст*, которые сложно систематизировать, но все они используются дизайнером для достижения желаемого композиционного результата.

Необходимо отметить, что в понятии мебельного прототипа изначально используется принцип серийности, предполагающий создание базовой модели, позволяющей производить ряд однородных предметов мебели, структурное и морфологическое сходство которых обращено:

- по отношению к проектированию – с помощью алгоритмизации методов и выбора средств решения задач;
- по отношению к производству – путем качественной организации подготовительных и сборочных работ;
- по отношению к реализации (сбыту) – посредством количественного и качественного состава номенклатурных (и типоразмерных) рядов разрабатываемых мебельных изделий.

При разработке прототипной модели, как правило, особое внимание уделяется структуре объекта, т.е. совокупности основных конструктивных элементов изделия и отношениям между ними. Как отмечалось выше, существует несколько уровней описания структуры прототипной модели, в частности, эскизно-структурный, структурно-атрибутивный, графо-аналитический. На каждом из уровней описания делается акцент на определенных аспектах прототипной модели КМИА, обеспечивая, тем самым,

необходимый объем информации для дальнейшей работы с моделью. При оценке этого объема в целом обнаруживается некоторая семантическая избыточность, которая, впрочем, может быть оправдана, если принять в расчет многоплановость использования модели.

Выбор информации, необходимой в каждом конкретном случае использования, потребует применения алгоритмов семантической фильтрации данных модели. В частности, задача визуализации требует перехода к внешней (оболочечной) модели, включающей в себя наиболее существенные, главным образом, геометрические характеристики изделия.

Например, программа WinGRAF, выполнив фильтрацию данных для моделей объектов, представленных в проекте набора кухонной мебели (рис. 5.6), создает следующее описание:

```
# Файл описания для заказа № 00000203
#
# Первая значимая строка в файле содержит габариты кухни в формате:
# l w h;
# где l - длина (мм),
# w - ширина (мм),
# h - высота (мм).
# Вторая и последующие значимые строки содержат информацию об объектах
# в следующем формате:
# ind ts, orient, x y z, h w d, x1 y1 z1 a, wrl_1, wrl_2;
# где ind - номер изделия в массиве изделий;
# ts - номер типоразмера изделия с номером ind;
# orient - ориентация изделия (возможны 8 вариантов);
# x y z - координаты центра изделия;
# h w d - габариты изделия: высота (мм), ширина (мм), глубина (мм);
# x1 y1 z1 a - вектор (оси) и угол поворота (в радианах);
# wrl_1 - спецификация WRL-файла для отображаемой модели изделия;
# wrl_2 - спецификация JPEG-файла для текстуры модели изделия.
#
3000 3000 2850;
46 2, 0, 6 6 414, 828 600 600, 0 0 1 0, d:\WinGRAF\WRL\Mebel046.wrl,
d:\WinGRAF\TEXTURES\Texture046_3.jpg;
10 0, 0, 608 6 414, 828 800 600, 0 0 1 0, d:\WinGRAF\WRL\Mebel010.wrl,
d:\WinGRAF\TEXTURES\Texture010_3.jpg;
15 0, 0, 1410 6 414, 828 400 600, 0 0 1 0, d:\WinGRAF\WRL\Mebel015.wrl,
d:\WinGRAF\TEXTURES\Texture015_3.jpg;
207 6, 0, 6 6 1862, 724 600 290, 0 0 1 0, d:\WinGRAF\WRL\Mebel207.wrl,
```

```
d:\WinGRAF\TEXTURES\Texture207_3.jpg;
203 2, 0, 608 6 1862, 724 800 290, 0 0 1 0, d:\WinGRAF\WRL\Mebel203.wrl,
d:\WinGRAF\TEXTURES\Texture203_8.jpg;
207 3, 0, 1410 6 1862, 724 400 290, 0 0 1 0, d:\WinGRAF\WRL\Mebel207.wrl,
d:\WinGRAF\TEXTURES\Texture207_3.jpg;
```

Далее, VRML-генератор, основываясь на данной информации, формирует для каждого из представленных мебельных объектов описание на языке XML следующей структуры [141]:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ? >
<Прототип>
  <Идентификатор>ind</Идентификатор>
  <Центр_параллелепипеда>
    <Координата_X>x</Координата_X>
    <Координата_Y>y</Координата_Y>
    <Координата_Z>z</Координата_Z>
  </Центр_параллелепипеда>
  <Размеры_параллелепипеда>
    <Высота>h</Высота>
    <Ширина>w</Ширина>
    <Глубина>d</Глубина>
  </Размеры_параллелепипеда>
  <Вектор_вращения>
    <Проекция_X>n_x</Проекция_X>
    <Проекция_Y>n_y</Проекция_Y>
    <Проекция_Z>n_z</Проекция_Z>
  <Угол>alpha</Угол>
  </Вектор_вращения>
  <Файл_модели>
    <спецификация_1>url_1</спецификация_1>
  </Файл_модели>
  <Файл_текстуры>
    <спецификация_2>url_2</спецификация_2>
  </Файл_текстуры>
</Прототип>
```

Представленное XML-описание – своеобразный шаблон «технического задания» для генерации внешней модели, использующейся затем для визуализации с помощью средств языка VRML. Конкретизация техниче-

ского задания выполняется с использованием алгоритма семантической фильтрации, который либо встраивается в программу автоматизации приема индивидуальных заказов, как, например, в случае программы WinGRAF [84, 85], либо представляется отдельным программным модулем.

Внешняя модель формируется как конечный результат вариантного моделирования, позволяющего определить поведение мебельной конструкции при выполнении унифицированных операций, обеспечивающих манипулирование свойствами прототипной модели КМИА с учетом соблюдения заданных КТТО.

### 5.3. Анимация и интерактивное выделение объектов модели КМИА

Анимация объектов сцены и взаимодействие пользователя с объектами осуществляется посредством организации связей между узлами сцены и определения маршрутов передачи сообщений между узлами [138].

Большинство узлов сцены имеют входящие (*eventIn*) и исходящие (*eventOut*) события. Кроме того, многие узлы имеют так называемые открытые поля (*exposed fields*). Входящие события анализируют сообщения, поступающие в узлы из внешнего окружения. Исходящие события посылают сообщения от одних узлов к другим. При этом каждое событие имеет ассоциированный с ним тип данных. Открытое поле означает, что для него в узле имеются следующие два события: *set\_имя-поля* – установить значение поля; *имя-поля\_changed* – оповестить об изменении значения поля.

Как отмечалось выше, узлы связываются друг с другом маршрутами (*routes*), по которым сообщения передаются от исходящего события одного узла к входящему событию другого (рис. 5.5). В результате для узлов, связанных маршрутами, могут порождаться цепочки событий, называемые *каскадами событий*. Каскады событий могут образовывать сложную структуру, включающую ветвления и циклы.

Каждое событие представлено двумя частями: сообщением, которому соответствует некоторое значение, и штампом времени – специальным значением, недоступным пользователю, которым оперирует VRML-браузер. Наличие у событий штампов времени позволяет упорядочить их обработку. При этом следует иметь в виду, что события обрабатываются, как правило, в порядке возрастания значений штампов времени.

Ключевыми элементами в структуре управления анимацией и интерактивностью в языке VRML являются узлы-сенсоры и узлы сценариев, порождающие так называемые *начальные события*, не обусловленные другими событиями в каскаде. С технической же точки зрения, анимация не-

посредственно осуществляется с помощью интерполяционных узлов и узлов-переключателей, а также всей совокупностью открытых полей остальных типов узлов.

Существует несколько типов сенсоров, среди которых следует выделить:

- *сенсоры окружающей среды*, которые не принимают данных, введенных непосредственно пользователем, но отслеживают такие процессы во внешней среде, как течение времени (TimeSensor) и изменение местоположения пользователя (VisibilitySensor, ProximitySensor, Collision);
- *узлы-манипуляторы*, которые обеспечивают прием данных от пользователя и реализуют различные виды перемещения объектов с использованием мыши (TouchSensor, SphereSensor, CylinderSensor, PlaneSensor).

Сценарий в языке VRML состоит из функций, каждая из которых выполняется в определенной ситуации, например, при обработке тех или иных событий. Эти функции помещаются в узел сценария, который обозначается с помощью ключевого слова Script.

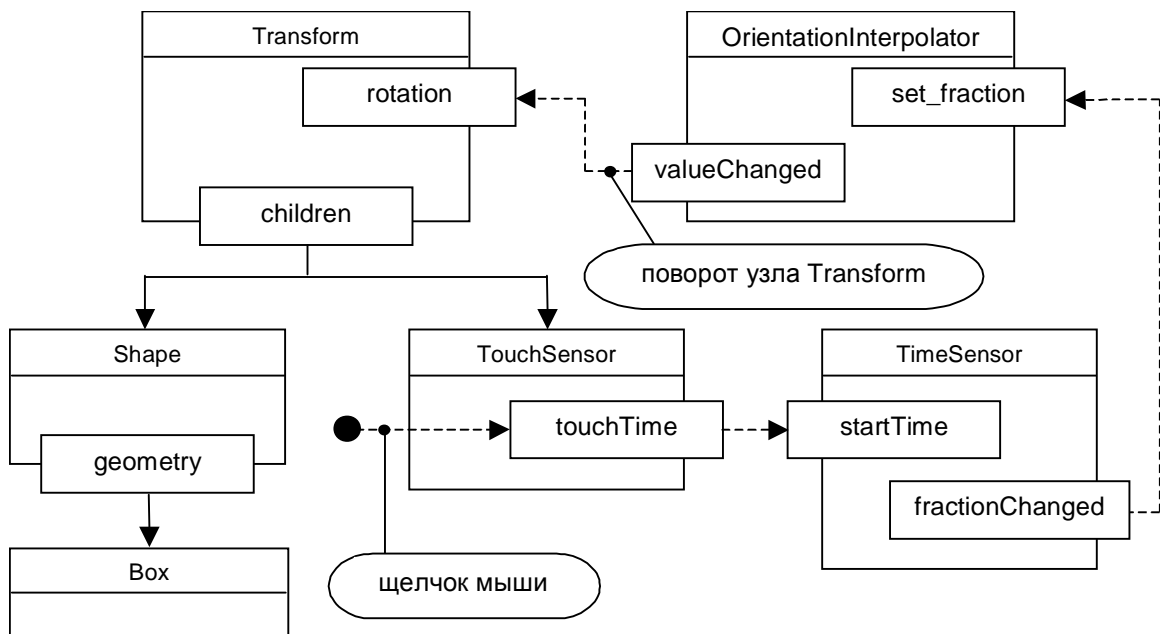
При реализации анимации важную роль играют *узлы-интерполяторы*, которые обеспечивают изменение каких-либо величин с течением времени. Они принимают сигналы времени от сенсора TimeSensor и производят линейную интерполяцию между множествами ключевых значений, которые содержат так называемый ключ – десятичное дробное значение в интервале от 0 до 1. Всякий раз, когда узел-интерpolator получает входящее событие, он генерирует исходящее событие с параметром, равным интерполированному значению величины. Исходящее событие, в свою очередь, может быть направлено в любое открытое поле подходящего типа. Например, схема маршрутизации событий, включающая узел-интерpolator OrientationInterpolator, с использованием специальной нотации статико-динамических диаграмм [76], показана на рис. 5.8.

В нотации статико-динамических диаграмм (SDD) используются следующие понятия [76]:

- начальное состояние схемы, обозначаемое полностью закрашенным кружком (●) аналогично тому, как это принято в нотации языка UML;
- статическая часть диаграммы, представленная набором классов, участвующих в маршрутизации событий. Каждый класс изображается на диаграмме прямоугольником, разделенным горизонтальной чертой на две области: область имени класса и область атрибутов



- класса. На диаграмме отображаются только те атрибуты класса, которые участвуют в маршрутизации событий;
- множество атрибутов классов объектов, представленных на диаграмме, разделено на два подмножества: одно включает в себя атрибуты, отвечающие за маршрутизацию событий и называемые маршрутизаторами; другое – атрибуты, иллюстрирующие композицию или вложенность объектов и называемые композиторами. На схеме, показанной на рис. 5.8, маршрутизаторами являются атрибуты `touchTime`, `startTime`, `fractionChanged`, `setFraction`, `valueChanged`, `rotation`; композиторами – `children`, `geometry`;
  - множество отношений между объектами, представленных на диаграмме, разделено на два подмножества: одно содержит отношения композиции, отражающие иерархию объектов, участвующих в маршрутизации событий (т.е. статическую часть схемы); другое – отношения маршрутизации, отражающие маршрут сообщений генерируемых и передаваемых от одних объектов к другим (т.е. динамическую часть схемы);
  - описание события, представленное на диаграмме овалом с поясняющим текстом внутри. Описание события соединяется с соответствующим переходом в маршруте линией с точкой на конце.



**Рис. 5.8. Пример схемы маршрутизации событий с использованием нотации статико-динамических диаграмм**

С учетом перечисленных выше понятий диаграмма SDD имеет следующее общее аналитическое представление:

$$SDD = (\bigcup_{i=1}^n N_i) \mathbf{U} (\bigcup_{j=1}^m R_{Cj}) \mathbf{U} (\bigcup_{k=1}^p R_{Mk}) \mathbf{U} (\bigcup_{l=1}^q D_l),$$

где  $N$  – множество классов объектов (узлов);

$R_C$  – множество отношений композиции;

$R_M$  – множество отношений маршрутизации;

$D$  – множество описаний событий.

Диаграмма SDD, используемая для графического описания VRML-сцены, является своеобразным гибридом статической диаграммы, подобной диаграмме классов (*class diagram*), и диаграммы, отражающей динамику поведения системы, подобной диаграмме состояний (*statechart diagram*) в нотации языка UML [142]. Она позволяет выполнить наглядное проектирование, описав структуру классов объектов и установив отношения между заданными объектами.

#### 5.4. Управление высокоуровневым представлением КМИА

Внешняя модель объекта – высокоуровневое представление КМИА, подготовленное для размещения и визуализации в среде виртуальных сцен, или миров. В описании трехмерного объекта, содержащегося в *wrl*-файле, используется собственная система координат, в которой выполнялось построение его модели, а также собственные линейные размеры объекта. Для подключения объекта к общей сцене необходимо задать его смещение относительно начала системы координат сцены и, возможно, поворот вокруг указанной оси, а также масштабирование, позволяющее обеспечить соразмерность (пропорциональность) объектов сцены.

Для задания указанных параметров модели объекта используется группирующий узел Transform, представленный в языке VRML, имеющий среди прочих открытых полей следующие [138]:

```
Transform {
    translation x y z
    rotation x y z a
    scale x y z
    ...
    children []
}
```

Таким образом, узел Transform определяет три возможных вида преобразований: перемещение (*translation*), вращение (*rotation*) и масштаби-

рование (*scale*). Указанные виды преобразований распространяются и на объекты, являющиеся потомками этого узла (*children*).

Следует отметить, что не требуется присутствия всех трех видов преобразования сразу в описании узла. В то же время узел Transform позволяет иметь внутри себя вложенные узлы Transform, обеспечивая тем самым возможность для выполнения последовательности преобразований. Заданный порядок следования преобразований непосредственно отражается на результате, поскольку в пределах одного узла Transform преобразования выполняются в следующей очередности: сначала масштабирование, затем вращение и, наконец, перемещение. Таким образом, если необходимо выполнить перемещение объекта, сопровождаемое вращением, приходится создать вложенные узлы Transform.

Расчет значений указанных открытых полей узла Transform требует знания размеров и координат центра параллелепипеда, ограничивающего трехмерный объект (BoundingBox). Эти данные могут быть взяты либо из файла геометрической модели, подготовленного соответствующей программой (например, WinGRAF), либо рассчитаны в специальном модуле самого VRML-генератора. Модуль должен анализировать полученный *wrl*-файл, фиксируя узлы геометрических элементов объекта, и определять для них минимально и максимально возможные смещения. В разработке модуля, написанного на языке JavaScript, использована библиотека классов External Authoring Interface (EAI), предназначенная для непосредственного управления узлами виртуального мира [139, 143].

Генерация внешней модели объекта заключается в формировании описания набора узлов Transform с заданными параметрами: координатами центра, углом поворота, коэффициентом масштабирования и ссылками (через узел Inline) на конкретный трехмерный объект. Сам объект может быть либо локальным, т.е. храниться на магнитном диске клиентского компьютера, либо удаленным, т.е. находиться в указанном узле (URL) сети Internet или intranet [139].

Пример описания одного из таких узлов, сформированного VRML-генератором и представляющего мебельный объект «Стол-шкаф напольный с 5-ю выдвижными ящиками» для виртуального кухонного набора (рис. 5.7), приведен ниже.

```
Transform {
  translation 1.61 0.414 0.306
  rotation 0 0 1 0
  scale 1 1 1
  scaleOrientation 0 0 1 0
```

```

center 0 0 0
children [
  Transform {
    translation 0 0 0
    rotation 0 0 1 0
    scale 1 1 1
    scaleOrientation 0 0 1 0
    center 0 0 0
    children [
      Transform {
        translation 0 -0.313024 -0.3
        rotation 0 0 1 0
        scale 0.888889 1.00976 1.07143
        scaleOrientation 0 0 1 0
        center 0 0 0
        children [
          Inline {
            url ["d:\WinGRAF\WRL\Mebel015.wrl"]
          }
        ]
      }
    ]
  }
]
}

```

В данном случае объект является локальным и расположен на диске d: в папке \wingraf\wrl, содержащей *wrl*-файлы мебельных объектов. При пересылке файлов, расположенных в различных узлах сети Internet, предварительно может выполняться их сжатие с помощью утилиты-архиватора *gzip*, позволяющей уменьшить исходный размер файла в 15...20 раз. Архивированный файл может также иметь расширение имени *wrl*, как и исходный. Специализированные VRML-редакторы обеспечивают возможность сохранения результирующего файла в архивированном виде. Большинство VRML-браузеров автоматически распознают сжатый формат (*wrz*) и выполняют распаковку файла с последующим отображением его содержимого на экране монитора.

### 5.5. Динамическая высокоуровневая модель КМИА

Методика, описанная выше, предполагает наличие высокоуровневой структурной модели мебельного объекта прежде, чем будет выполнен переход к его внешней модели. Укрупненная схема конвертирования структурной модели КМИА в динамическую высокоуровневую модель включает в себя следующие два основных этапа [76, 83]:

Трансформация структурной модели КМИА в высокоуровневое статическое представление на языке VRML.

Выделение в структурной модели КМИА объектов с динамическими свойствами, разработка для них диаграмм SDD, анализ особенностей функционирования (динамики) объектов и формирование для них соответствующих узлов сценариев (Script).

Для автоматизации первого этапа схемы можно воспользоваться специальными редакторами VRML или обратиться к графическим системам, которые обеспечивают экспорт созданных с их помощью графических объектов в VRML. Среди специальных редакторов наибольшее распространение получили Cosmo Worlds, Internet Space Builder, RenderSoft VRML Editor и другие. Экспорт графической информации в VRML может быть выполнен с помощью таких известных систем, как 3D Studio Max и Corel DRAW, а также отечественной САПР bCAD. При этом дополнительно могут использоваться программы, выполняющие оптимизацию полученного в результате экспорта VRML-файла [85].

Для автоматизации второго этапа, заключающегося в наделении мебельных объектов динамическими свойствами, требуются программные средства, подобные тем, что имеются в развитых RAD-системах (Rapid Application Development – быстрая разработка приложений). Данные средства – узкоспециализированные и объектно-ориентированные, поскольку они базируются на иерархии объектов корпусной мебели и структуре связанных с ними методов, задающих их функционирование (поведение). В автоматизированном построении схемы связей объектов и методов используется диаграмма SDD, формируемая пользователем на основе анализа структурной модели объектов КМИА.

Сценарий в VRML состоит из функций, каждая из которых выполняется в определенной ситуации. При этом все функции имеют доступ ко всем полям и событиям, определенным в узле Script [138].

Сценарии, как правило, реагируют на события окружающего мира, получая входящие сообщения от других узлов. Их обработка выполняется с помощью специальных функций, называемых обработчиками событий.

При этом обработчик должен иметь то же самое имя, что и обрабатываемое им входящее событие.

Пример одного из множества узлов Script, представленного в VRML-описании мебельного объекта «Стол-шкаф напольный с 5-ю выдвижными ящиками» (файл *Mebel015.wrl*), показан ниже.

```
DEF $38 Script {
  url "javascript:
    var open=false;
    function fraction (val){ s_fraction = open?val:(1-val); }
    function toch (val){ open = !open; out_time1 = val;}"
  eventIn SFTIME toch
  eventIn SFFloat fraction
  eventOut SFFloat s_fraction
  eventOut SFTIME out_time1
}
.....
ROUTE $38.out_time1 TO $33.startTime
ROUTE $38.s_fraction TO $34.set_fraction
ROUTE $32.touchTime TO $38.toch
ROUTE $33.fraction_changed TO $38.fraction
```

В приведенном выше примере определены два входящих события *fraction* и *toch*, а также соответствующие им одноименные обработчики. Имеются также два исходящих события: *s\_fraction* и *out\_time1*. Кроме того, за пределами узла сценария показана маршрутизация исходящих и входящих событий узла, определенная с помощью ключевых слов *ROUTE*.

Таким образом, динамическая высокоуровневая модель КМИА, формируемая в результате реконструкции основных геометрических свойств структурной модели, наделяется динамическими свойствами путем размещения в ней узлов сценариев. Это в сочетании с возможностями навигации, обеспечиваемыми VRML-браузером, позволяет сделать сцену интерактивной и динамичной. Каждый мебельный объект сцены, обладающий соответствующей функциональностью, акцентирует внимание пользователя на своих основных свойствах. При этом обеспечивается возможность исследовать форму, цветовое оформление, структурное наполнение каждого мебельного объекта, что особенно важно в условиях выполнения позаказного проектирования и производства КМИА.

## **ГЛАВА 6**

### **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА КОРПУСНЫХ МЕБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И АНСАМБЛЕЙ**

Под технологической подготовкой производства промышленных изделий понимается совокупность методов организации, управления и решения различных технологических задач. В условиях автоматизированного производства ТПП предполагает эффективное использование различных математических моделей и средств вычислительной техники для комплексного решения производственно-технических задач, стоящих перед конкретным предприятием.

Практический опыт показывает, что в ряде случаев трудоемкость технологического проектирования может заметно превышать трудоемкость конструирования промышленных изделий, причем этот процесс значительно труднее формализуется, имеет большую вариантность проектных решений и, кроме того, сопровождается подготовкой большого объема документов. Качество, скорость и безошибочность решения задач ТПП непосредственно влияют на экономическую эффективность и конкурентоспособность предприятия.

Основная задача ТПП изделий корпусной мебели состоит в полном обеспечении технологической готовности предприятия к выпуску новой продукции, соответствующей заданным технико-экономическим критериям (высокое качество изготовления, функциональность, безопасность, удобство, эстетичность мебели, планируемый объем производства, требуемый технический уровень, минимальные трудовые и материальные издержки и т.д.). Для ее решения необходима реализация следующих проектных операций:

- организационная подготовка производства;
- отработка мебельного изделия на технологичность;
- проектирование и типизация технологических процессов, включая разработку управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ;
- формирование оптимальных карт раскроя материалов;
- нормирование изготовления изделий;
- выпуск технологической документации;
- технологическое оснащение производства;
- оперативное управление подготовкой производства.

Общая структура АСТПП и ее место в компьютеризированном интегрированном производстве показаны на рис. 6.1.



*Рис. 6.1. Общая структура АСТПП*

Исходной базой для организации ТПП являются следующие документы и нормативные показатели:

- полный комплект конструкторской документации на новое изделие (сборочный чертеж изделия и рабочие чертежи деталей, спецификации);
- планируемый годовой объем выпуска продукции при условии максимальной загрузки производственных мощностей;
- планируемый режим работы предприятия (коэффициент сменности, фонд рабочего времени);
- планируемый коэффициент загрузки оборудования в условиях выбранной стратегии организации ремонтных и профилактических работ;
- возможность реализации части производственной программы по кооперации (изготовление и поставка стандартных элементов изделий, специфических материалов и комплектующих);
- предполагаемые рыночные цены новой продукции в контексте общей ценовой политики предприятия;
- стратегия минимизации производственных рисков (запасы материалов и комплектующих, наличие дублирующего оборудования).



ТПП, как важнейший этап жизненного цикла мебельного изделия, требует постоянного осуществления мероприятий по мобилизации и вовлечению в производство имеющихся резервов повышения эффективности. Для практического осуществления этой работы необходимо решение двух задач:

- причинно-следственный анализ резервов, факторов и условий, от которых зависит эффективность ТПП;
- применение интегрированных автоматизированных систем, увязывающих отдельные технические и экономические задачи в единый комплекс.

В условиях позаказного промышленного производства информатизация всех этапов ЖЦИ стала серьезным фактором повышения конкурентоспособности предприятия. Первоочередными задачами повышения эффективности системы ТПП, решение которых возможно исключительно на основе применения информационных технологий, являются выявление имеющихся резервов, снижение себестоимости продукции, резкое сокращение непроизводительных затрат, повышение качества изделий и уменьшение сроков их изготовления. Следовательно, технологическая подготовка производства неразрывно связана с организационной подготовкой, образуя единый этап организационно-технологической подготовки производства (ОТПП).

### **6.1. Организационная подготовка позаказного промышленного производства КМИА**

Система организации производства на предприятии в условиях высокой конкуренции на современном мебельном рынке должна обеспечивать существенные преимущества выпускаемой продукции, как по качественным, так и по временным показателям, перед аналогичной продукцией. Целью организационной подготовки производства (ОПП) является формирование необходимой организационной документации для изготовления новых мебельных изделий в условиях индивидуальности практически каждого выпускаемого КМИА.

Позаказное промышленное производство мебели предполагает проведение активных маркетинговых исследований, результатом которых является обобщение требований различных социальных групп населения к параметрам функциональности, эстетичности, качества и экономичности. Это является необходимым для формирования баз данных прототипных моделей.

Соответственно структура организационной подготовки производства должна определяться такими факторами изделий, как их новизна, с точки зрения применения прогрессивных материалов, фурнитуры и технологий, конструктивная сложность, наличие проработанных типовых или групповых технологических процессов. Помимо этого необходимо учитывать планируемые показатели качества и наличие необходимого оборудования и кадров для производства планируемых объемов с учетом нормативных технико-экономических параметров.

Организационная структура производственно-технологических подразделений предприятия должна обеспечивать эффективное решение следующих задач:

- рациональное распределение функций ТПП между отдельными подразделениями;
- тесную интеграцию технологических служб как с конструкторскими подразделениями – источниками необходимой информации, так и с подразделениями логистики, обеспечивающими реализацию продукции;
- четкую организацию документооборота конструкторско-технологических документов, с фиксацией конкретных исполнителей и отслеживанием любого документа от момента его возникновения до момента архивации;
- возможность оперативного реагирования на быстроменяющуюся номенклатуру выпускаемых изделий.

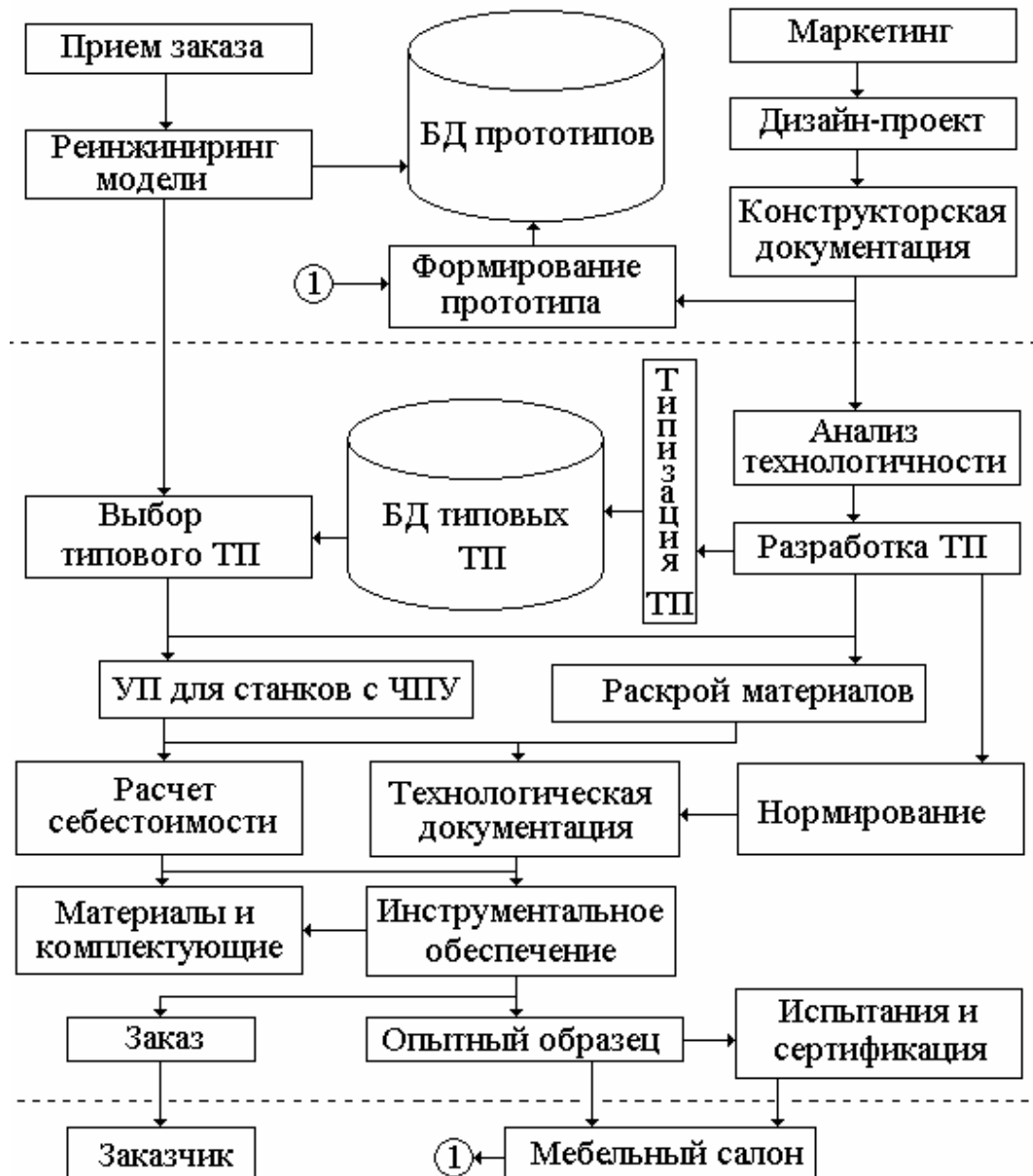
На предприятии, использующем элементы позаказного промышленного производства, могут использоваться различные варианты организационно-технологической подготовки, общая структура которой показана на рис. 6.2. Она позволяет обеспечивать параллельное выполнение двух процессов:

- промышленное производство КМИА по индивидуальным заказам потребителей;
- выпуск «пилотных» вариантов изделий для расширения номенклатуры прототипных моделей и отслеживания тенденций изменения приоритетов потребителей.

Выбор конкретного варианта ОТПП зависит от следующих основных факторов:

- доля изделий, выпускаемых по индивидуальным заказам, в производственной программе предприятия;

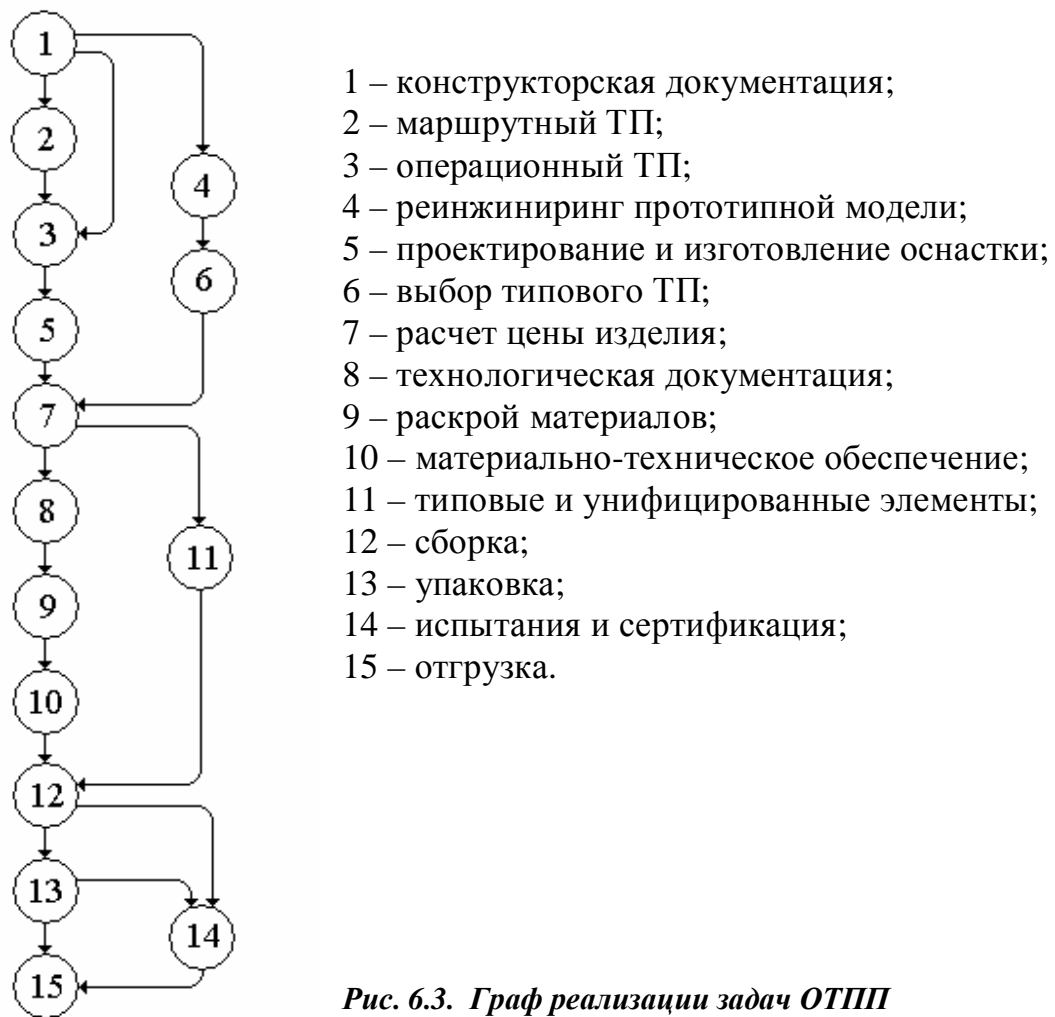
- уровень организации подготовки производства, в том числе уровень автоматизации выполнения проектно-производственных операций;
- скорость, точность и безошибочность выполнения этапов ТПП;
- полнота и достоверность исходных данных для решения задач ТПП.



**Рис. 6.2. Обобщенная структурная схема ОТПП КМИА**

На основании принятой схемы ОТПП разрабатываются типовые графики, отражающие набор и последовательность реализации отдельных эта-

пов технологической подготовки. Основываясь на этих графиках, формируются конкретные экземпляры для отдельных заказов или разработок с обязательной фиксацией времени выполнения каждого этапа и ответственных исполнителей. Обобщенная схема построения типового графика представляется в виде графа, показанного на рис. 6.3.



**Рис. 6.3. Граф реализации задач ОТПП**

Период ОТПП для выполнения индивидуальных заказов на базе отработанных типовых технологических процессов не требует существенных затрат времени. В отличие от этого, при создании прототипных моделей требуется тщательная проработка всех этапов, показанных на рис. 6.3, что занимает от одного до двух месяцев. Для сохранения имеющихся конкурентных преимуществ и оптимальной массы прибыли предприятия необходимо организовать оперативное обновление номенклатуры прототипных моделей, статус которых определяется либо директивно, либо после зондирования потенциального спроса при экспонировании «пилотного» варианта

в мебельных салонах в течение одного – трех месяцев. Рекомендуемый уровень перехода на новую прототипную модель составляет 40...60 % периода эксплуатации старой модели, что иллюстрируется графиком, показанным на рис. 6.4. Во время перехода в качестве прототипных моделей одновременно будут предлагаться и старое, и новое изделия.

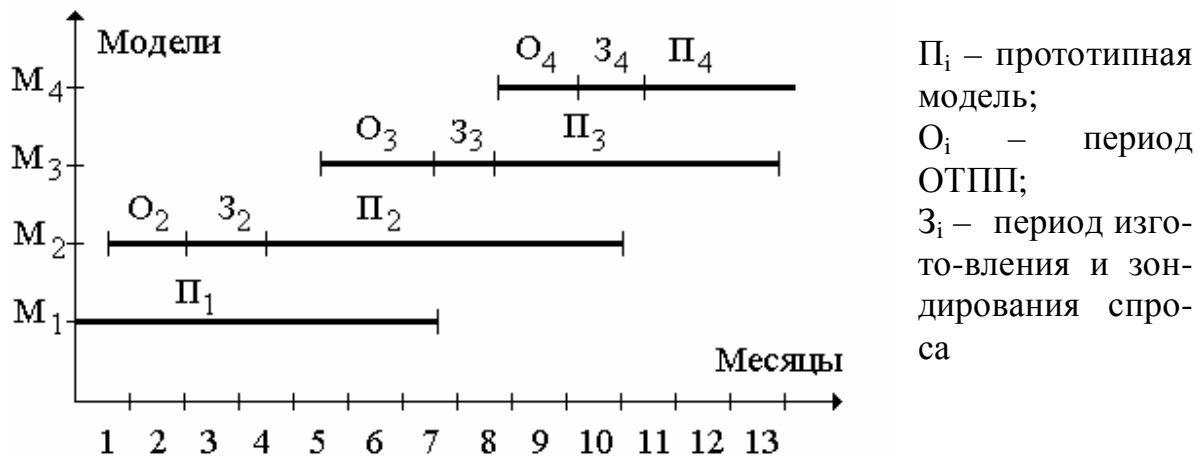


Рис. 6.4. Динамика обновления прототипной модели

## 6.2. Методика автоматизации процесса ТПП

Генерируемая на этапе проектирования мебельного изделия математическая модель, как основа автоматизации всех последующих этапов ЖЦИ, должна соответствовать основным положениям концепции безошибочного проектирования и производства сложных изделий корпусной мебели. Выполнение этого условия позволит повысить уровень абстракции принятия технологических решений и, следовательно, отработать целый ряд технологических требований еще до передачи модели в АСТПП.

Общей особенностью автоматизации технологического проектирования является недостаточная информация о закономерностях этого процесса и большой удельный вес субъективного фактора. В производстве корпусной мебели такое состояние дополняется традиционным превалированием конструкторско-дизайнерской проработки изделий над технологической, что характерно для большинства предприятий.

Для автоматизации технологической подготовки мебельного производства наиболее подходящим является итерационный многоуровневый метод, при котором весь процесс разделяется на три взаимосвязанных эта-

па, характеризующихся последовательным возрастанием степени детализации принимаемых решений:

- принципиальный этап, на котором разрабатывается общая структурная схема технологического процесса;
- маршрутный этап, на котором формируется технологический маршрут обработки деталей и определяется их состояние по завершении каждой операции;
- операционный этап, на котором детализируются переходы по каждой операции и формируются управляющие программы для станков с ЧПУ.

Математическая модель технологического проектирования может быть представлена в виде графа, вершинами которого являются утверждения, сформированные на основании результатов реализации предыдущего уровня, либо исходные утверждения, а дугами – варианты элементы искомого ТП. Граф подобного типа отражает основные закономерности проектирования и инвариантен к специфике конкретного предприятия.

Исходными утверждениями технологического проектирования являются реализуемые функции обработки и заданные программы выпуска при условии ограничений по применяемым методам обработки и оборудованию, имеющимся инструментам и приспособлениям, применяемым материалам. Задачей технологического проектирования является определение таких параметров ТП в рамках существующих ограничений, при которых технологическая себестоимость была бы минимальной.

Отмеченные выше особенности технологического проектирования определяют недостаточную достоверность большинства принимаемых промежуточных решений. Поэтому эти решения должны последовательно уточняться при переходе от уровня к уровню и достигать соответствия требуемой точности на последнем из них:

$$S_i < S_{i+1} < \dots < S_N; \quad |S_{opt} - S_N| \rightarrow \min ,$$

где  $N$  – количество уровней разбиения.

Следовательно, на любом из промежуточных уровней генерируется множество вариантов, из которых формируется подмножество локально оптимальных вариантов, подлежащих дальнейшей детализации и уточнению. Обобщенная структурная схема итерационного алгоритма автоматизированного проектирования ТП приведена на рис. 6.5.

Технологическая база знаний содержит необходимый объем данных, сгруппированных в соответствии с рис. 6.1, а также метаданные, описывающие структуру и процедуры обработки этих данных. Операция поиска аналога в ней основывается на понятии технологического подобия: ТП

считаются подобными, если различие их свойств, структуры и функций не превышает значений заранее заданных констант:

$$|S_{i,j} - S_j| \leq \Delta S_j,$$

где  $S_{i,j}$  – характеристика  $j$ -го параметра  $i$ -го ТП;

$S_j$  – характеристика  $j$ -го параметра синтезируемого ТП;

$\Delta S_j$  – точность оценки  $j$ -го параметра.

Операция поиска является иерархической, при выполнении которой производится последовательное «усиление» критериев отбора, начиная от основных признаков. Преобразование найденного ТП-аналога заключается в дополнении его подграфами тех операций и переходов, которые полностью отсутствуют или реализуются с недостаточной точностью, а также – в исключении подграфов, связанных с отсутствующими операциям и переходами.

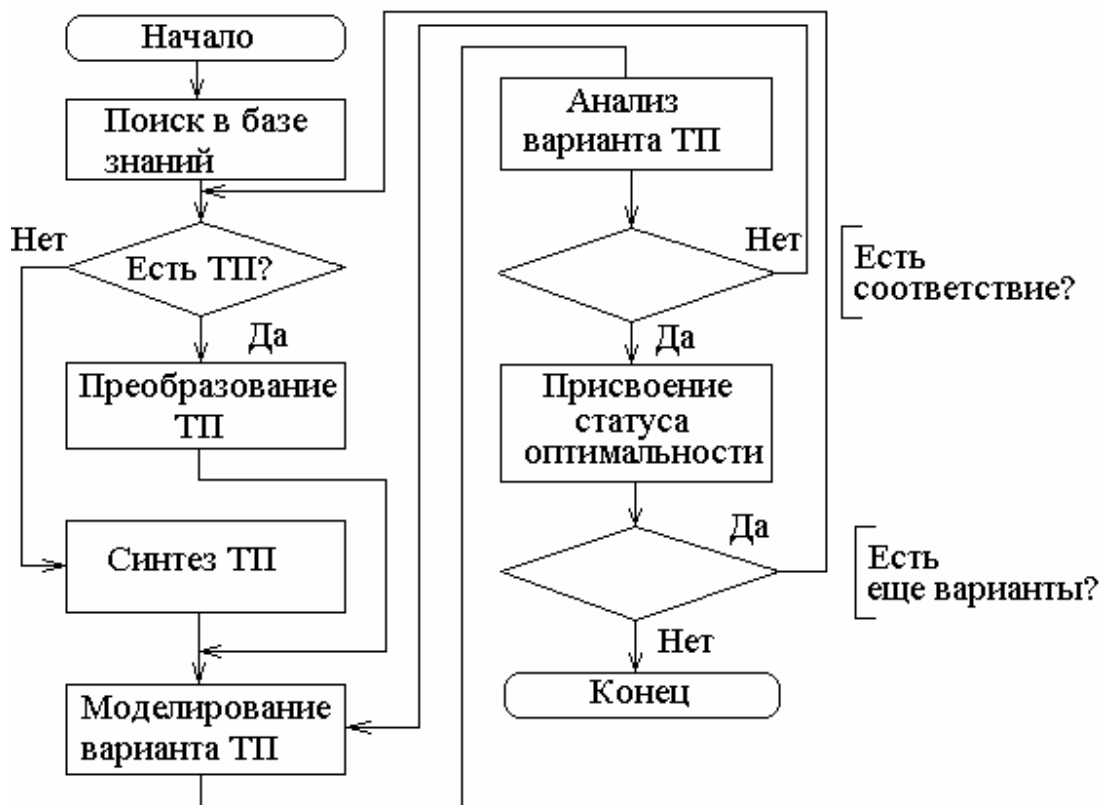


Рис. 6.5. Структурная схема итерационного алгоритма

Основой синтеза ТП является декомпозиция реализуемых им функций на элементарные операции с последующим подбором структурных элементов для их реализации и дальнейшим формированием межэлемент-

ных пространственно-временных связей в виде графа допустимого варианта ТП.

Операция моделирования очередного варианта ТП заключается в построении имитационных моделей соответствующих уровней, учитывающих законы изменения входных величин, технологические ограничения, параметры точности и надежности, эффективность и производительность ТП. В силу недостаточной формализации операций на начальных уровнях проектирования моделирование на них может выполняться технологом.

Данные, полученные при моделировании, анализируются на допустимость в соответствии с заданными условиями, в процессе чего выявляются отклонения и возможные причины их возникновения. Основными критериями такого анализа являются точность и производительность обработки, а также ее себестоимость. Математическое описание критериев имеет широкий диапазон: от набора эвристических методик (эвристик) на верхних уровнях до точных формул выбора оптимальной траектории и расчета режимов резания на нижних уровнях.

Например, моделирование операций, заключающееся в определении их рационального состава и последовательности выполнения, основано на анализе отношений между поверхностями детали. Отношение наложения возникает тогда, когда одна поверхность не может быть обработана раньше другой, а отношение точности, – когда одна поверхность является базовой, а ряд других поверхностей задаются относительно этой базы.

Результатом работы рассмотренного алгоритма является формирование множества ТП, которым присвоен статус оптимальных, т.е. с максимально возможной степенью точности реализующих поставленную задачу. Мощность этого множества определяется степенью «жесткости» критериев анализа. Частными случаями являются множество из одного элемента, который представляет собой оптимальный ТП, и пустое множество. Последний случай соответствует одному из трех возможных вариантов:

- критерии отбора слишком «жесткие»;
- в базе данных нет подходящего аналога;
- неверные предпосылки субъективного моделирования.

### **6.3. Обеспечение технологичности конструкции КМИА**

Технологичность конструкции представляет собой такую совокупность конструктивно-технологических параметров мебельного изделия, которая обеспечивают его изготовление и сборку наиболее эффективным способом по сравнению с конструкциями аналогичного функционального



назначения и качества, изготавливаемыми в одинаковых производственных условиях. Для оценки вариантов конструкций используются базовые показатели технологичности изделия, которые могут варьироваться для различных групп изделий, поэтому при сравнительной количественной оценке должны применяться одни и те же показатели, рассчитываемые по идентичным методикам.

Задача обеспечения технологичности конструкции мебельного изделия информационно связывает этапы конструкторской (оптимизация конструктивных решений) и технологической подготовки производства. Она имеет своей целью повышение производительности труда, сокращение времени на изготовление изделий, оптимизацию трудовых и материальных затрат, сокращение внепроизводственных издержек.

Количественная оценка технологичности конструкции изделия производится по ряду показателей, основным из которых является технологическая себестоимость изготовления, имеющая комплексный характер. Уточняющими показателями могут служить трудоемкость изготовления изделия, удельная материалоемкость, степень унификации конструкции и ряд других. При отработке конструкции прототипного изделия на технологичность в позаказном промышленном производстве, когда коэффициент серийности носит вероятностный характер, основную роль играют функциональное назначение изделия, степень его новизны, конструктивная сложность и условия изготовления.

Технологичность является интегрированной характеристикой мебельного изделия, которая проявляется в затратах труда, средств производства, инструмента, материалов и времени. Иными словами, она определяет общую эффективность организации процесса производства мебели на всех его стадиях. Показатели технологичности характеризуют эффективность выбранных конструкторско-технологических решений с точки зрения обеспечения максимального снижения трудоемкости и материалоемкости при изготовлении мебели промышленными способами.

В современном автоматизированном производстве значение технологичности исключительно высоко. Как фактор непосредственного повышения эффективности производства технологичность изделий обеспечивает возможность роста выпуска продукции и производительности труда без дополнительных затрат средств и времени.

Выполнение работ по обеспечению технологичности мебельных изделий осуществляться в следующей последовательности:

- определение планируемых объемов выпуска изделия;
- анализ исходных данных для оценки технологичности изделия и показателей технологичности изделий-аналогов;

- определение показателей технологичности составных частей и изделия в целом;
- разработка рекомендаций по повышению значений показателей технологичности.

Технологичность мебельных изделий обеспечивается следующими факторами:

- высокой степенью унификации узлов и деталей;
- конструктивным подобием контуров панелей сложных геометрических форм, что позволяет использовать типовые технологические процессы их изготовления;
- тщательной проработкой конструктивных форм деталей и используемой фурнитуры для обеспечения необходимой точности, жесткости и прочности изделия в процессе сборки и эксплуатации;
- минимизацией количества операций за счет использования единых технологических баз;
- конструктивными параметрами деталей и фурнитуры, которые позволяют реализовать процесс изготовления с использованием унифицированного технологического оснащения, транспортных и складских средств, обеспечивающих оптимальный уровень механизации и автоматизации производственных процессов;
- снижением материалоемкости изделия за счет оптимизации раскроя материалов и рациональной его компоновки.

Оценка уровня технологичности конструкции изделия может выполняться по качественным и количественным показателям. Качественная оценка носит обобщенный, субъективный характер и базируется на опыте конструктора или технолога. Она явно или неявно выполняется на всех этапах проектирования в том случае, когда необходимо произвести выбор лучшего проектного решения. Качественная сравнительная оценка возможных вариантов конструкции или технологии изготовления является достаточной, если на данном этапе не требуется определения степени различия технологичности вариантов. В противном случае качественная оценка является необходимой и предшествует количественной оценке технологичности.

Количественная оценка технологичности конструкции изделия предполагает определение численных значений параметров, характеризующих степень реализации соответствующих требований. По своей природе задача количественной оценки технологичности является оптимизационной и в общем виде может быть сформулирована следующим образом: найти пару такую  $(k_{opt}, t_{opt})$ , которая обеспечивает

$$W(m, j, c, k_{opt}, t_{opt}) \rightarrow \min W(m, j, c, k, t) \quad (6.1)$$

и удовлетворяет следующей системе ограничений:

$$f_k(k) \geq k_{\min}, \quad f_c(k, t) \leq T_{um}, \quad k_{opt} \in K, \quad t_{opt} \in \Psi, \quad (k, t) \in P, \quad (6.2)$$

где  $W$  – приведенные затраты на изготовление изделия;

$m$  – вектор параметров используемых материалов;

$\varphi$  – вектор параметров используемой фурнитуры;

$c$  – технологические константы производства;

$k$  – вектор конструктивных параметров изделия;

$t$  – вектор параметров технологических процессов изготовления;

$K$  – множество допустимых вариантов конструкции изделия;

$\Psi$  – множество допустимых вариантов ТП;

$P$  – множество параметров, определяющее возможности производственной системы предприятия;

$f_k(k)$  – функция, определяющая показатели качества изделия;

$f_c(k, t)$  – функция, определяющая длительность производственного цикла изготовления изделия;

$k_{\min}$  – заданный показатель уровня качества;

$T_{um}$  – штучное время (время, затрачиваемое на изготовление единицы продукции (изделия)).

Таким образом, конструкция мебельного изделия является технологичной в том случае, когда вектор  $k_{opt}$  удовлетворяет условиям (6.1) и (6.2).

Для оценки технологичности мебельного изделия необходим предварительный этап оценки технологичности изготовления отдельных панелей и деталей. Под деталями будем понимать локальные сборочные единицы, изготавливаемые на предприятии (ящики, раздвижные двери с «расстекловкой» и т.д.). Соответствующие критерии вносят неодинаковый количественный вклад в общую оценку технологичности. По этой причине определяется некоторый набор критериев технологичности панелей и деталей (в дальнейшем будем говорить о деталях, понимая под этим и панели) и весовых коэффициентов, посредством которых учитывается удельный вес каждого критерия и реализуется связь с интегральным критерием технологичности. Весовые коэффициенты носят вероятностный характер и определяются на основании математической обработки результатов статистических исследований работающих мебельных производств.

В качестве критериев технологичности деталей можно использовать следующие показатели:

- коэффициент серийности выпуска изделий ( $k_c$ );
- коэффициент унификации ( $k_u$ );
- коэффициент использования материала ( $k_{im}$ );

– коэффициент, характеризующий уровень геометрической и технологической сложности изготовления деталей ( $k_g$ ).

Приведенные затраты на изготовление изделия  $W$  функционально зависят от указанных критериев:  $W=F(k_c, k_u, k_{im}, k_g)$ . Для оценки технологичности деталей в позаказном промышленном производстве может использоваться следующая последовательность действий. Первоначально выполняется разделение всех возможных вариантов деталей на группы в соответствии с общностью ТП изготовления, используемого оборудования, габаритов и геометрических характеристик, используемых материалов, серийности изготовления. Примерами таких групп могут служить фигурные столешницы, профильные фасады ящиков, стеклянные раздвижные двери с пескоструйным рисунком и т.д. Для выбранной детали-представителя каждой группы необходимо определить коэффициент серийности по формуле (6.1):

$$k_c^p = \frac{F_d \cdot 60 \cdot \alpha}{G_v \cdot t_s},$$

где  $F_d$  – действительный фонд времени с учетом сменности работы производственного подразделения, час;

$\alpha$  – поправочный коэффициент,  $\alpha=0,8 \div 0,9$ ;

$G_v$  – программа выпуска деталей за выбранный интервал времени;

$t_s$  – среднее штучное время изготовления детали по данным ТП.

Коэффициент унификации детали-представителя характеризует удельный вес оригинальных компонентов детали-представителя (сложные фигурные вырезы в панели, нетрадиционный рисунок витража и т.д.):

$$k_u^p = \frac{K_o}{K_t},$$

где  $k_o$  – количество оригинальных компонентов у детали-представителя;

$k_t$  – количество типовых компонентов у детали-представителя.

Коэффициент использования материала рассчитывается как отношение суммы площадей полученных деталей-представителей к сумме площадей полноформатных листов:

$$k_{im}^p = \frac{\sum_{i=1}^p S_i \cdot n_i}{\sum_{j=1}^q S_j \cdot m_j}, \quad (6.3)$$

где  $S$  – площадь панели или полноформатного листа;

$n_i$  – количество деталей, получаемых при выполнении единичной операции раскроя материалов;

$m_j$  – количество полноформатных листов, раскраиваемых за одну операцию.

Коэффициент, характеризующий уровень геометрической и технологической сложности изготовления детали-представителя, определяется отношением количества операций, требующих особой точности выполнения и квалификации специалистов, к общему количеству операций:

$$k_g^p = \frac{O_s}{O}.$$

Оценка технологичности любой детали, входящей в одну из выделенных групп, производится относительно уже имеющихся коэффициентов для деталей-представителей по следующей формуле:

$$k_t = \left( \frac{k_c^p}{k_c} \right)^a \cdot \left( \frac{k_u^p}{k_u} \right)^b \cdot \left( \frac{k_{im}^p}{k_{im}} \right)^g \cdot \left( \frac{k_g^p}{k_g} \right)^d,$$

где  $k_t$  – коэффициент технологичности детали в данной группе;

$k_x^p$ ,  $x = \{c, u, im, g\}$  – один из перечисленных выше коэффициентов, рассчитанный для детали-представителя;

$k_x$ ,  $x = \{c, u, im, g\}$  – один из перечисленных выше коэффициентов, рассчитанный для оцениваемой детали;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – эмпирические показатели степеней при соответствующих отношениях.

Интегрированная оценка технологичности изделия может быть рассчитана на основании имеющихся частных показателей технологичности входящих в него деталей:

$$k_{izd} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot a_i}{\sum_{i=1}^n a_i},$$

где  $k_i$  – значение коэффициента технологичности  $i$ -ой детали;

$a_i$  – удельный вес коэффициента технологичности  $i$ -ой детали;

$n$  – количество деталей в изделии.

Для повышения технологичности изделий реализуются технические и организационные мероприятия, основными из которых являются следующие:

- применение прогрессивных материалов, фурнитуры и технологий;
- автоматизация процессов проектирования и ТПП;
- ограничения количества конструкторских и технологических решений;

- применение типовых и групповых ТП.

Уровень технологичности продукции непосредственно связан с ее качеством, поэтому он в концентрированном виде выражает возможности предприятия по разработке и выпуску качественной и конкурентоспособной продукции.

#### **6.4. Задача раскроя материалов**

Задача раскроя листовых и погонных материалов на исходные заготовки является важнейшей частью ТПП мебельных изделий и имеет большое практическое значение. Она заключается в размещении плоских (линейных) геометрических объектов, соответствующих исходным заготовкам, на листах (полосах) материала. Поскольку линейный раскрой является частным случаем площадного раскроя, в дальнейшем будем говорить только о последнем.

Карты раскроя материалов (графическое представление расположения заготовок на раскраиваемом листе) с одной стороны представляют собой технологические инструкции для операторов, выполняющих физическую операцию раскроя на имеющемся оборудовании, а с другой стороны являются основой расчета ряда технико-экономических показателей эффективности производства, таких как:

- материалоемкость КМИА;
- полезный выход материала при раскрое;
- потребное количество материала для обеспечения производства;
- трудозатраты на выполнение операций по раскрою материала;
- нормирование операций.

Структура задачи раскроя материалов и ее место в ТПП мебельных изделий показана на рис. 6.6.

Листовые материалы в мебельном производстве раскраиваются круглыми пилами на однопильных или многопильных станках с пилами поперечного и продольного резания. Они различаются между собой следующими технологическими параметрами, существенно влияющими на разработку карт раскроя:

- количеством пильных агрегатов продольного и поперечного направлений пиления;
- ограничениями в схемах раскроя: размерами максимальной и минимальной ширины отрезаемой полосы, минимальным расстоянием между поперечными и между продольными пилами, наличием обязательных сквозных продольных или поперечных пропилов;



щим образом – выполнить разбиение множества заготовок на подмножества таким образом, чтобы выполнялась система ограничений:

$$\bigcup_{j=1}^m M_j - \bigcup_{i=1}^n S_i^p \rightarrow \min ,$$

$$S = \bigcup_{i=1}^n S_i , \forall l \neq k \Rightarrow S_l \cap S_k = 0; l, k = 1, \dots, n, \quad S_l \subset M_j; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m,$$

где  $S$  – исходное множество заготовок;

$M_j$  – исходные листы материала (области размещения),  $j = 1, \dots, m$ ;

$S^p$  –  $p$ -ый вариант разбиения множества геометрических моделей заготовок.

Множество заготовок, подлежащих размещению, представляет собой класс замкнутых множеств на плоскости (множеств, содержащих все свои точки прикосновения), поэтому для их описания можно использовать канонические уравнения следующего вида:

$$F(Z) = \bigcup_{k=1}^N F_k(x_i, y_i, j_i) = 0,$$

где  $x_i, y_i$  – параметры линейного размещения;

$f_i$  – угловые параметры размещения.

Множество ограничений рассматриваемой задачи состоит из двух подмножеств, отражающих геометрические и технологические ограничения. Подмножество геометрических ограничений включает в себя следующие факторы:

- принадлежность заготовок области размещения с учетом предельного размера области торцевания;
- отсутствие взаимного пересечения заготовок;
- изотропность или анизотропность области размещения.

Подмножество технологических ограничений определяется особенностями используемого оборудования и инструмента, а также технико-экономическими параметрами конкретного производства, и включает в себя следующие факторы:

- возможности используемого оборудования;
- геометрические и ресурсные характеристики режущего инструмента;
- характер раскроя: чистовой, когда после раскроя размеры детали не будут меняться, или черновой, если последующие технологические операции изменяют размеры или форму детали;
- схема раскроя: продольный, поперечный и смешанный тип раскроя;



- приоритет действия критериев оптимизации карт раскроя;
- комплектность раскраиваемых листов и получаемых заготовок;
- критерий фильтрации деловых обрезков.

В общем виде задача многокритериальной оптимизации размещения заготовок может быть сформулирована следующим образом: на области допустимых значений  $GUT$  найти такие значения  $Z=(\{x_i, y_i, f_i\})$ , чтобы функционал  $F(Z)$  достигал своего экстремального значения:

$$F(Z) = \max_{R=\{R_k\}} \left( \frac{\sum_{i=1}^{D_k} S(a_i^k) + \sum_{i=1}^{M_k} S(g_i^k)}{\sum_{i=1}^{L_k} S(b_i^k) + \sum_{i=1}^{P_k} S(b_i^k)} + s \cdot \sum_{i=1}^{Q_k} S(g_i^k) \right), \quad (6.4)$$

где  $G$  – подмножество геометрических ограничений;

$T$  – подмножество технологических ограничений;

$R=(R_1, \dots, R_N)$  – множество мощности  $N$  допустимых вариантов карт раскроя на области  $GUT$ ;

$S$  – площадь единичного элемента: полноформатного листа, заготовки, делового обрезка;

$\alpha_i^k, \beta_i^k, \gamma_i^k$  – количество элементов (полноформатных листов, заготовок или деловых обрезков соответственно)  $i$ -го вида в  $k$ -ом варианте карт раскроя;

$k$  – индекс, идентифицирующий текущий анализируемый вариант карт раскроя;

$D_k$  – количество используемых полноформатных листов;

$M_k$  – количество используемых деловых обрезков от ранее выполненных операций;

$L_k$  – количество получившихся заготовок;

$P_k$  – деловой задел будущих периодов (количество заготовок, которые могут быть использованы при производстве других КМИА);

$Q_k$  – количество деловых обрезков;

$\sigma$  – коэффициент, учитывающих накладные расходы, связанные с транспортировкой и хранением деловых обрезков.

Алгоритм решения рассматриваемой задачи является итерационным и включает в себя следующие этапы:

- разбиение текущего множества заготовок на подмножества с учетом характера их размещения на объектах (полноформатных листах, обрезках или незаполненных свободных частях) и достигнутого состояния степени их заполнения;

- решение задачи локальной оптимизации размещения заготовок с учетом результатов группирования в соответствии с дифференцированными критериями и формирование пространства альтернатив на основе комбинаторной генерации вариантов;
- оценка и фильтрация вариантов на основе глобального критерия оптимизации, представляющего собой линейную комбинацию локальных критериев с учетом приоритетов их действия, задаваемых коэффициентами удельных весов.

На начальном этапе решения задачи текущее множество заготовок  $\Psi$  совпадает с исходным множеством. В дальнейшем из его элементов формируются по принципу конструктивно-технологического подобия подмножества, которые замещают исходные элементы во множестве  $\Psi$ . Для полученного множества решается задача оптимального размещения по наиболее приоритетному критерию, результаты которой добавляются в пространство альтернатив.

Таким образом, процесс формирования пространства альтернатив является многоступенчатым, каждая ступень которого представляет собой построение частного решения задачи (6.4) в однокритериальном варианте. Это требует реализации набора правил конструирования текущих разбиений и правил оценки полученных решений на соответствие выбранному критерию с целью отсекаания заведомо неоптимальных вариантов. Указанная задача может быть поставлена следующим образом:

$$V = \bigcup_k \left( R \left( \bigcup_{i=1}^N Q_i(\Psi_i, r) \right) \setminus M(m, h) \right),$$

где  $V$  – искомое пространство альтернатив;

$K$  – глубина формирования, определяемая эвристическим путем;

$R$  – оператор оптимального размещения элементов текущего множества заготовок или их конструктивно-технологических комбинаций  $\Psi$ ;

$N$  – количество вариантов разбиения множества  $\Psi$ , определяемое действующими правилами;

$\Omega_i(\Psi_i, \rho)$  – оператор разбиения  $i$ -множества заготовок в соответствии с набором правил  $\rho = \{\rho_k\}$ ;

$M$  – оператор тестирования полученного варианта размещения на соответствие правилам допустимости  $\mu = \{\mu_k\}$  и оптимальности в смысле локального критерия оптимизации  $\eta = \{\eta_k\}$ .

Решение глобальной задачи получения оптимальных карт раскрытия реализуется посредством последовательного анализа элементов сформированного пространства альтернатив  $V$  на соответствие глобальному критерию оптимизации:

$$K_{opt} = \sum_{i=1}^N I_i \cdot K_{opt}^i,$$

где  $N$  – количество действующих локальных критериев оптимизации;

$\lambda_i$  – удельный вес  $i$ -го критерия оптимизации  $K_{opt}^i$ .

В качестве локальных критериев оптимизации выбираются следующие критерии, определяющие материалоемкость КМИА и трудоемкость его изготовления:

- максимизация коэффициента использования материала;
- минимизация общего количества резов;
- минимизация общей длины резов;
- оптимизация размеров деловых обрезков (максимизация их размеров и минимизация общего количества);
- минимизация перебазирования оборудования.

Коэффициент использования материала определяется в соответствии с (6.3). Он может рассчитываться двумя способами: с учетом последующего использования деловых обрезков и без учета; при этом заготовки, составляющие задел будущих периодов, учитываются всегда. Коэффициент использования материала во многом зависит от набора типоразмеров заготовок. В соответствии с разработанными в свое время ВПКТИМ рекомендациями при разработке карт раскроя полезный выход должен быть:

- не менее 92 % при раскрое ДСтП;
- 88...90 % при раскрое твердых ДВП с лакокрасочным покрытием;
- 85 % при раскрое фанеры.

В современных условиях позаказного промышленного производства набор используемых типоразмеров заготовок достаточно широк. К тому же размеры полноформатных плит могут варьироваться в зависимости от материала и используемой партии. Эти факторы ведут к уменьшению потенциально достижимых значений КИМ, однако, в качестве реперных показателей указанные рекомендации вполне актуальны.

Критерий минимизации общего количества резов совместно с критерием минимизации перебазирования определяют технологичность карт раскроя и имеют особую актуальность при раскрое большого количества полноформатных листов. Создание карт раскроя, реализация которых требует минимальных трудозатрат, является обязательным условием ТПП. Особенно важно это при раскрое на однопильном станке с ручной подачей, где все перемещения плиты материала осуществляются вручную.

На трудоемкость раскроя и последующего процесса организации технологического потока влияет состав деталей в карте раскроя. При составлении карт следует стремиться к тому, чтобы при раскрое одной плиты или

листа выходило минимальное количество типоразмеров деталей, а повторение одних тех же деталей в разных картах раскроя было минимальным или исключалось. Эти критерии оптимизации карт раскроя являются необходимыми и по этой причине включаются в сферу действия технологических ограничений, не доступных для модификации технологом.

Критерий минимизации общей длины резов превалирует при работе с особо твердыми или хрупкими материалами, требующими дорогого инструмента.

Совокупность указанных критериев представляет собой априорно противоречивое множество требований, поэтому в зависимости от поставленной задачи технолог определяет приоритет их действия. Для этого определяется множество коэффициентов  $\lambda = \{\lambda_k\}$ , представляющих собой значение удельного веса каждого критерия в глобальном критерии оптимизации. Для позаказного промышленного производства в большинстве случаев критерий максимизации КИМ является определяющим, и его удельный вес при раскрое заготовок из ДСтП находится в пределах  $0,6 \leq \lambda \leq 0,9$ . Зависимость значения КИМ от удельного веса критерия максимизации КИМ  $\lambda_{КИМ}$  при фиксированных значениях удельного веса критерия минимизации общего количества резов  $\lambda_{кр}$  и нулевых значениях удельных весов остальных локальных критериев оптимизации приведена на рис. 6.7.

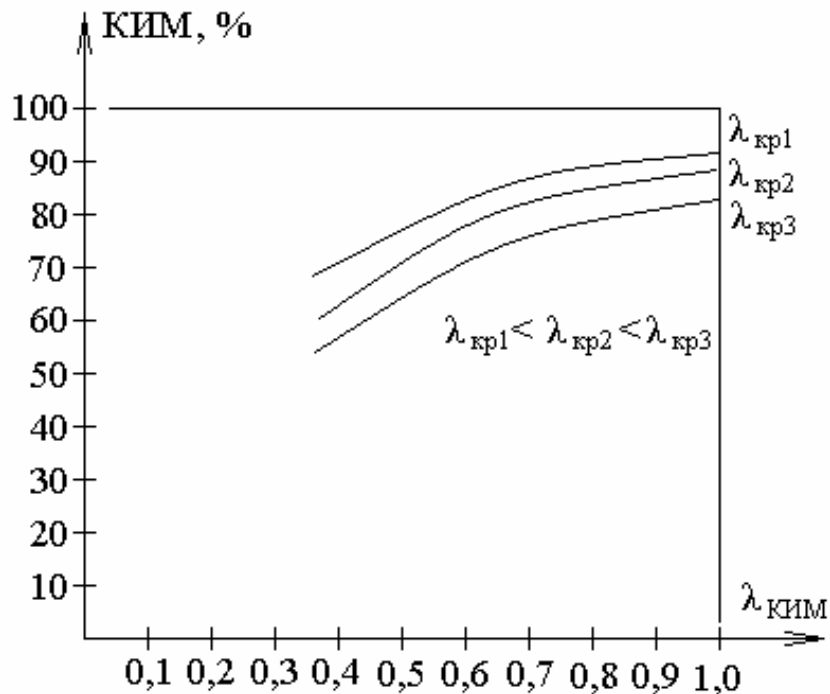


Рис. 6.7. Зависимость КИМ от удельного веса критерия

Задача уменьшения материалоемкости изделий в позаказном промышленном производстве является одним из важных факторов снижения себестоимости изделий, поэтому автоматизированный модуль оптимального многокритериального раскроя материалов является определяющей составной частью подсистемы АСТПП комплексной САПР корпусной мебели.

### **6.5. Разработка управляющих программ для станков с ЧПУ**

Стремление производителей мебели к повышению степени эксклюзивности выпускаемых изделий, вызванное требованиями современного рынка, неизбежно приводит к усложнению геометрических форм составных элементов КМИА, что обуславливает заметные изменения в технологии и организации производства. Изготовление подобных деталей представляет собой достаточно трудоемкий и длительный процесс, не гарантирующий идентичность их характеристик по всему множеству, что может привести к существенному снижению качества изделий, недопустимому в условиях позаказного промышленного производства. Мебельные предприятия оказываются перед необходимостью использования фрезерно-присадочных и кромкооблицовочных станков с ЧПУ, потому что качественная и быстрая обработка сложных деталей в промышленном масштабе возможна только на них.

Однако использование станков с ЧПУ ставит задачу проектирования управляющих программ, минимизировать трудоемкость которой можно путем автоматической передачи геометрической информации из математической модели КМИА через интерактивный прикладной модуль непосредственно в систему управления станка.

В процессе формирования траектории движения инструмента необходимо обеспечить технологические требования обработки материала, несоблюдение которых приводит к искажению геометрических параметров контура панели, ухудшению качества поверхности реза, а в отдельных случаях и к выходу из строя станка. По этой причине полностью автоматические алгоритмы формирования траектории не всегда могут гарантировать полное и безошибочное соблюдение всех технологических требований. Модуль проектирования УП для станков с ЧПУ должен реализовывать следующие основные операции:

- автоматическое получение всей необходимой информации из математической модели изделия;

- автоматическое формирование траекторий движения инструмента;
- интерактивный режим проектирования УП, обеспечивающий реализацию максимального набора проектных операций;
- автоматическая генерация текста УП для выбранного станка с ЧПУ с возможностью ее верификации в покадровом и контурном режимах, а также в режиме съема материала;
- разработка постпроцессоров для новых станков без привлечения сторонних специалистов.

Математическая модель мебельного изделия включает в себя большой объем разобщенных геометрических данных об отдельных составных элементах. Это не является критичным при выполнении проектных операций дизайнерско-конструкторского этапа ЖЦИ, однако становится таковым при переходе к проектированию технологических процессов обработки. Модуль импорта геометрической информации из математической модели изделия должен реализовывать автоматический режим препроцессорной обработки контуров панелей с целью их упорядочения, а также поиска и локализации потенциально ошибочных элементов и мест их сопряжения.

Автоматическое формирование траектории движения инструмента должно выполняться на основе учета и анализа следующей совокупности данных:

- геометрические параметры контура обработки и инструмента;
- способ подвода и отвода инструмента: по касательной, нормали или дуге;
- схемы врезания и движения инструмента. В общем случае траектория движения инструмента представляет собой последовательность стандартных фаз: подвод, врезание, черновой проход, чистовой проход, отвод инструмента;
- наличие в переходе черновой и чистовой обработки: припуск на чистовую обработку, перекрытие следа фрезы на начальном участке, перебег фрезы;
- режимы резания, определяемые для каждой фазы обработки с возможностью автоматического изменения подачи в зависимости от типа обрабатываемого участка.

Для автоматической генерации текста УП необходимо задать большое количество параметров, многие из которых назначаются технологами на основании собственного опыта. В этом случае траектория движения инструмента может получиться неоптимальной, например, с большим количеством мест резкой смены движения инструмента, из-за чего приводы станка значительную часть времени будут находиться в режиме торможе-

ния или разгона. Помимо этого конструкционные свойства основного мебельного материала (ДСтП) накладывают ряд ограничений на геометрические параметры обрабатываемых контуров.

Для достижения оптимальных результатов проектирования УП в соответствующий технологический модуль необходимо включить следующие возможности:

- определение технологических параметров и режимов как непосредственно в ходе корректировки автоматически сгенерированной программы, так и в режиме предварительной настройки при работе с типовыми и групповыми представителями;
- определение режимов обработки критических участков траектории, например, внутренних и внешних сопряжений;
- задание чернового и чистового режимов обработки с возможностью формирования траекторий многопроходной обработки и определения последовательности формирования проходов;
- определение любых допустимых режимов подвода, врезания, отвода и выхода инструмента, а также его промежуточного отвода в случае многопроходной обработки;
- формирование ассоциативных связей обрабатываемых контуров и параметров обработки с целью последующей автоматической модификации траекторий при изменении геометрии и организации библиотек типовых обрабатываемых контуров.

Важное значение в процессе ТПП при использовании станков с ЧПУ принадлежит графической верификации УП. Несмотря на то, что их формат достаточно прост, в тексте программы имеются обращения ко многим подготовительным и вспомогательным функциям. Помимо этого в них включаются множественные способы круговой интерполяции и различные способы кодирования перемещений. Это делает практически невозможным для технолога визуальный режим верификации УП по ее тексту.

Модуль графической верификации разрабатывается таким образом, чтобы обеспечить его настройку на любую УП на уровне технолога. Для этого необходимо преобразовать код программы с помощью препроцессора верификатора в промежуточный формат, который воспринимается верификатором для графической трассировки траекторий. Данный препроцессор изначально настраивается на наиболее распространенные варианты систем ЧПУ. Помимо этого он может быть быстро адаптирован практически на любую иную систему ЧПУ при помощи универсального препроцессора – шаблона, поля которого заполняет непосредственно технолог (рис. 6.8).

Основные возможности модуля графической верификации следующие:

- ускоренная верификация программы с возможностью визуализации процесса съема материала;
- покадровое верифицирование;
- режим отладки программы с выдачей подробной информации о геометрических и технологических параметрах обрабатываемой поверхности и движении режущего инструмента в каждом кадре УП;
- измерение угловых и линейных размеров;
- формирование стека контрольных точек;
- контроль зарезов обрабатываемой поверхности, а также соударений или зарезов контрольной поверхности, с которой не допустим контакт режущего инструмента в процессе обработки (рис. 6.9);
- фильтрация и управление параметрами отображения.



Рис. 6.8. Схема верификации УП



Рис. 6.9. Схема образования зарезов



Для адаптации модуля проектирования УП к конкретной системе ЧПУ существует две возможности:

- использование стандартного постпроцессора из существующей библиотеки;
- построение системно-ориентированного постпроцессора средствами универсального постпроцессора с последующим занесением его в библиотеку.

Таким образом, интеграция автоматизированной системы конструирования КМИА с АСТПП в рамках комплексной мебельной САПР позволяет технологу получить следующие преимущества:

- абсолютное соответствие геометрических моделей на конструкторском и технологическом отрезках ЖЦИ;
- использование конструкторского модуля для определения технологических особенностей производства в силу того, что многие технологические параметры либо, по сути, являются геометрическими, либо допускают очевидную геометрическую интерпретацию;
- оптимальное сочетание автоматического, автоматизированного и ручного режимов проектирования УП.

При включении модуля автоматизации ТПП в сферу действия концепции БОПП появляется исключительно важное дополнительное преимущество, обусловленное переносом части технологических проектных операций на уровень конструирования, что является более высоким уровнем абстракции для технологического проектирования.

При выполнении проектных операций конструирования учет технологических особенностей изготовления КМИА существенно зависит от квалификации конструктора и знания им технологии. Опыт показывает, что конструктор далеко не всегда интуитивно или осознанно учитывает технологические особенности изготовления; очень часто многие параметры деталей выбираются им спонтанно, исходя из субъективных предпочтений или пожеланий дизайнера. Базовый постулат концепции БОПП предполагает формирование базы данных КТТО на абстрактном уровне и доступ к ней при реализации проектных операций на всем протяжении ЖЦИ [66, 82].

Проектирование КМИА с учетом КТТО позволяет избежать большого количества нетехнологичных конструктивных решений. Это дает дополнительную экономию ресурсов за счет минимизации длительности обработки деталей и количества сменного инструмента, уменьшения времени согласований принятых решений между конструктором и технологом и сокращения количества технологических переходов, что в конечном итоге приводит к снижению себестоимости изготовления изделий.

## 6.6. Выпуск технологической документации

Технологическая документация (ТД) представляет собой комплекс графических и текстовых документов, определяющих технологию изготовления КМИА и содержащих полный набор данных, необходимых для организации производства. Основными технологическими документами являются:

- маршрутная карта, содержащая описание ТП изготовления изделия, которая включает в себя упорядоченную последовательность технологических операций с указанием используемого оборудования, оснастки, инструмента, материалов и ряда других параметров;
- карта эскизов, графически отображающая основные этапы ТП изготовления;
- операционная карта, содержащая подробную информацию о разделении ТП на операции;
- технологическая карта на отдельный вид работ (раскрой материалов, изготовление комплекта дверей и т. п.);
- комплектовочная карта с информацией о деталях и сборочных единицах;
- технологические инструкции, содержащие описания методов контроля ТП, правил использования оборудования, техники безопасности и т.д.;
- ведомость оснастки (спецификация) с перечнем необходимых приспособлений и инструментов;
- ведомость материалов (спецификация), определяющая нормы расхода материалов на изготовление каждой детали.

Комплектность ТД на конкретное мебельное изделие определяется его видом, сложностью изготовления, организацией производства и принятыми стандартами предприятия. Вся документация формируется в автоматическом или автоматизированном режиме на основании математической модели КМИА и выбранного ТП изготовления.

При проектировании ТП в АСТПП мебельных изделий широко применяется метод групповой технологии, базирующийся на объединении деталей в группы по критерию конструктивного или технологического подобия [122, 146, 147]. На предприятии формируется база данных деталей и технологий, которая используется технологами для выбора базового ТП и его последующей модификации в случае необходимости. Для каждой группы деталей определяется деталь-представитель (реальная деталь, обладающая максимальным набором присущих всем деталям группы свойств)

или комплексная деталь (деталь, объединяющая свойства всех деталей группы).

Условием использования групповой технологии является разработка и принятие в качестве стандарта предприятия системы классификации и кодирования деталей. Учитывая позаказный характер организации производства, предпочтение отдается использованию цепного кода, который, несмотря на меньшую информативность по сравнению с иерархическим кодом, легко конструируется и модифицируется.

Маршрут обработки любой детали генерируется автоматически после ее кодирования и ввода полученного кода в автоматизированную систему. Он представляет собой маршрутную карту ТП изготовления детали-представителя или комплексной детали, которая в дальнейшем подвергается необходимой доработке.

Карта эскизов может представлять собой отдельный технологический документ, но в мебельном производстве операционные эскизы чаще включаются в маршрутные, операционные или маршрутно-операционные карты. Они формируются средствами конструкторской САПР путем редукции существующей математической модели.

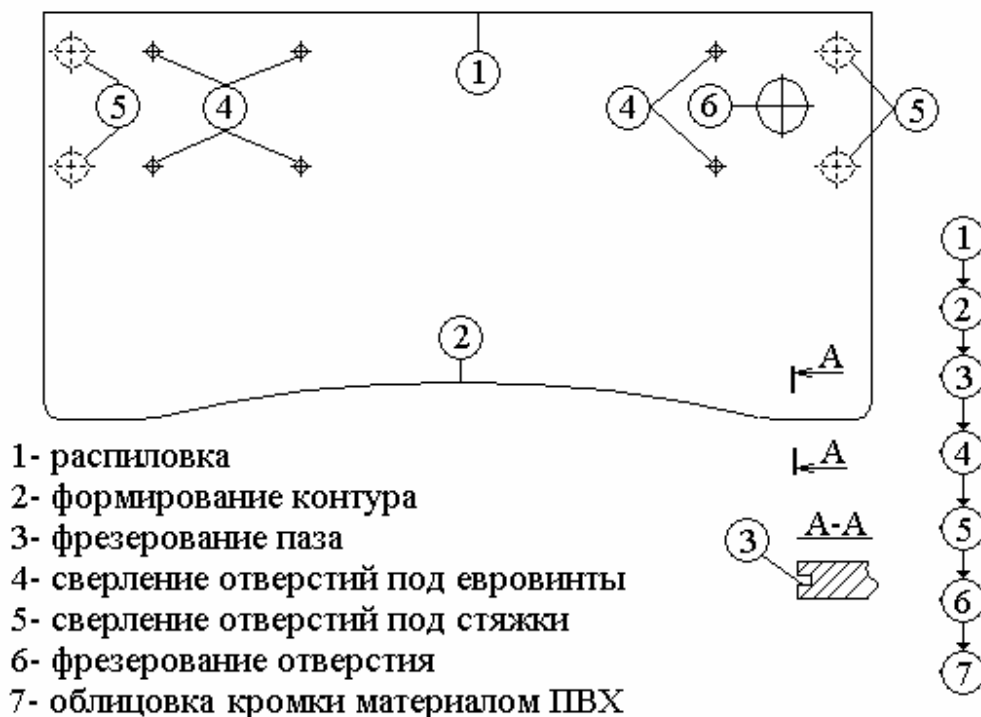
Операционные карты представляют собой результат декомпозиции информационной модели детали на отдельные обрабатываемые поверхности с учетом ее конструктивно-технологической структуры. Дифференцирование и концентрация переходов осуществляются исходя из требования общих технологических баз и используемого инструмента. Результаты выполнения указанных действий можно представить в виде орграфа, пример которого приведен на рис. 6.10. В соответствии с ним на основании информации, содержащейся в технологической БД, автоматически формируется операционная карта, которая передается в специализированный табличный редактор для окончательной доработки.

Набор технологических карт, формируемых на отдельные виды работ, определяется спецификой КМИА, которые выпускает предприятие. Единственными подобными документами, применяемыми всеми мебельными предприятиями независимо от номенклатуры и структуры производства, являются карты раскроя листовых и погонных материалов. В состав любой комплексной мебельной САПР входит соответствующий модуль, принципы работы которого рассмотрены в разделе 6.4.

Иные подобные документы формируются в зависимости от потребностей ТП изготовления. Для этого существуют специальные программы-мастера, обладающие необходимой функциональностью. В качестве примера можно привести мастер построения профильных раздвижных дверей,

который позволяет в интерактивном режиме формировать технологические карты изготовления, содержащие следующую информацию:

- параметры и геометрические размеры элементов профильной системы и системы раздвижения;
- размеры, материалы и порядок стыковки составных элементов каждой двери;
- эскизы декоративных рисунков, выполняемых на отдельных элементах.



*Рис. 6.10. Орграф структуры переходов*

Комплектовочная карта с информацией о деталях и сборочных единицах, а также спецификация на используемые листовые и облицовочные материалы формируются полностью автоматически на основании обработки информации, содержащейся в математической модели КМИА и базе данных. Они представляют собой таблицы заданной структуры, в которых выводятся наименование и код элемента, точное расчетное количество данных элементов в составе изделия и единицы измерения. Специальный редактор форм спецификаций позволяет получать документы в том виде, который принят на конкретном предприятии.

Аналогичным образом выполняется формирование ведомости оснастки и инструментов, только исходной информацией является маршрутно-операционная технология изготовления изделия.

Для получения различных технологических инструкций разрабатывается специализированный текстовый редактор, включающий в свой состав большое количество типовых описаний методов контроля ТП, правил использования оборудования, требований техники безопасности и других необходимых элементов. Каждый такой элемент состоит из двух частей: постоянной и переменной. При включении его в инструкцию постоянная часть остается неизменной, а переменная – варьируется технологом в зависимости от контекста использования.

Таким образом, большая часть ТД в рамках комплексной САПР мебельных изделий формируется в автоматическом или автоматизированном режиме, что дает существенное сокращение времени ТПП при одновременном сокращении количества субъективных ошибок.

## **6.7. Нормирование изготовления изделия**

Нормирование представляет собой важную составляющую конкурентоспособности выпускаемой продукции, поскольку позволяет снизить себестоимость изготовления КМИА и повысить эффективность управления затратами, что является основой формирования гибкой политики ценообразования. Это часть процесса ТПП, которая решает следующие основные задачи:

- точное нормирование расхода материалов и комплектующих;
- расчет планируемых материальных затрат на изготовление изделия;
- учет фактических материальных затрат на его изготовление;
- контроль и анализ значений отклонения фактических материальных затрат от планируемых затрат;
- точное нормирование затрат времени, необходимого на выполнение отдельных операций, предусмотренных ТП изготовления изделия;
- расчет планируемых трудовых затрат на изготовление изделия;
- учет фактических трудовых затрат на его изготовление;
- контроль и анализ значений отклонения фактических трудовых затрат от планируемых затрат;
- составление и анализ производственных планов с расчетом плановой себестоимости, прибыли, рентабельности и других планово-

экономических показателей, как на единицу выпускаемой продукции, так и по всему ассортименту или по всем подразделениям предприятия;

- формирование эффективного плана материально-технического снабжения и оптимизации запасов материалов и комплектующих, направленное на минимизацию издержек закупки и хранения складских запасов.

Математическая модель КМИА, сформированная на этапе конструирования в САПР, разработанной в рамках концепции БОПП, содержит необходимый объем информации для нормирования расхода материалов и комплектующих. Элементы, из которых формируется модель, являются абстрагированным отображением реальных объектов, характеризующимся не только геометрическими параметрами, но и алгоритмами учета потребного их количества в конструируемом изделии. В набор параметров любого элемента КМИА входит признак, определяющий размерность показателя расхода:

- площадь (ДСтП, ДВП, облицовочный пластик и т.д.);
- линейный размер (кромочный материал, профили, столешницы, направляющие механизмов раздвижных дверей и т.д.);
- штучный учет (ручки, комплекты систем выдвижения ящиков, светильники и т.д.);
- вес или объем (клей, растворитель и т.д.).

На основании анализа математической модели выполняется точный дифференцированный расчет необходимого количества материалов  $Q_m$ , результаты которого оформляются в виде спецификации:

$$Q_m = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^M \beta_j \cdot l_j + \sum_{k=1}^L g_k \cdot H_k, \quad (6.5)$$

где  $N$  – количество материалов, учетной характеристикой которых является площадь;

$\alpha_i$  – повышающий коэффициент, учитывающий отходы при раскрое  $i$ -го площадного материала;

$S_i$  – суммарная площадь деталей из  $i$ -го материала в структуре КМИА;

$M$  – количество материалов, учитывающихся в единицах длины;

$\beta_j$  – повышающий коэффициент, учитывающий отходы при раскрое  $j$ -го погонного материала;

$l_j$  – суммарный линейный размер деталей из  $j$ -го материала в структуре КМИА;

$L$  – количество материалов, учитывающихся в штуках;

$\gamma_k$  – повышающий коэффициент, учитывающий производственные и внепроизводственные, отнесенные к  $k$ -ому материалу;

$H_k$  – количество штучных деталей  $k$ -го наименования.

Сводная спецификация материальных затрат по всей номенклатуре выпускаемых изделий является основой расчета материальных затрат на планируемый период. Учет фактических затрат за тот же период и сравнение полученных показателей с планируемыми показателями дает статистическую информацию для определения и уточнения значений повышающих коэффициентов. При достаточном периоде наблюдения они получают высокую степень достоверности, что дает возможность минимизации внепроизводственных издержек на основе анализа величин отклонений фактических материальных затрат  $Z_{факт}$  от запланированных затрат  $Z_{план}$ , которые не должны превышать предельных значений  $\Delta_i$  по каждой позиции:

$$|Z_{факт} - Z_{план}| \leq \Delta_j.$$

Планирование трудовых затрат на изготовление КМИА алгоритмически идентично планированию материальных затрат. Все выполняемые работы дифференцируются по характеру отношения к отдельным параметрам деталей или изделия в целом, что показано на рис. 6.11.



Рис. 6.11. Структура учета трудоемкости работ

Трудоемкость линейных работ, таких как прямолинейная распиловка, фрезерование пазов, облицовка кромок и т.д., прямо пропорциональна соответствующим линейным размерам, которые автоматически определяются в процессе анализа математической модели КМИА. Аналогично рассчитывается и трудоемкость площадных работ: облицовка пласти панелей пластиком, очистка панелей от пыли, нанесение лакокрасочных покрытий и т.д.

Работы, нормирование которых выполняется в единицах штучного количества, разбиваются в соответствии с имеющимся ТП на единичные и групповые, причем указанное разбиение носит динамический характер и может изменяться даже в пределах одного изделия. Например, операция сверления отверстий по отношению к монтажу ручек выдвижных ящиков является операцией единичного учета, а та же самая операция, выполняемая при сплошной перфорации вертикальных перегородок, относится к операции группового учета.

Трудоемкость ряда операций (сборка изделия, упаковка, погрузка и т.п.) не может быть «привязана» к каким-то конкретным параметрам модели изделия. В этом случае она рассчитывается по отношению к выделенной группе деталей или изделию в целом на основе использования коэффициентов, определяемых эвристическим путем.

Трудоемкость изготовления КМИА  $Q_p$  рассчитывается в нормо-часах дифференцировано по операциям, а результаты расчетов оформляются в виде таблиц операций:

$$Q_p = \sum_{i=1}^I m_i \cdot S_i + \sum_{j=1}^J n_j \cdot l_j + \sum_{k=1}^K x_k + \sum_{m=1}^M r_m \cdot X_m, \quad (6.6)$$

где  $I$  – количество операций, учет трудоемкости которых пропорционален площади поверхности детали или ее части;

$\mu_i$  – коэффициент трудоемкости  $i$ -ой площадной операции;

$S_i$  – суммарная площадь деталей в изделии, требующих выполнения  $i$ -ой операции;

$J$  – количество операций, учет трудоемкости которых пропорционален линейным параметрам детали;

$\nu_j$  – коэффициент трудоемкости  $j$ -ой линейной операции;

$l_j$  – суммарная длина деталей в изделии, требующих выполнения  $j$ -ой операции;

$K$  – количество операций, трудоемкость которых определяется видом, назначением, функционально-конструктивными и иными особенностями изделия;

$\xi_k$  – трудоемкость  $k$ -ой операции предыдущего типа;

$L$  – количество операций, учитываемых в единицах исполнения;

$\rho_m$  – трудоемкость  $m$ -ой операции, учитываемой в единицах исполнения;  $X_m$  – суммарное количество элементов, реализуемых единичной или групповой  $m$ -ой операцией.

Не все материалы, требующиеся при изготовлении и реализации КМИА, явно входят в структуру математической модели. Они образуют множество «невизуальных» материальных компонентов изделия – сопутствующих материалов, требующихся для выполнения предписанной ТП по-



следовательности операций. Эти материалы дифференцируются по отношению к параметрам деталей точно так же, как и основные материалы, а их нормирование выполняется в соответствии с (6.5), если повышающие коэффициенты заменить коэффициентами удельного расхода.

Множество сопутствующих материалов состоит из цепочек, представляющих собой рекурсивные нециклические группы, и описывается следующим соотношением:

$$S = \bigcup_j S_j(q_j) = \bigcup_j \left( \bigcup_i \left( m_i^j \bigcup_k S(q_k^i) \right) \right), \quad (6.7)$$

$$m_i^j \cap S(q_k^i) = \emptyset, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K,$$

где  $S(q_j)$  – цепочка сопутствующих материалов для выполнения  $j$ -ой операции;

$m_i^j$  –  $i$ -ый сопутствующий материал, необходимый для выполнения  $j$ -ой операции.

Исходя из формулы (6.6), с учетом (6.4), необходимое количество сопутствующих материалов определяется функциональной зависимостью вида:

$$Q_c = \sum_j F(S_j) \quad (6.8)$$

Объединяя (6.5), (6.6) и (6.8), получим формулу для нормирования суммарных материальных и трудовых затрат на изготовление единицы КМИА:

$$Q = Q_m + Q_p + Q_c.$$

Переход к планированию финансово-экономических показателей производства требует выполнения двух условий:

- внесение в БД материалов информации о стоимости материалов и комплектующих;
- директивное определение стоимости нормо-часа выполненной работы.

Себестоимость изготовления единицы КМИА  $C$  можно рассчитать по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^N c_i \cdot m_i + c_{н-ч} \cdot \sum_{i=1}^M q_i + \sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^{K^j} c_i^j \cdot m_i^j, \quad (6.9)$$

где  $N$  – количество видов основных материалов в изделии;

$c_i$  – стоимость  $i$ -го основного или сопутствующего материала в изделии, отнесенная к единице его учета [руб./ед.];

$m_i$  – количество основного или сопутствующего материала  $i$ -го вида в единицах учета;

$c_{н-ч}$  – стоимость нормо-часа;

$M$  – количество операций;

$q_i$  – трудоемкость выполнения  $i$ -ой операции в нормо-часах;

$L$  – количество цепочек сопутствующих материалов;

$K^j$  – количество элементов в  $j$ -ой цепочке.

Таким образом, в модуле экономических расчетов комплексной САПР мебели, разработанным на основе рассмотренных принципов, нормирование трудовых и материальных затрат, а также себестоимости изготовления изделия, выполняются автоматически на основе информации, содержащейся в математической модели и БД. При правильном информационном наполнении БД и поддержании актуальности рассчитанные показатели имеют высокую степень достоверности и могут использоваться в качестве базовых показателей для реализации следующих задач, актуальных для позаказного промышленного производства:

- оперативное и среднесрочное производственное планирование;
- факторный анализ экономических показателей;
- расчет технико-экономических допусков;
- планирование и определение экономически оптимальных вариантов автоматизации производства.

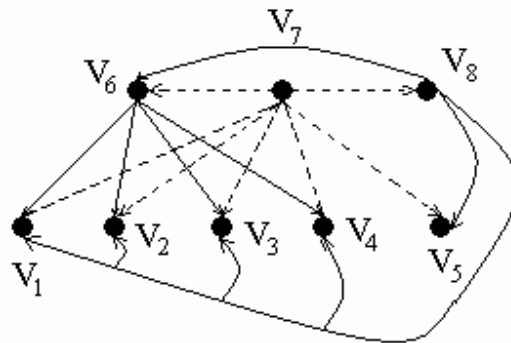
Дополнительный эффект от внедрения рассмотренного подхода заключается в возможности тесной интеграции работы экономического модуля с подсистемой автоматизации складского учета для формирования эффективного плана материально-технического снабжения. Оптимизация складских запасов материалов и комплектующих позволяет уменьшить внепроизводственные издержки, что, в свою очередь, вносит определенный вклад в уменьшение себестоимости изделий.

## 6.8. Расчет производственных мощностей

Производственная система представляет собой комплекс взаимодействующих подразделений, совместно решающих задачу выпуска заданного объема продукции требуемого качества в приемлемые сроки с минимальными издержками. С позиций системного подхода ее можно рассматривать как совокупность восьми производственных подсистем и трех потоков: материального, энергетического и информационного [147], что показано на рис. 6.12 в виде многосвязного раскрашенного орграфа.

Для общей характеристики потенциальных возможностей производственной системы или ее отдельных структурных подразделений используется понятие производственной мощности, отражающей максимальную способность выпуска товарной продукции в натуральном или денежном

выражении, отнесенную к определенному периоду времени. По характеру расчета производственная мощность может быть планируемой и фактической. Важность данного показателя для анализа результатов работы предприятия определяется возможностью его использования для внутреннего (в различные периоды времени) и внешнего (по сравнению с аналогичными предприятиями) мониторинга результатов хозяйственной деятельности в целях выявления резервов для повышения производительности труда.



$V_1$  – технологическая подсистема;  $V_2$  – инструментальная подсистема;  
 $V_3$  – подсистема контроля качества;  $V_4$  – складская подсистема;  
 $V_5$  – подсистема охраны труда;  $V_6$  – транспортная подсистема;  
 $V_7$  – подсистема технического обслуживания;  
 $V_8$  – подсистема управления и ОТПП.

**Рис. 6.12. Орграф структуры производственной системы**

Сложности применения показателя производственной мощности в заказном промышленном производстве связаны с широкой номенклатурой выпускаемой продукции, когда несколько ее видов одновременно находятся в производстве, причем уровень автоматизации производственного процесса различается как по отдельным универсальным технологическим операциям, так и по отдельным изделиям. В таких условиях расчет производственной мощности в натуральных единицах становится весьма затруднительным. Для расчета производственной мощности в денежном выражении практически невозможно выделить профилирующую продукцию. Помимо этого цена аналогичной продукции может широко варьироваться в территориальном разрезе.

Тем не менее, расчет и планирование производственной мощности является важным этапом ОТПП мебельных изделий. Для минимизации влияния на этот показатель отмеченных выше факторов предлагается ряд методических рекомендаций, применение которых особенно рационально в условиях автоматизации ТПП.

Математическая модель мебельного изделия, сформированная на этапе конструирования, содержит необходимую информацию для расчета базовых технико-экономических показателей, которые могут служить основой оценки производственной мощности.

Производственная мощность мебельного предприятия, работающего в условиях позаказного промышленного производства, определяется дифференцировано по каждой группе конструктивно однородных видов номенклатуры продукции, планируемой к выпуску или находящейся в производстве, в натуральном и денежном исчислении. В последнем случае за основу берется себестоимость продукции, рассчитанная на основе автоматизированного нормирования материальных и трудовых затрат (6.5–6.9). При выполнении расчетов учитывается все имеющееся и вводимое в эксплуатацию в течение планового или отчетного периода производственное оборудование за исключением оборудования ремонтных, инструментальных и других вспомогательных служб предприятия.

В силу дискретного характера мебельного производства эффективный фонд времени работы оборудования определяется числом рабочих дней в году, коэффициентом сменности и длительностью рабочей смены по формуле:

$$T_{эф} = (T_k - T_в) \cdot t_{см} \cdot k_{см} - (T_{нпр} - T_{сн} - T_{от} - T_n),$$

где  $T_{эф}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, [час];

$T_k$  – календарный фонд времени, [дни];

$T_в$  – общее количество выходных и праздничных дней;

$t_{см}$  – продолжительность рабочей смены, [час];

$k_{см}$  – коэффициентом сменности;

$T_{нпр}$  – время, затраченное на проведение планово-профилактических ремонтных работ, [час];

$T_{сн}$  – время собственных простоев оборудования (смена инструмента, обнаружение и устранение отказов, очистка оборудования и т.д.), [час];

$T_{от}$  – время простоев по организационно-техническим причинам (отсутствие заготовок, сбой в подаче электроэнергии, простои по субъективным причинам и т.д.), [час];

$T_n$  – время простоев для переналадки оборудования (замена инструмента или технологической оснастки, ввод новой управляющей программы и т.д.), [час].

Показатель  $T_{нпр}$  для среднего и капитального ремонтов оборудования определяется в соответствии с действующими нормативами, а для проведения технического обслуживания и профилактических работ – расчетно-техническими нормами производительности оборудования. Остальные по-

казатели простоев оборудования учитываются либо через соответствующие безразмерные коэффициенты, либо через внецикловые потери – потери времени, отнесенные к единице выпущенной продукции. В обоих случаях их значения являются случайными величинами, а, следовательно, достоверность определяется продолжительностью производственного наблюдения.

Производственная мощность мебельного предприятия в натуральном исчислении может быть рассчитана по формуле:

$$M = \sum_i \sum_j Q_{i,j} \cdot T_{эф}^{i,j} \cdot n_{i,j}, \quad (6.10)$$

где  $M$  – производственная мощность в натуральных единицах, [шт];

$i$  – индекс вида продукции;

$j$  – индекс вида оборудования;

$Q_{i,j}$  – производительность единицы оборудования, [шт/час];

$T_{эф}^{i,j}$  – эффективный фонд времени работы единицы оборудования за расчетный период, [час];

$n_{i,j}$  – количество единиц оборудования.

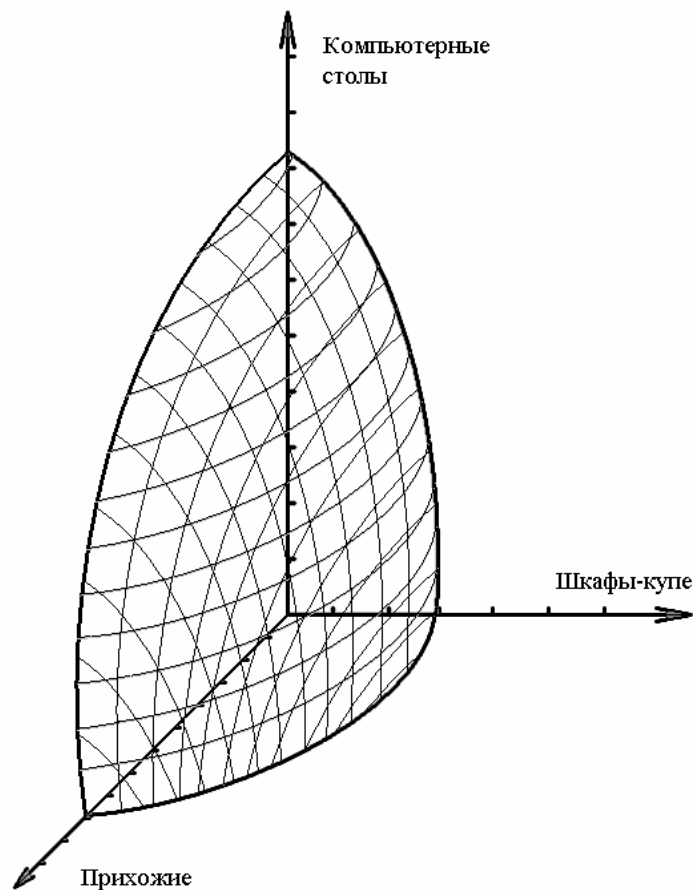
Для сравнительного анализа экономических характеристик мебельных предприятий, работающих в условиях позаказного промышленного производства, может быть использован показатель, основанный на микроэкономическом понятии границы производственных возможностей [147]. Часть исходных данных для его расчета также априорно закладывается в математическую модель КМИА на этапе конструирования и определяется в процессе автоматизированной ТПП, как и при расчете производственной мощности.

Граница производственных возможностей (ГПВ) представляет собой кривую в  $n$ -мерном пространстве, каждая точка которой определяет объем выпуска продукции при полном использовании производственных ресурсов. Размерность пространства соответствует количеству единиц номенклатуры выпускаемых изделий. Для уменьшения размерности пространства и определения границы производственных возможностей целесообразно провести концентрацию изделий по признаку функционально-конструктивного подобия. Пример соответствующей кривой для случая трех видов изделий приведен на рис. 6.13.

По своей сути граница производственных возможностей определяет пиковую производственную мощность предприятия. Этот показатель имеет два основных достоинства по сравнению с производственной мощностью, определяемой по формуле (6.10), – математическая однозначность, как следствие расчета в условиях максимального использования ресурсов предприятия, и независимость от субъективного понятия цены. Однако ему

присущи все недостатки показателя производственной мощности, отмеченные выше.

Любая точка, лежащая внутри объема, очерченного границей производственных возможностей, соответствует выпуску продукции в конкретных производственных условиях (точка текущего выпуска). Луч, проведенный из начала системы координат через выбранную точку указанного пространства до пересечения с ГПВ, дает точку, определяющую максимальный объем выпуска продукции при неизменной структуре ассортимента (точка максимального выпуска). Соответственно, часть ГПВ, вырезаемая плоскостями, параллельными координатным плоскостям и проходящими через выбранную точку, определяет возможные варианты повышения объемов выпуска продукции за счет изменения структуры ассортимента при сохранении производственной ситуации.



*Рис. 6.13. Граница производственных возможностей для трех видов изделий*

Отношение проекции точки текущего выпуска (А) на  $i$ -ую координатную ось к проекции точки максимального выпуска (В) на ту же ось определяет долю загрузки производственного оборудования  $i$ -ым видом продукции в условиях неизменной структуры ассортимента:

$$s_i = \frac{\overline{np_i A}}{\overline{np_i B}}. \quad (6.11)$$

Данный показатель, наряду с производственной мощностью, может использоваться для сравнительного анализа эффективности работы мебельного предприятия в различные периоды времени или относительно других предприятий.

Проблемой, препятствующей использованию показателя  $\sigma$ , является сложность построения поверхности в многомерном пространстве. Однако специфика позаказного промышленного производства и ряд допущений, незначительно уменьшающих точность расчетов, позволяют аппроксимировать ГПВ участками двумерных плоскостей.

Производственный цикл мебельного изделия включает в себя относительно небольшое количество операций, а, следовательно, и производственного оборудования. Можно считать, что ТП изготовления КМИА в укрупненном виде представляет собой последовательность следующих операций:

- распиловка на прямоугольные заготовки;
- формообразование сложных поверхностей;
- облицовка кромок;
- фрезерно-присадочные операции.

Без ограничения общности подхода можно принять тезис о том, что ТП изготовления каждого изделия предполагает наличие операций, выполняемых на всех единицах оборудования, а также о том, что возможности оборудования инварианты к выпускаемой номенклатуре. Помимо этого можно считать, что на основании известной трудоемкости изготовления изделия (6.5) и производительности оборудования, всегда можно получить показатели максимальной штучной производительности любого типа оборудования по отношению к конкретному виду продукции. Последнее допущение состоит в том, что время собственных простоев оборудования, простоев по организационно-техническим причинам и простоев для переналадки неизмеримо малы по сравнению с рабочим временем.

В рамках принятых предположений, ГПВ каждого элемента оборудования будет представлять собой  $n$ -мерную плоскость, пересекающую оси координат в точках, соответствующих его максимальной производительности по отношению к виду продукции, определяемого данной осью. Граница области минимального объема, заключенной между построенными и координатными плоскостями, будет представлять собой приближенное значение ГПВ предприятия. Рис. 6.14 иллюстрирует сказанное для случая выпуска трех видов изделия на трех элементах оборудования.

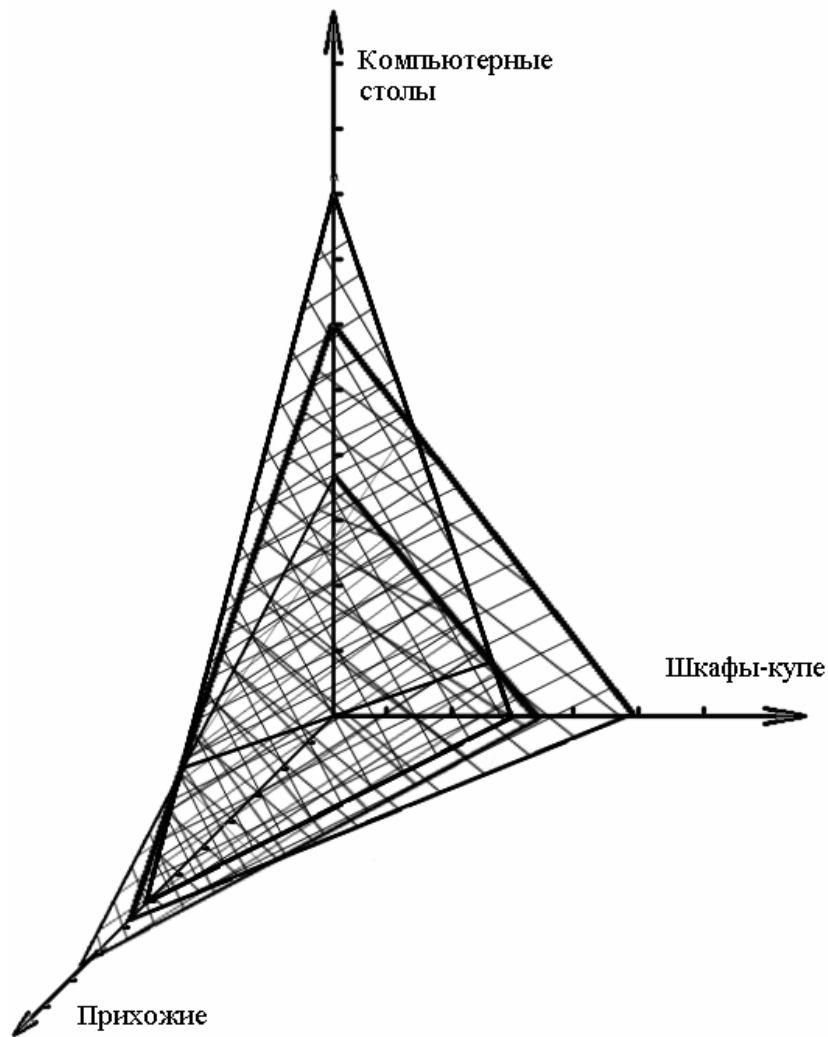


Рис. 6.14. Аппроксимация кривой ГПВ

ГПВ в условиях принятых ограничений описывается линейной зависимостью от объема выпуска продукции вида:

$$\sum_{i=1}^N \frac{x_i}{x_{\max i}} = 1, \quad (6.12)$$

где  $N$  – количество выпускаемой продукции;

$x_i$  – объем выпуска  $i$ -го вида продукции;

$x_{\max i}$  – максимально возможный объем выпуска  $i$ -го вида продукции.

С другой стороны, из формулы (6.11) следует:

$$s = \sum_{i=1}^N s_i = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{x_{\max i}}. \quad (6.13)$$

Следовательно, при максимальной загрузке оборудования ( $\sigma=1$ ) точка, соответствующая данному объему выпуска будет принадлежать ГПВ



предприятия. Таким образом, определив долю загрузки каждого элемента оборудования, можно определить долю загрузки всего оборудования, которая, очевидно, будет совпадать с долей максимально загруженного элемента.

Рассмотренные подходы к расчету производственной мощности предприятия, несмотря на наличие ряда условий и ограничений, вполне применимы для многих мебельных предприятий, работающих в условиях позаказного промышленного производства.

Таким образом, высокая эффективность АСТПП изделий на принципах концепции БОПП определяется следующими основными факторами:

- часть операций ТПП может быть перенесена на этап конструирования, имеющий более высокий уровень абстрагирования, что позволяет исключить ряд субъективных ошибок до перехода к технологическому проектированию;
- этап ТПП может оперировать практически всем инструментарием геометрического моделирования;
- использование ассоциативной связи «геометрия-технология» .

## **ГЛАВА 7**

### **ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА МЕБЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И ЗАДАЧА ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ ПОЗАКАЗНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Смена существующей производственной парадигмы, заключающаяся в переходе к позаказному промышленному производству КМИА, обязывает учитывать специфику последнего, в том числе – изменившуюся структуру информационных отношений и возросшую интенсивность информационных обменов. В этих условиях решение задачи комплексной автоматизации мебельного предприятия невозможно без эффективной реализации его информационной инфраструктуры.

Современное производство, вне зависимости от отраслевой принадлежности, предполагает согласованную работу всех служб и подразделений. На мебельных предприятиях этап локальной автоматизации работы отдельных служб и подразделений можно считать завершенным, вследствие чего дальнейшее повышение экономической эффективности бизнес-процессов возможно только в условиях комплексной автоматизации, охватывающей все этапы жизненного цикла изделий в рамках единого информационного пространства (ЕИП).

Исторически процессы КТПП и управления на предприятиях реализовывались на платформах различных автоматизированных систем, зачастую стихийно, когда каждое подразделение решало свои задачи, исходя из частных критериев, в отсутствие системного анализа существующих и перспективных бизнес-процессов. В результате, несмотря на значительное повышение производительности труда на отдельных участках ЖЦИ, общая эффективность обработки конструкторской, технологической, производственной и экономической информации на предприятии увеличивалась не более чем на 15...20 %. Такой показатель неприемлем для реинжиниринга бизнес-процессов в направлении организации позаказного промышленного производства. Тем не менее, задача формирования ЕИП еще не осознана большинством руководителей мебельных предприятий в качестве важнейшей составляющей реинжиниринга бизнес-процессов.

Успешная производственная деятельность требует наличия системы информационного обеспечения для организации взаимодействия и согласованной работы всех служб и подразделений. Главная цель этой системы – обеспечить решение следующих двух основных задач:

- ликвидация информационных барьеров, априорно существующих между конструкторскими, технологическими и производственными уровнями предприятия, как причины блокировки и дублирования значительных объемов данных, а также снижения оперативности реализации управленческих воздействий;
- повышение эффективности работы каждого уровня и межуровневого взаимодействия за счет сокращения затрат ресурсов на выполнение информационных запросов.

Исходя из этого, ЕИП реализует парадигму доступности необходимой информации и наличия информационных интерфейсов между приложениями с целью формирования объективной оценки производственной деятельности предприятия в режиме, близком к режиму реального времени, и принятия на ее основе оптимальных производственных и управленческих решений.

С точки зрения задачи формирования ЕИП предприятия мебельной промышленности имеют ряд существенных особенностей, обусловленных как спецификой предметной области, так и историческими факторами, а именно:

- мебель представляет собой художественно-техническое изделие, при проектировании которого практически невозможно разделить художественные (дизайнерские) и конструкторско-технологические аспекты или выстроить формальную систему приоритетов их действия;
- в условиях конкуренции на мебельном рынке, особенно усилившейся вследствие растущей экспансии со стороны производителей из ближнего и дальнего зарубежья, в производственной программе большинства предприятий, независимо от ее объема, значительно увеличивается удельный вес продукции, выпускаемой по технологии позаказного промышленного производства;
- отсутствие в настоящее время отраслевых научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций диктует необходимость выполнения предпроектных исследований и концептуальных разработок в рамках предприятия;
- производственная база большинства предприятий морально и физически устарела и требует коренного изменения путем включения в свой состав новых технологических линий и участков с высоким уровнем автоматизации;
- на подавляющем большинстве мебельных предприятий задачи локальной автоматизации решены на платформе специализированных систем отечественной разработки.

По этим причинам методы и решения проблем информатизации, применяемые в других отраслях промышленности, нельзя непосредственно экстрапо-

лизовать на мебельную отрасль. Требуется разработка новых подходов, в полной мере учитывающих ее специфику.

### 7.1. Общая характеристика информационных потоков позаказного промышленного производства

Особенностью позаказного промышленного производства, непосредственно влияющей на формирование и структуру информационных потоков, является прямое включение потребителя на начальном этапе ЖЦИ в качестве источника первичной информации. Это является определяющим постулатом данного типа производства и не зависит от размеров, структуры и производственной программы конкретного предприятия. Отсюда следует необходимость максимального расширения номенклатуры изделий, работы в различных стилевых и цвето-фактурных направлениях, увеличения ассортимента используемых материалов и фурнитуры, усложнения конструкции изделий, повышения качества изготовления, предоставления широкого спектра сервисных услуг. По этим причинам объем информации, подлежащей осмыслению, переработке и управлению, возрастает в геометрической прогрессии.

Общая структура информационных потоков мебельного предприятия в условиях позаказного производства может быть представлена ориентированным циклическим графом, показанным на рис. 7.1. Данный граф наглядно демонстрирует тот факт, что для эффективной работы мебельного предприятия в условиях ограниченности времени на выполнение заказа необходима высокая степень информационной совместимости всех структурных подразделений.

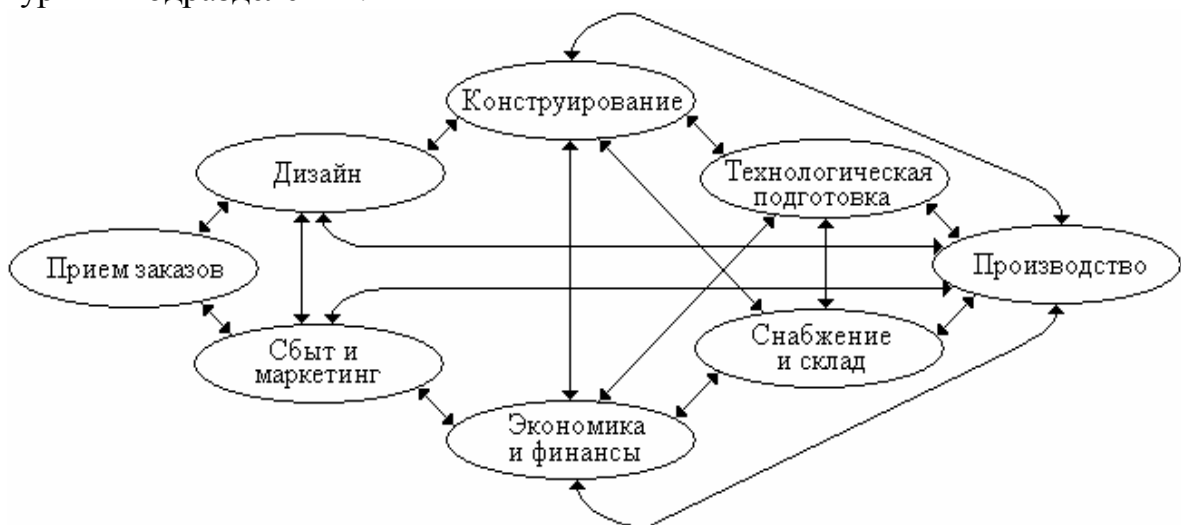


Рис.7.1. Информационные потоки в условиях позаказного производства

Содержательная характеристика информации, которая представлена вершинами графа, следующая:

- **прием заказа:** функциональные, цветовые и фактурные решения, материалы, в том числе декоративные решения фасадов, стандартные, типовые и уникальные составляющие КМИА, декоративные элементы и фурнитура, виртуальная модель интерьера помещения, предварительная калькуляция стоимости заказа, документы для оформления договора с заказчиком и передачи заказа в производство;
- **дизайн:** концептуальные и стилевые решения, перспективные материалы, технологии и фурнитура, элементы декора изделий и интерьера, электронные каталоги новых изделий;
- **конструирование:** математические модели КМИА, как реализация концептуальных дизайнерских разработок, сборочные чертежи изделий и рабочие чертежи отдельных деталей, спецификации;
- **технологическая подготовка:** качественная и количественная оценка технологичности изделий, маршрутные и маршрутно-операционные ТП, карты оптимального раскроя материалов, управляющие программы для станков с ЧПУ и обрабатывающих центров; документация на технологическую оснастку и измерительные устройства, схемы сборки и упаковки изделий;
- **сбыт и маркетинг:** договора с заказчиками, данные о поэтапном прохождении заказа, первичная производственная документация, электронные каталоги изделий, маркетинг перспективных моделей, аналитические обзоры по результатам исследований потребительского спроса на реализуемую и потребную продукцию;
- **экономика и финансы:** материальные и трудовые затраты на изготовление, себестоимость и накладные расходы, производственные планы, графики поставки и движения материалов и комплектующих, загрузка оборудования, прохождение заказа, экономико-статистическая отчетность, данные бухгалтерского учета, аналитическая информация о производительности и рентабельности производства;
- **снабжение и склад:** учетные данные о материалах и комплектующих, прогнозы потребностей, закупочные и приемо-сдаточные документы, первичные данные для управленческого, финансово-экономического и бухгалтерского учета;

- **производство**: сменные задания для производственных участков, отчетные документы о загрузке оборудования и выполненных работах.

Зависимость представленной информационной инфраструктуры от специфики, присущей конкретному предприятию, проявляется только в изменении объемов циркулирующих данных и распределении их по вершинам графа. Например, территориально распределенная сеть мебельных салонов крупного предприятия, ориентирующегося на группы потребителей, не вносит данных об индивидуальных уникальных составляющих мебельных ансамблей в общий информационный поток. В то же время, на небольших предприятиях задачи конструирования и технологической подготовки производства могут решаться в рамках единого структурного подразделения. В любом случае ядром информационной инфраструктуры мебельного предприятия должна стать комплексная САПР нового поколения, как источник формирования математических моделей изделий – основы автоматизации всего ЖЦИ.

Увеличение интенсивности информационного трафика при увеличении удельного веса позаказного промышленного производства на мебельном предприятии определяется возрастающим разнообразием товаров и увеличением количества точек получения исходной информации. Множество данных, порожденных совокупностью заказов, необходимо оперативно обработать, распределить по кластерам и проконтролировать по всем этапам, начиная от момента возникновения и заканчивая рабочими местами на производстве и монтажом у заказчика. В управлении этими информационными потоками заключается значительный потенциал увеличения производительности, эффективности и качества функционирования всей производственной цепочки изготовления КМИА.

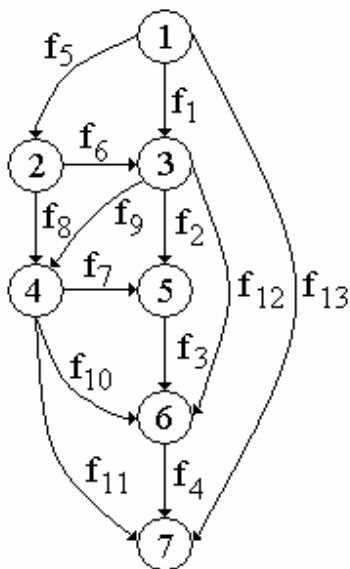
В зависимости от выбранного направления развития предприятия сектор позаказного промышленного производства может опираться на одну из двух стратегий развития, предложенных М. Портером – ведущим ученым в области конкурентной борьбы и экономического развития, профессором кафедры им. Б.В. Лоренса в Гарвардской школе бизнеса [147]:

- **стратегию лидерства по стоимости**, что предполагает выпуск широкой номенклатуры базовых товаров по более низкой цене, чем товары конкурирующих производителей;
- **стратегию лидерства по эксклюзивности**, предполагающую расширение опционального множества предложений, оправдывающих более высокую цену по отношению к конкурентам.

Выбор любой из указанных стратегий неизбежно приводит к повышению вариативности исходных данных. Для дифференцирования существ-

венно различающихся групп КМИА по функциональным критериям требуется достаточно большое количество параметров, кроме того, внутри каждой группы в процессе приема заказа варьируются параметры конструктивного и цвето-фактурного плана. Это приводит к тому, что мощность множества потенциальных комбинаций допустимых конструкций изделий стремится к бесконечности. Одноуровневое управление таким потоком приводит к избыточности и дублированию информации, что дополнительно увеличивает нагрузку на информационные каналы и объем работ по управлению данными.

Для структуризации потока данных о заказах в ЖЦИ выделяются *точки конфигурирования*, последовательное прохождение которых определяет полную информационную идентификацию конкретного заказа (рис. 7.2).



- 1 – прием заказа;
- 2 – нахождение прототипа;
- 3 – конструирование;
- 4 – нахождение типового ТП;
- 5 – проектирование маршрутного ТП;
- 6 – проектирование операционного ТП;
- 7 – производство.

**Рис. 7.2. Орграф структуризации данных по точкам конфигурирования**

Идеология позаказного промышленного производства предполагает многовариантную стратегию реализации проекта в зависимости от пожеланий конкретного заказчика. Рассмотрим в качестве примера следующие четыре варианта формирования заказа:

- 1)  $F_1 = F(Z_1) = \{f_1, f_2, f_3, f_4\}$  – полностью индивидуальный заказ, для которого в полном объеме выполняются все работы по конструкторско-технологической подготовке производства;
- 2)  $F_2 = F(Z_2) = \{f_5, f_6, f_9, f_{10}, f_4\}$  – заказ, сформированный на основе прототипной модели, которая требует конструктивных доработок, не изменяющих маршрутной технологии изготовления, но предполагающих модификацию операционных переходов;

3)  $F_3 = F(Z_3) = \{f_5, f_8, f_{11}\}$  – заказ, подобный ранее выполненному заказу с точностью до геометрических размеров КМИА;

4)  $F_4 = F(Z_4) = \{f_{13}\}$  – заказ, реализуемый складской программой предприятия.

Исходя из этого, множество заказов за определенный календарный период представляется как

$$F(Z) = \bigcup_i F(Z_i). \quad (7.1)$$

Оргграф (рис. 7.2) может быть трансформирован в табличную модель потока заказов, которая представляет собой бинарную матрицу, показанную на рис. 7.3.

$f_i$	$F(Z)$					
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	....	$F_N$
$f_1$	1	0	0	0		...
$f_2$	1	0	0	0		...
$f_3$	1	0	0	0		...
$f_4$	1	1	0	0		...
$f_5$	0	1	1	0		...
$f_6$	0	1	0	0		...
$f_7$	0	0	0	0		...
$f_8$	0	0	1	0		...
$f_9$	0	1	0	0		...
$f_{10}$	0	1	0	0		...
$f_{11}$	0	0	1	0		...
$f_{12}$	0	0	0	0		...
$f_{13}$	0	0	0	1		...

**Рис. 7.3. Табличная модель потока заказов**

Группируя дуги графа по принципу расположения точек конфигурирования в производственной структуре предприятия, можно сформировать три совокупности операций более высокого уровня:

1)  $f^1 = \{f_1, f_5, f_{13}\}$  – уровень приема заказов;

2)  $f^2 = \{f_2, f_6, f_8, f_9, f_{12}\}$  – уровень конструирования;

3)  $f^3 = \{f_3, f_4, f_7, f_{10}, f_{11}\}$  – уровень ТПП.

Каждая дуга графа  $f_i$  характеризуется длиной  $l_i$ , определяющей временной интервал реализации соответствующего набора проектных операций, и весом  $p_i$ , обобщенно характеризующим их трудоемкость. Свертка этих характеристик дает величину обобщенного веса соответствующей ду-



ги. С учетом этого бинарная матрица, показанная на рис. 7.3, преобразуется в весовую матрицу, дающую полное информационное описание потока заказов (рис. 7.4).

Задача оптимальной информационной идентификации заказа может быть сформулирована следующим образом:

$$L = \sum_{i=1}^N F_i(l_i, p_i) \rightarrow \min ;$$

$$\sum_{i=1}^N l_i \leq L_{\max} ; \quad \sum_{i=1}^N \Phi_i(p_i) \leq S ,$$

где  $L$  – обобщенные издержки выполнения заказа;

$\Psi_i$  – функции свертки (приведения времени и трудоемкости реализации  $i$ -го этапа к сопоставимым величинам);

$L_{\max}$  – максимальное время выполнения заказа;

$\Phi_i$  – функция перевода трудоемкости в денежные затраты;

$S$  – сумма договора с заказчиком.

$f_i$	$F(Z)$					
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	....	$F_N$
$f_1$	$\Psi_1(l_1, p_1)$	0	0	0		...
$f_2$	$\Psi_2(l_2, p_2)$	0	0	0		...
$f_3$	$\Psi_3(l_3, p_3)$	0	0	0		...
$f_4$	$\Psi_4(l_4, p_4)$	$\Psi_4(l_4, p_4)$	0	0		...
$f_5$	0	$\Psi_5(l_5, p_5)$	$\Psi_5(l_5, p_5)$	0		...
$f_6$	0	$\Psi_6(l_6, p_6)$	0	0		...
$f_7$	0	0	0	0		...
$f_8$	0	0	$\Psi_8(l_8, p_8)$	0		...
$f_9$	0	$\Psi_9(l_9, p_9)$	0	0		...
$f_{10}$	0	$\Psi_{10}(l_{10}, p_{10})$	0	0		...
$f_{11}$	0	0	$\Psi_{11}(l_{11}, p_{11})$	0		...
$f_{12}$	0	0	0	0		...
$f_{13}$	0	0	0	$\Psi_{13}(l_{13}, p_{13})$		...

**Рис. 7.4. Весовая матрица потока заказов**

Интегрированный информационный поток в условиях позаказного промышленного производства характеризуется высокой плотностью и

представляет собой совокупность данных, порождаемых в определенных точках конфигурирования, для управления которым необходима разработка адекватной унифицированной модели структуры предприятия.

## 7.2. Инфологическая модель структуры предприятия

Унифицированная инфологическая модель структуры предприятия должна отражать особенности позаказного промышленного производства мебели, увязав их с разнообразием аспектов отношений между сущностями предметной области, новой парадигмой конструкторско-технологического проектирования и объектной структурно-атрибутивной моделью мебельного изделия как одного из главных компонентов этой парадигмы. Эта увязка выполняется в двух направлениях: по вертикали – между отдельными уровнями управления, и по горизонтали – между структурными элементами (модулями), функционирующими параллельно в рамках одного уровня. При подобном модульном подходе достигается высокая степень унификации решений, что позволяет трансформировать их для конкретного предприятия. Важным следствием модульности является возможность автономного функционирования отдельных модулей системы, что расширяет область потенциального применения.

Общие требования к унифицированной модели структуры мебельного предприятия следующие:

- **отражение всех сфер деятельности объекта:** предпроектных и постпроектных отношений с заказчиком, дизайнерского, конструкторского, технологического, организационного, сметно-финансового, планового и бухгалтерского обеспечения производства, складского учета материалов, комплектующих и готовой продукции;
- **многоуровневый характер модели,** отражающий качественные и количественные показатели на различных уровнях абстракции;
- **динамический характер модели,** допускающий наличие двух параллельных временных шкал: шкалы времени моделируемого изделия и шкалы времени функционирования информационной системы;
- **иерархичность** функций управления, структуры баз данных и программного обеспечения;
- **высокая надежность работы программной реализации модели,** обеспечиваемая возможностью разграничения прав доступа к информационным ресурсам и функциям управления, развитыми

средствами протоколирования, блокировки, архивации и восстановления данных;

- **гибкий и удобный аппарат конфигурирования** для адаптации системы к условиям конкретного предприятия.

Укрупненная инфологическая модель информационной инфраструктуры мебельного предприятия, осуществляющего позаказное промышленное производство КМИА, приведена на рис. 7.5.



**Рис. 7.5. Инфологическая модель информационной инфраструктуры мебельного предприятия**

Формирование информационной инфраструктуры предприятия должно выполняться на основе положений концепции БОПП, которые на этом уровне формулируются следующим образом:

- единая концептуальная основа интегрированной информационной среды, исключающая необоснованное дублирование проектных операций и обеспечивающая актуальность информационных ресурсов;
- дифференцирование проектных операций по уровням абстрагирования при разработке спецификации индивидуального проекта с одновременной минимизацией степени участия человека в качестве лица, принимающего решение в ходе реализации проектных операций;
- сквозная информационная поддержка распределенных по времени и уровням абстрагирования процессов проектирования и производства КМИА, базирующаяся на предложенной информационной модели и позволяющая устранить потери и дублирование информации при ее вводе и обработке;
- интерактивное последовательное формирование эскизно-структурной, структурно-атрибутивной и графо-аналитической моделей объекта проектирования как основы автоматической генерации геометрической модели в пространстве исполнительных координат с учетом заданных КТТО и возможностью визуального контроля в среде специализированной САПР мебели (рис. 7.6);
- обоснованная семантическая избыточность проектной информации с целью алгоритмического контроля процесса формирования исполнительных координат проекта на этапе генерации геометрической модели;
- использование и развитие средств CAD/CAM/CAE/PDM, повышающих уровень автоматизации процессов проектирования и производства, в направлении создания гибких автоматизированных производств (ГАП);
- трехуровневая архитектура распределенной реляционной СУБД расширенной функциональности, ориентированная на длительное использование и темпоральный мониторинг БД интегрированного процесса проектирования и производства мебельных ансамблей;
- формирование и поддержание в актуальном состоянии библиотек типовых и унифицированных параметризованных элементов (моделей) мебельных изделий;
- унифицированная инфологическая модель структуры предприятия, отражающая особенности предметной области, а также разнообразие аспектов отношений между сущностями предметной области.

Информационное обеспечение, функционирующее на уровне предприятия и его подразделений, должно обеспечивать необходимый информационный континуум для формирования объектной структурно-атрибутивной модели КМИА (4.13). Данная модель выступает в качестве «информационного ядра», обеспечивающего информацией как проектирующие конструкторско-технологические подсистемы САПР, так и программные модули автоматизированной информационной системы управления предприятием.

Одним из важных вопросов, решаемых в ходе работ по построению современной комплексной САПР корпусной мебели, является анализ закономерностей преобразования информации в процессе позаказного проектирования с целью оптимизации его структуры и последующей автоматизации путем разработки адекватных информационных моделей и связанных с ними эффективных программных средств.



*Рис.7.6 Модели КМИА в позаказном производстве*

Положения концепции БОПП дифференцируют процесс проектирования по уровням абстрагирования, представляя его в следующем виде:

$$\Psi \subseteq \left( \mathbf{U} y_i^p \right)_{i=1}^N \rightarrow \left( \mathbf{U} y_i^k \right)_{i=1}^M \rightarrow \left( \mathbf{U} y_i^r \right)_{i=1}^L,$$

где  $N, M, L$  – количество проектных процедур на уровнях принципиального, конструктивного и рабочего абстрагирования соответственно;

$y_i^p, y_i^k, y_i^r$  – проектные процедуры указанных уровней абстрагирования.

Уровень принципиального абстрагирования соответствует начальному этапу эскизного проектирования прототипных моделей, на котором решаются задачи структурного и параметрического синтеза. Он наиболее удален от реального изделия и является высшим уровнем по степени абстракции. Адаптивная технология формирования ОСАМ на уровне принципиального абстрагирования позволяет определять связи между объектами, не используя их аналитического описания, обычно представляемого в виде уравнений и неравенств. Реализуя проектные операции, пользователь всегда работает в контексте разрабатываемого изделия и использует терминологию проблемной области. Любая проектная операция  $y_i^p$  дополняет набор логических связей новыми связями, необходимыми для определения размеров объекта, его формы, а также точки позиционирования в модели. Тип и характер новых связей определяются автоматически в зависимости от свойств текущего объекта, времени и места включения его в модель.

На уровне конструктивного абстрагирования в модели конкретизируется специфика реализации проектных операций на предприятии, причем эта конкретизация носит формальный характер – производится понижение уровня абстракции модели до формализованного описания алгоритмов и данных, используемых на конкретном предприятии, в функциональной зависимости от набора формальных параметров. Набор процедур  $y_i^k$  не меняет эскизного характера представления информации в ОСАМ, но уже увязывает его со спецификой конкретного предприятия.

Уровень рабочего абстрагирования реализует реинжиниринг прототипных моделей объектов в пространство исполнительных координат. Соответствующие проектные процедуры  $y_i^r$  понижают абстракцию ОСАМ до уровня, пригодного для импорта в универсальные системы автоматизированного проектирования.

Подобное дифференцирование ОСАМ по ортогональным уровням абстрагирования позволяет, с одной стороны, организовать независимые процессы проектирования КМИА на каждом уровне, а с другой стороны – предоставить возможность специалистам, занятым в проблемных областях, работать в соответствии со своей квалификацией. Второй момент особенно актуален в связи с недостатком квалифицированных конструкторов и технологов, владеющих в необходимом объеме современными информационными технологиями. В рамках рассматриваемого подхода именно они концентрируются на уровне принципиального и конструктивного абстрагирования, т.е. занимаются модификацией ассортиментного ряда предприятия и внедрением новых технологий в производство, не отвлекаясь на решение текущих технических задач.

При позаказном промышленном производстве КМИА интегрированное управление информационными ресурсами имеет исключительно важное значение, поскольку напрямую связано с обеспечением гибкой взаимосвязи и модельной преемственности между проектными операциями различных уровней абстрагирования. Традиционный подход, заключающийся в использовании физической конвертации информационных структур и БД, является неэффективным в условиях использования ОСАМ различного уровня абстрагирования. Он приводит к фрагментации информации, потере части существенных данных и нарушению адекватности структурно-атрибутивных связей элементов КМИА, что, в свою очередь, ведет к экономическим потерям, связанным, прежде всего, с ухудшением качества и увеличением сроков реализации проекта.

При разработке новой парадигмы автоматизированного проектирования мебели необходимо организовать информационные каналы взаимодействия между подсистемами, соответствующие уровням абстрагирования выполнения проектных операций. Это требует решения следующих задач:

- согласования информационных моделей всех этапов ЖЦ КМИА;
- формирование межсистемного интерфейса обмена согласованной информацией, инвариантного к объектам экспорта-импорта, предметному содержанию массива данных и уровню абстрагирования;
- разработка математических методов и программных средств инвариантного доступа к гетерогенным БД.

Решение указанных проблем требует создания интегрированной информационной платформы мебельного предприятия, базирующейся на концепции CALS-технологии, основной задачей которой является унификация информационного описания КМИА на всех этапах ЖЦИ. При этом структура всей циркулирующей в системе информации и языки ее представления стандартизуются, что дает возможность параллельной работы над проектом подразделений, использующих разные средства автоматизации.

### **7.3. CALS-технологии - стратегия формирования ЕИП**

Суть CALS-технологий состоит в применении принципов и подходов, основанных на информационной поддержке всех стадий ЖЦ продукции, основанной на использовании интегрированных информационных систем, обеспечивающих единообразные способы управления процессами и взаимодействия всех участников этого цикла [149].

Внедрение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ на всех этапах ЖЦИ, поскольку существенно повы-

шается уровень доступности информации, следствием чего является возможность многократной ретрансляции апробированных проектных решений в новых разработках. В частности, исследования, проведенные в промышленности США, показали следующие количественные оценки эффективности внедрения CALS-технологий [150]:

- прямое сокращение затрат на проектирование – 10...30 %;
- сокращение времени разработки изделий – 40...60 %;
- сокращение времени вывода новых изделий на рынок – 25...75 %;
- сокращение доли брака и объема конструктивных изменений – 23...73 %;
- сокращение затрат на подготовку технической документации – до 40 %;
- сокращение затрат на разработку эксплуатационной документации – до 30 %.

Эффект от внедрения CALS-технологий достигается именно по тем аспектам, которые актуальны для позаказного промышленного производства КМИА, что и определяет их выбор в качестве стратегического направления формирования ЕИП. Основная задача CALS-технологий в контексте информатизации мебельного предприятия – организация комплексного информационного обеспечения всех этапов ЖЦ изделий:

- маркетинговые исследования и определение перспективных направлений стиливых и модельных решений;
- концептуальное проектирование и разработка дизайн-проектов новых изделий;
- прием заказов;
- проектно-конструкторская проработка моделей;
- инженерно-техническое моделирование;
- материально-техническое снабжение;
- организационно-технологическая подготовка производства;
- производство;
- технический контроль, проведение обследований и испытаний;
- упаковка и хранение;
- реализация;
- монтаж у заказчика;
- гарантийное и постгарантийное сопровождение.

Для этапа локальной автоматизации, практически реализованного в мебельной промышленности к настоящему времени, характерно наличие многочисленных информационных порталов, обеспечивающих выполнение требуемых функций на уровне подразделений. Это является историческим



следствием фиксации существующей структуры предприятия в процессе его автоматизации. Подобное разделение ЕИП на множество слабо связанных информационных подпространств, ориентированных на решение локальных задач, приводит к существенно нелинейному росту сложности управления ЖЦИ по мере увеличения количества видов выпускаемых КМИА, характерного для позаказного промышленного производства. Следствием этого является нечувствительность предприятия к колебаниям приоритетов потребительского рынка, что в условиях конкуренции производителей равносильно банкротству. Применение CALS-технологий позволяет перестроить формы и методы управления предприятием таким образом, что информационное обеспечение становится непосредственной производственной составляющей.

Практическое внедрение элементов CALS-технологий, как идеологии новых проектно-производственных отношений, требует наличия, как минимум, адекватной аппаратной и программной базы. К настоящему времени в основном создана необходимая техническая платформа для активного продвижения CALS-технологий на мебельные предприятия, однако этот процесс сдерживается отсутствием соответствующего программного обеспечения. Предлагаемая новая парадигма построения комплексной мебельной САПР имеет своей целью частично устранить вакуум в этой области.

Развитие CALS-технологий предполагает переход от технической интеграции подразделений предприятия к их информационной интеграции, что требует, помимо формирования единого физического пространства хранения информации и доступа к ней, единого пространства терминологии, интерпретации и сопоставления данных. Отдельные этапы ЖЦ КМИА реализуются конкретными исполнителями в рамках подразделений, зачастую с помощью разнородных программно-аппаратных платформ. Это приводит к технологическим сложностям объединения и хранения информации, ее дублированию в силу частичного пересечения информационных ресурсов подразделений, проблемам с актуальностью отдельных информационных ресурсов, отсутствию целостной информационной картины.

Физическое слияние данных требует использования сложных, дорогих и непрозрачных на предметном уровне процедур экспорта, импорта и трансляции информации. По этой причине более приемлемыми являются решения, реализуемые на логическом уровне (виртуальная интеграция) путем создания формализованных описаний правил и методов интеграции, в соответствии с которыми осуществляется доступ к информации всех прямых и косвенных участников ЖЦИ. В этом случае ЕИП представляется в форме двухаспектного контента:

- **данные**, как совокупность различных моделей, описывающих объекты предметной области;
- **метаданные**: набор информационных, технических и организационных правил интеграции, в совокупности образующих особый метауровень интеграции.

Структурная схема ЕИП мебельного предприятия с выделением метауровня в качестве необходимого аспекта информационной интеграции подразделений показана на рис. 7.7.

Пользовательский уровень ЕИП формируют специалисты подразделений предприятия, работающие с логическими моделями данных, адаптированными под их информационные потребности. Он реализуется средствами стандартных реляционных СУБД в интерактивном режиме или SQL-запросами используемых автоматизированных систем.



Рис. 7.7. Структура метауровня ЕИП мебельного предприятия

Метауровень ЕИП включает в себя следующие компоненты:

- система обслуживания запросов, интерпретирующая запросы пользователей, поступающие в терминах логической структуры дан-

ных, в термины информационной модели в соответствии с ее метаописанием, а также выполняющая обратные преобразования при формировании ответов на запросы;

- система классификации и кодирования, предназначенная для организации единого способа логического представления информации;
- система информационной безопасности, реализующая меры для защиты целостности данных и исключения несанкционированных действий пользователей путем разграничения прав доступа к информационным ресурсам общего пользования;
- учетно-статистическая система, призванная фиксировать длительность и информационное содержание сеансов работы пользователей для исключения действий не связанных с выполнением производственных заданий и локализации причин возможных сбоев;
- система организации физического доступа, представляющая собой набор сервисов доступа к информационным ресурсам, обеспечивающих корректную запись и извлечение данных в условиях пульсирующего трафика запросов;
- база метаданных, в которой хранятся модели интеграции информации, полученной из разных источников, унифицированные описания интегрируемых ресурсов и другие метаданные;
- администратор метауровня, отвечающий за корректную работу всех процедур метауровня, а также интерфейса с пользовательским и физическим уровнями.

Реализацию метауровня целесообразно выполнять, ориентируясь на стандарты, основанные на XML [141, 151]. Это объясняется как их широкими возможностями для информационного моделирования, так и тем, что существует большое количество инструментальных средств, позволяющих формировать XML-описания с помощью распространенных языков программирования высокого уровня, таких как Object Pascal, C++, Java и других [152]. Реализация и актуализация метауровня выполняется администратором.

Основные издержки при реализации рассматриваемого подхода концентрируются на начальных этапах, как и в случае внедрения систем автоматизированного проектирования [153]. Поддержка работоспособности метауровня в основном определяется необходимостью модификации отдельных метаданных и настроек. При использовании XML эта задача не представляет особой сложности, поскольку существует значительное количество стандартных и доступных средств разработки метаописаний.

Выделение метауровня в ЕИП направлено на создание информационно-функциональной базы внедрения CALS-технологий на мебельных предприятиях. При разработке адекватной программной платформы, отра-

жающей предлагаемую парадигму автоматизации, она может стать системным фактором новой идеологии организации производственных процессов.

#### **7.4. Критерии и принципы информатизации мебельного предприятия**

Сложность проблем, неизбежно возникающих на мебельном предприятии в фазе перехода к комплексной автоматизации, в существенной степени зависит от его организационно-производственной структуры и возможностей используемого программного обеспечения в плане информационной открытости. В любом случае максимальное сохранение имеющихся наработок позволяет сократить финансовые и временные издержки и уменьшить остроту социально-кадровых проблем. Опасность данного пути состоит в том, что автоматизация сложившейся неоптимальной структуры предприятия или применение морально устаревших (унаследованных) систем может погубить все предпринимаемые усилия. По этой причине организационному решению о реорганизации должно предшествовать углубленное предпроектное исследование с обязательным привлечением независимых экспертов.

Для автоматизированных и информационных систем, используемых в позаказном мебельном производстве, оптимальным представляется следующий набор критериев:

- функциональная полнота как с точки зрения современных подходов к решению общих задач информатизации процессов проектирования и производства мебельных изделий, так и с учетом приведенных выше особенностей информационной инфраструктуры;
- инвариантность по отношению к функциональным и стилевым особенностям изделий, производственной программе, используемым и перспективным материалам, фурнитуре и комплектующим;
- максимальная степень автоматизации основных проектных операций ЖЦ КМИА с автоматическим контролем и локализацией ошибочных решений, обусловленных субъективными факторами, на возможно более высоких уровнях абстракции математических моделей;
- открытость форматов представления данных, являющаяся необходимой предпосылкой организации метауровня ЕИП;
- наличие инструментальных средств организации межмодульного и межсистемного взаимодействия, возможность настройки и адаптации систем к организационным и технологическим особенностям конкретного предприятия, а также их модификации по мере гене-

- рации новых бизнес-процессов при минимальном участии сторонних специалистов;
- удобство, интуитивность и эргономичность интерфейса, не требующая от пользователя глубоких знаний в области информационных технологий, его соответствие лингвистике предметной области;
  - модульная структура системы, позволяющая организовать плановый поэтапный переход к новой организации работ, оптимизировать материальные затраты и минимизировать влияние социально-экономических и кадровых факторов;
  - объем, качество и доступность предлагаемых поставщиком сервисных услуг, постоянство процесса совершенствования системы, регулярность выхода новых версий и учет в них современных тенденций информатизации и автоматизации;
  - приемлемое соотношение цены, функциональности и качества;
  - обоснованные требования к техническому обеспечению.

В соответствии с положениями концепции БОПП основа решения большинства принципиально важных задач проектирования КМИА в позаказном производстве закладывается на ранних этапах ЖЦ, связанных с построением математических моделей высокого уровня абстракции. Каждая из подмоделей ОСАМ определяет информационное содержание того или иного этапа ЖЦ. На этих стадиях проектирования определенный объем информации в модели содержится в форме абстрактных описаний, включенных в структуру параметрических связей, подлежащих разрешению на более поздних этапах. Это позволяет, помимо всего прочего, реализовать художественно-дизайнерский аспект проектирования мебели, предполагающий спонтанные переходы между отдельными этапами ЖЦ.

Комплекс КТТО также входит в состав модели в виде абстрактного набора параметров и алгоритмов реализации. Он предназначен для выявления субъективных ошибок на ранних этапах проектирования, что существенно снижает стоимость их исправления. Для реализации этого на предприятии создается база данных, содержащая необходимые сведения о технологических процессах и используемом оборудовании. Этап адаптации системы включает в себя выполнение цикла работ по установлению формального соответствия абстрактных параметров модели реальным данным и настройки алгоритмов контроля.

Основой взаимосвязи всех этапов ЖЦ на основе CALS-технологий является инвариантность ОСАМ по отношению к этим этапам. Это означает, что в любое время и на любом этапе пользователь может получить (в соответствии со своими полномочиями) нужное ему подмножество акту-

альных данных об изделии. Этот процесс синхронизируется с запросами других пользователей. Естественно, что запросы разных пользователей будут включать в себя обращения к различным частям общей математической модели, но в случае взаимного пересечения общие атрибуты будут идентичны для каждого подмножества. В случае, когда производится обращение к данным, находящимся в текущий момент на абстрактном уровне, выдается соответствующая диагностика.

Практическая реализация задач информатизации и автоматизации мебельного предприятия требует решения следующего круга задач:

- разработка ОСАМ КМИА, адекватных задачам комплексной автоматизации позаказного промышленного производства на любом уровне абстрагирования;
- разработка алгоритмов реализации с высокой степенью автоматизации проектных процедур конструирования и технологической подготовки производства в условиях использования абстрактных моделей;
- разработка методов организации и процедур функционирования метауровня ЕИП;
- разработка моделей и методов контроля допустимости и автоматической коррекции результатов выполнения отдельных проектных процедур в условиях частичной неопределенности проектных параметров;
- разработка интерактивных процедур идентификации элементов и визуализации высокоуровневых моделей мебельных изделий;
- проектирование, разработка и апробация соответствующего программного обеспечения.

## **7.5. Формализация и средства решения задачи формирования ЕИП**

В общем случае ЕИП мебельного предприятия образуется совокупностью баз и банков данных (БнД), технологий их создания, поддержки и использования, информационных телекоммуникационных систем, функционирующих на основе общих принципов и обеспечивающих информационное взаимодействие всех участников расширенного производственного процесса, включая заказчиков, поставщиков, субподрядчиков, дилеров, производственный и управленческий персонал.

Формальное описание ЕИП можно представить следующей триадой компонентов [154]:

$$IS = \{I_1, I_2, I_3\},$$

где  $I_1$  – информационные ресурсы;

$I_2$  – средства информационного взаимодействия;

$I_3$  – информационная инфраструктура.

Информационные ресурсы представляют собой множество отдельных документов и массивов документов в различных типах информационных систем (ИС): библиотеках, архивах, фондах, БД и БнД. Поскольку в основе построения ЕИП современного предприятия лежит концепция использования АИС (автоматизированной ИС), информационные ресурсы предполагают электронную форму для передачи и хранения.

Уточнение свойств понятия «информационный ресурс», применительно к производственному предприятию, можно продолжить в плоскости классификации (типологии) циркулирующей на нем информации. В качестве одного из классификационных критериев может быть выбрана длительность цикла актуализации информации ( $t$ ) [105]. Характерной особенностью информации, обрабатываемой в ИС производственного предприятия, является достаточно четкое ее разделение на следующие три категории: оперативную, архивную и долговременную. Таким образом, информационные ресурсы предприятия можно представить в виде триады:

$$I_1 = \{O_t, A_t, L_t\},$$

где  $O_t$  – оперативная информация;

$A_t$  – архивная информация;

$L_t$  – долговременная информация.

Оперативная информация имеет короткий цикл актуализации – от нескольких минут до нескольких недель. Ценность ее сохраняется в достаточно ограниченном интервале времени, а результаты обработки актуальны для принятия управленческих решений в рассматриваемом интервале, т.е. она обеспечивает реализацию оперативного управления. Информация данного типа хранится, как правило, на магнитных носителях прямого доступа в своем первоначальном виде, который определяет ее непосредственное использование в решении задач оперативного управления. Для накопления и первичной обработки оперативной информации обычно используются БД и СУБД, а также программные приложения, реализуемые в виде «надстроек» над используемой СУБД.

Архивная информация имеет более длительные циклы актуализации (от нескольких дней до нескольких лет), которые обычно проводятся в режиме пополнения информации с сохранением хронологии выполнения операций (темпоральные БД). Архивная информация не оказывает непосредственного влияния на процессы оперативного управления, но она необходима для проведения ретроспективного статистического анализа по

различным критериям, стратегического планирования и составления прогнозов на перспективу.

К долговременной информации относят такую информацию, актуальность которой может оказаться существенной на протяжении очень длительных интервалов времени (от нескольких месяцев до нескольких десятков лет). В зависимости от продолжительности цикла актуализации долговременная информация подразделяется на две составляющие:

$$L_t = \{L_{t1}, L_{t2}\},$$

где  $L_{t1}$  – постоянная информация;

$L_{t2}$  – условно-постоянная информация.

Постоянная информация образует так называемую нормативно-справочную среду и включает тексты законодательных актов, ГОСТы, ОСТы, технические условия, стандарты предприятий (СТП), типовые проектные решения и т.д. В большинстве случаев для хранения подобного типа информации вполне подходят развитые системы словарей-справочников данных, базирующиеся на дескрипторных моделях данных.

Условно-постоянная информация образуется множеством проектных решений, выработанных в ходе реализации текущих проектов. Для организации хранения и обмена подобной информацией в АИС предлагается использовать контейнерную модель [101].

Описанный выше подход к классификации информационных ресурсов может быть использован при решении вопроса о целесообразности организации на предприятии распределенных информационных структур, образованных совокупностью систем баз и банков данных. Следует также отметить, что введенная классификация хорошо согласуется с делением информации на разделы в общей базе данных об изделиях, предложенном в концепции развития CALS-технологий [149].

Информационное взаимодействие в рамках сложившихся на предприятии организационно-производственных отношений осуществляется как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Информационные потоки, поступающие на верхние уровни управленческой иерархии, как правило, фильтруются и обобщаются (консолидируются) в соответствии с заданными критериями, т.е. подвергаются семантическим преобразованиям. В отличие от них горизонтальные информационные потоки чаще подвергаются формальной обработке, заключающейся в переводе представления информации из одного формата в другой.

На нижнем (исполнительском) уровне иерархии функционируют информационные системы различного назначения, которые взаимодействуют между собой и поддерживают управленческие решения вышестоящих уровней. Их основная цель заключается в сборе, обработке и хранении пер-



вичных данных о различных аспектах деятельности предприятия. Часто такие системы реализованы в виде АРМ. При этом каждый АРМ руководствуется собственными критериями локальной оптимизации, поскольку ориентирован на решение задач информационной поддержки только одного аспекта производственной деятельности. Основным недостатком данной схемы состоит в трудности формирования глобальных критериев оптимизации на основе множества локальных, слабо связанных критериев, а также в высокой избыточности хранимой информации, обусловленной возможным множественным дублированием одних и тех же данных, поскольку каждый АРМ работает с собственной локальной БД.

Современный подход к хранению и использованию производственной информации основывается на организации общей (интегрированной) базы данных, выступающей в качестве ядра системы, к которому могут обращаться различные проблемно-ориентированные модели, реализованные в виде программных приложений.

Исходя из этого, информационная инфраструктура предприятия представляет собой систему организационно-технических структур, обеспечивающих функционирование и развитие информационного пространства и средств информационного взаимодействия. Очевидно, что существующая на предприятии информационная инфраструктура не возникла сразу в том виде, в котором она представлена в настоящий момент. Как правило, первоначальная форма инфраструктуры претерпевает ряд изменений, т.е. эволюционирует вместе с развитием предприятия. В ходе трансформации информационной инфраструктуры важно обеспечить сохранение ее концептуальной целостности. В этой связи особую важность приобретает разработка проекта развития информационной инфраструктуры предприятия.

Построение модели информационной инфраструктуры выполняется в два этапа. На первом этапе исследуется выбранная предметная область или ее часть с целью определения мест (центров) зарождения, преобразования (трансформации) и потребления информации, классификации и анализа связывающих их информационных потоков. Полученная в результате структура в общем случае представляет собой следующую сеть:

$$S = \{V_i; R_j\}, \quad (7.2)$$

где  $V_i$  – вершины сети, ассоциированные с перечисленными центрами;

$R_j$  – ребра, т.е. направленные дуги, ассоциированные с информационными потоками.

Любая вершина сети может быть описана функционалом, определенным на множестве объектов входного потока, областью значений которого являются объекты выходного потока. Поэтому выделенные информацион-

ные потоки можно разделить на входные и выходные, выполнив их привязку к конкретным вершинам модели, т.е. сеть, описываемую (7.2), привести к виду

$$S = \{V_i; R_{ij}^+; R_{ij}^-\},$$

где  $R_{ij}^+$  – входящая дуга для  $j$ -й вершины сети;

$R_{ij}^-$  – исходящая дуга для  $j$ -й вершины сети.

Данное преобразование позволяет выявить дублирующиеся потоки и исключить их из модели без ущерба для ее информационной полноты.

На втором этапе выполняется аттестация центров, определенных на предыдущем этапе, и каналов передачи данных. В ходе аттестации устанавливается соответствие между сформулированными и зафиксированными в проекте требованиями по количественному и качественному составу информации, временному регламенту ее сбора, трансформации, передачи и потребления для каждого центра их фактическому состоянию. Этот этап, выполненный для центров обработки-потребления информации в семантическом, а для каналов передачи – в синтаксическом разрезе, также обеспечивает уменьшение информационной избыточности модели.

Полученная концептуальная модель может быть использована как база для разработки программных средств мониторинга и управления информационной инфраструктурой мебельного предприятия.

Таким образом, задача формирования ЕИП современного мебельного предприятия подразумевает объединение в состав интегрированной информационной системы (ИИС) распределенных и локальных информационных ресурсов, а также комплекса программно-технических средств, обеспечивающих использование этих ресурсов и полнофункциональное управление ими. При этом процесс формирования концептуальной модели ЕИП должен основываться на системном подходе и применении структурных и объектно-ориентированных методов анализа и проектирования исследуемой предметной области.

Описание концептуальной модели может быть выполнено с использованием UML (Unified Modeling Language) – универсального языка моделирования, который позволяет специфицировать семантику предметной области, с одной стороны, и выступает в качестве основы для последующего перехода к логической модели данных, с другой стороны [155]. При этом сам переход может быть в достаточной степени автоматизирован путем использования CASE-средств нового поколения (например, Rational Rose Data Modeler компании Rational Software) [156]. Применение подобных программных средств значительно повышает качество исполнения проектов информационных систем и существенно сокращает время, затрачиваемое на их реализацию.

## Заключение

Качественные и количественные изменения в развитии отечественной мебельной промышленности на современном этапе требуют разработки принципиально новых подходов к автоматизации и их практической реализации. Процессы проектирования автоматизированных систем, реализующих новые информационные технологии и методы моделирования, непрерывно совершенствуются. Традиционная ориентация при создании САПР на исключительно геометрическую парадигму проектирования изделий мебели, эффективную в условиях массового или сугубо эксклюзивного производства, обнаруживает недостаточную эффективность при использовании в условиях позаказного промышленного производства, которое на сегодняшний день максимально адекватно реалиям современного рынка. Характерные особенности данного типа производства, а именно, сочетание высокого качества изделий с их индивидуальностью, достигаемое в условиях жестких ограничений по времени и высокой финансовой ответственности разработчика, диктуют необходимость перехода к новой парадигме построения САПР, базирующейся на объектных структурно-атрибутивных моделях мебельных изделий высокого уровня абстракции.

Потребитель продукции, как основной фактор, прямо влияющей на формирование и структуру информационных потоков, в позаказном промышленном производстве непосредственно включается в ЖЦИ на его начальном этапе в качестве источника первичной информации. Это является определяющим постулатом данного типа производства и не зависит от размеров, структуры и производственной программы предприятия. Отсюда следует необходимость максимального расширения номенклатуры изделий и стилевых направлений, увеличения ассортимента материалов и фурнитуры, усложнения конструкций изделий и повышения их качества, предоставления широкого спектра сервисных услуг. По этим причинам объем информации, подлежащей осмыслению, переработке и управлению при разработке САПР существенно возрастает.

В условиях позаказного промышленного производства недостаточно автоматизировать отдельные этапы жизненного цикла изделий, необходима комплексная автоматизация всех этапов на единой и интероперабельной концептуальной, информационной и модельной платформе. Идеологические и методологические принципы построения комплексной САПР нового типа сформулированы в концепции БОПП КМИА, основные положения которой можно сформулировать следующим образом:

- 1) Сквозная информационная поддержка всех участников процесса «маркетинг – проектирование – производство – управление», ос-

новывающаяся на объектных структурно-атрибутивных моделях изделий, обладающих необходимой семантической избыточностью, отражающей свойства предметной области, ассоциированные с конкретным изделием.

- 2) Выделение в качестве самостоятельного этапа жизненного цикла мебельных изделий эскизное проектирование (инжиниринг), следствием чего является переход от полноформатных геометрических моделей в исполнительных координатах к комплексу моделей более высокого уровня: эскизно-структурной, структурно-атрибутивной и графо-аналитической моделям в пространстве эскизных координат.
- 3) Включение в модель изделия на этапе инжиниринга комплекса конструкторско-технологических требований и ограничений, уровень абстракции которых соответствует уровню абстракции модели, как основы обеспечения безошибочности выполнения проектных процедур и операций на этапе функционального проектирования (реинжиниринга) при ее компиляции в исполнительные координаты.
- 4) Распараллеливание проектно-конструкторских и технологических работ с переносом основного их количественного и качественного объема на этап эскизного проектирования, как основы формирования множества прототипных моделей, обеспечивающих быстрый реинжиниринг изделий в условиях жестких временных ограничений и минимизацию субъективных ошибок проектирования.
- 5) Интерактивное, последовательно-параллельное формирование эскизных моделей прототипных изделий с последующей автоматической генерацией геометрических моделей в исполнительных координатах для их визуализации и дальнейшей обработки в среде универсальной САПР.

Комплексная САПР мебельных изделий, базирующаяся на принципах концепции БОПП, является ядром информационной инфраструктуры мебельного предприятия и источником математических моделей изделий – основы автоматизации всего ЖЦИ. Она включает в себя три основные функциональные подсистемы:

- подсистема автоматизации эскизного проектирования, реализующая инжиниринг прототипных моделей эскизного представления;
- подсистема автоматизации реинжиниринга, предназначенная для реструктуризации эскизных моделей в соответствии с текущей матрицей функционально-эстетических запросов и компиляции их в пространство исполнительных координат;

- универсальная САПР для визуализации полноформатных геометрических моделей изделий и выполнения рутинных операций по подготовке конструкторско-технологической документации проектов.

Позаказное промышленное производство, возникшее как реакция мебельных предприятий на усиление рыночной конкуренции и изменение структуры спроса потребителей, требует адекватных решений, связанных с разработкой научно-теоретической и методологической базы автоматизации, а также ее практической реализации. Это предполагает решение широкого спектра задач теоретического, методологического и практического характера:

- разработка информационно взаимосвязанных математических моделей сложных мебельных изделий высокого уровня абстракции, адекватно отражающих художественно-конструктивные и технологические особенности объектов предметной области в пространстве эскизных координат;
- разработка алгоритмов реализации конструкторско-технологических операций проектирования на моделях различного уровня абстракции, а также их реструктуризации и компиляции в пространство исполнительных координат с высокой степенью автоматизации;
- разработка моделей и методов алгоритмического контроля допустимости и автоматической коррекции результатов выполнения отдельных проектных процедур в условиях частичной неопределенности проектных параметров;
- разработка интерактивных процедур идентификации элементов и визуализации высокоуровневых моделей мебельных изделий;
- разработка организационно-методических положений по реинжинирингу бизнес-процессов при переходе к позаказному промышленному производству и внедрению комплексной автоматизированной системы;
- проектирование, разработка и практическая апробация на действующих предприятиях математического, программного и методического обеспечения САПР.

Перспективным направлением реализации положений концепции БОПП является использование CALS-технологий для информационной поддержки позаказного мебельного производства, которая в настоящее время в рамках расширенного производственного контура, определенного ЖЦИ, отсутствует, хотя для успешной производственной деятельности в условиях рынка неизбежно требуется наличие такой всеобъемлющей системы инфор-

мационного обеспечения. Формирование единого информационного пространства мебельного предприятия призвано организовать тесное взаимодействие и согласованную работу всех его систем и подразделений, ликвидацию информационных барьеров, априорно существующих между конструкторскими, технологическими и производственными уровнями предприятия, повышение эффективности работы каждого уровня и межуровневого взаимодействия за счет сокращения затрат ресурсов на выполнение информационных запросов. Информатизация на основе CALS-технологий предполагает переход от технической интеграции подразделений предприятия к их информационной интеграции.

Применение принципов концепции БОПП при создании систем автоматизации мебельных предприятий позволяет сконцентрировать наиболее ответственные операции моделирования на верхних уровнях абстрагирования, когда цена ошибочных решений наименее значительна. Дополнительным преимуществом этого является частичное ослабление кадровых проблем, связанных с недостатком высококвалифицированных дизайнеров, конструкторов и технологов мебельного производства. В условиях распараллеливания общего процесса проектирования и производства мебельных изделий на инжиниринг и реинжиниринг квалифицированные специалисты освобождаются от выполнения несвойственных им операций и решают только стратегически важные задачи формирования перспективных модельных рядов на основе современных художественных, стилевых и технологических тенденций.

Методология автоматизации позаказного производства в условиях обострения конкуренции на потребительском рынке, рассмотренная в монографии применительно к мебельной промышленности, имеет универсальный характер и может применяться в других отраслях промышленности, ориентированных преимущественно на непосредственную работу с потребителем. В конечном итоге создание конкурентоспособных промышленных производств, использующих современные научно обоснованные подходы к автоматизации и интенсивные приоритеты в развитии, поможет достигнуть значительного социально-экономического эффекта в масштабах экономики в целом.

### Библиографический список

1. Кржижановская, С.Г. Современное состояние и основные направления развития мебельной промышленности России / С.Г. Кржижановская // Деревообрабатывающая промышленность. – 2001. – №2. – С. 2–6.
2. Горощенко, Л.Г. Мебельный рынок России в 2005 году / Л.Г. Горощенко // Мебельный мир. – 2006. – №2 (16). – С. 3–5.
3. Состояние и тенденции развития мебельной промышленности Российской Федерации: аналитический обзор // М.: ОАО «НИПИЭИлеспром», 2002. – 126 с.
4. Состояние мебельной промышленности России: бюллетень отечественного товаропроизводителя (материалы, документы, информация). – М., 2003. – №1 (19). – С. 25–26.
5. Новак, Г.К. 2004 год в разрезе регионов / Г.К. Новак // Фабрика мебели. – 2005. – №3. – С. 13–15.
6. Горощенко, Л.Г. Анализ динамики развития российского рынка мебели / Л.Г. Горощенко // Мебельный мир. – 2006. – №4 (18). – С. 4–6.
7. Туровец, О.Г. Организация производства на предприятиях в условиях кризисного развития / О.Г. Туровец // Организатор производства. – 1996. – №2. – С. 21–22.
8. Герасимов, Д.А. Производство мебели: взгляд специалиста / Д.А. Герасимов // Мебельное обозрение. – 1999. – №1. – С. 9–11.
9. Стариков, А.В. Реинжиниринг бизнес-процессов мебельного предприятия при переходе к позаказному производству / А.В. Стариков, П.А. Петров // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 10. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – С. 230–233.
10. Емельянов, В.В. Новые информационные технологии в реинжиниринге позаказного производства / В.В. Емельянов, Т. Штаутмайстер // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – Таганрог: ТРТУ. – 2000. – №3. – С. 100–106.
11. Гончаров, Н.А. Технология изделий из древесины: учеб. для вузов / Н.А. Гончаров, В.Ю. Башинский, Б.М. Буглай. – 2-е изд., испр. и дополн. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 528 с.
12. Покатаев, В.П. Конструирование оборудования интерьера: учеб. пособие / В.П. Покатаев. – Ростов н/Д: Феникс, 2002. – 352 с.
13. Гардан, И. Машинная графика и автоматизация проектирования: пер. с франц. / И. Гардан, М.Люка. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

14. Батырева, И.М. Современная методика проектирования мебели / И.М. Батырева, Ф.С. Стовпюк // Дизайн и проектирование мебели. – 2003. – №1. – С. 13–14.
15. Канева, М.И. Дизайн и мебельная промышленность / М.И. Канева // Дизайн и производство мебели. – 2004. – №1 (2). – С. 5–9.
16. Пиликина, Н.Н. Дизайн и качество художественно-промышленных изделий / Дизайн и производство мебели. – 2004. – №4 (5). – С. 20–22.
17. Половинкин, А.И. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / А.И. Половинкин. – М.: Радио и связь, 1981. – 344 с.
18. Кривошеев, А.С. Применение САПР в проектировании мебели / А.С. Кривошеев // Мир мебели. – 1998. – №2 (13). – С. 24–26.
19. Шобанов, Л.Н. Применение компьютерного пакета Mechanical Desktop 6.0 при проектировании изделий из древесины / Л.Н. Шобанов, И.П. Демитрова // Лесн. журн. – 2002. – №4. – С. 102–104. – (Изв. высш. учеб. заведений).
20. Демитрова, И.П. Проектирование мебели с применением Mechanical Desktop / И.П. Демитрова, Л.Н. Шобанов // Дизайн и проектирование мебели. – 2003. – №1. – С. 14–16.
21. Вильмсен, Е. CADdy: проектирование мебели и дизайн интерьеров / Е. Вильмсен, А. Попик // САПР и графика. – 1998. – №5. – С. 78–85.
22. Малыгин, В.И. Параметрическое автоматизированное проектирование (на примере мебельного производства) / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев, М.П. Худяков // Лесн. журн. – 2003. – №1. – С. 87–93. – (Изв. высш. учеб. заведений).
23. Димитрюк, С. Построение системы для технической подготовки производства мебели / С. Димитрюк, Д. Окнин, Д. Ташбеков // САПР и графика. – 2006. – №6. – С. 22–26.
24. Сарайкин, В.Г. Системы автоматизированного проектирования мебели и интерьера: сопоставительный анализ и критерии оптимальности / В.Г. Сарайкин, А.В. Стариков // Деревообрабатывающая промышленность. – 2003. – №2. – С. 8–11.
25. Бунаков, П.Ю. Автоматизация мебельных предприятий: история и современность (часть 2) / П.Ю. Бунаков // Мебельщик. – 2005. – №2 (26). – С. 34–36.
26. Бунаков, П.Ю. Автоматизированное конструирование корпусной мебели средствами системы «БАЗИС-КОНСТРУКТОР-МЕБЕЛЬЩИК»: учеб. пособие к курсовому проектированию для студентов очной, заочной и дистанционной форм обучения спец. 260200 / П.Ю. Бунаков, Ю.И. Рудин; под ред. С.Н. Рыкунина. – М.: МГУЛ, 2004. – 123 с.



27. Стариков, А.В. САПР мебели. Автоматизированное конструирование изделий корпусной мебели в САПР «Базис-Конструктор-Мебельщик»: метод. указания к выполнению лаб. работ для студентов спец. 250303 – Технология деревообработки (специализация «Дизайн и проектирование изделий из древесины») / А.В. Стариков. – Воронеж: ВГЛТА, 2006. – 80 с.
28. Батырева, И.М. Автоматизация конструирования и технологической подготовки производства корпусной мебели: учеб. пособие [Текст] / И.М. Батырева, П.Ю. Бунаков. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. – 392 с.
29. Малюх, В.Н. Автоматизация проектирования корпусной мебели в САПР bCAD / В.Н. Малюх, А.М. Пронько // Мебельщик. – 1999. – №4. – С. 21–24.
30. Малюх, В.Н. Программируем САПР на Java / В.Н. Малюх // САПР и графика. – 1999. – №12.
31. Стариков, А.В. САПР мебели. Автоматизированное конструирование изделий корпусной мебели в САПР «bCAD для Мебельщика»: учеб. пособие для студентов спец. 250303 – Технология деревообработки (специализация «Дизайн и проектирование изделий из древесины») / А.В. Стариков. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. – 228 с.
32. Рудин, Ю.И. Проектирование корпусной мебели средствами системы «bCAD-МЕБЕЛЬЩИК» [Текст]: учеб.-метод. пособие к курсовому проектированию по дисциплине «Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов деревообработки» для студентов спец. 260200 / Ю.И. Рудин; под ред. С.Н. Рыкунина. – М.: МГУЛ, 2002. – 45 с.
33. Розанов, В.В. Проектирование, подготовка производства и продажа мебели – звенья единой информационной цепочки / В.В. Розанов // Мебельное обозрение. – 2002. – №1.
34. Комплексы программ К3-Мебель и К3-Мебельное предприятие. – Электрон. дан. – Н-Новгород: НВЦ «ГеоС», 2004. – Режим доступа: [http://www.k3-geos.ru/K3\\_MP/k3\\_mp.doc](http://www.k3-geos.ru/K3_MP/k3_mp.doc), свободный. – Загл. с экрана.
35. Woody 2.0: новая версия – новые возможности. – Электрон. дан. – Киев: ИнтеАр Лтд. – 2005. Режим доступа: [http://www.intear.com.ua/woody20\\_ru.htm](http://www.intear.com.ua/woody20_ru.htm), свободный. – Загл. с экрана.
36. Sawyer – программа оптимизации раскроя и учета складских материалов. – Электрон. дан. ИнтеАр Лтд. – 2005. Режим доступа: [http://www.intear.com.ua/sawyer\\_ru.htm](http://www.intear.com.ua/sawyer_ru.htm), свободный. – Загл. с экрана.
37. Salon+3D – новая программа для размещения мебели и дизайна интерьера. – Электрон. дан. – Киев: ИнтеАр Лтд. – 2005. Режим доступа: [http://www.intear.com.ua/salon10\\_ru.htm](http://www.intear.com.ua/salon10_ru.htm), свободный. – Загл. с экрана.

38. Берон, О. Тройка современного мебельщика / О. Берон // Мебельное обозрение. – 2001. – №5 (11). – С. 18–21.
39. Гаврилюк, А. 3D-Constructor, 3D-Flat, 2D-Place – программы в помощь мебельщикам / А. Гаврилюк // Мебельные технологии. – 2003. – №2 (7). – С. 46–47.
40. Стариков, А.В. Расширенная трактовка понятия «Прототипная модель» в САПР мебельных изделий и интерьера / А.В. Стариков // Современные проблемы информатизации в технике и технологиях: сб. тр. VIII междунар. открытой науч. конф. – Воронеж: ЦЧКИ, 2003. – С. 90–91.
41. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики: пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.
42. Херн, Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL: пер. с англ. / Д. Херн, М. П. Байкер. – 3-е изд. – М.: Издат. дом «Вильямс», 2005. – 1168 с.
43. Канторович, Л.В. Расчет рационального раскроя промышленных материалов / Л.В. Канторович, В.А. Залгаллер. – Л.: Лениздат, 1951. – 198 с.
44. Липовецкий, А.И. Свойства прямоугольных укладок и алгоритмы оптимального раскроя: препр. / А.И. Липовецкий. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – 49 с.
45. Новак, Г.К. Принципиальные технические, технологические и организационно-производственные решения гибкого мебельного производства / Г.К. Новак // Мебельный бизнес. – 2004. – №1 (7). – С. 6–8.
46. Бережная, О. Проблемы существуют, чтобы их решать / О. Бережная // Мебельный бизнес. – 2005. – №2 (37). – С. 56–57.
47. Дмитриенко, Д.И. Особенности информационной поддержки маркетинговой деятельности мебельного предприятия / Д.И. Дмитриенко, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Новые информационные технологии в решении проблем производства, строительства, коммунального хозяйства, экологии, образования, управления и права: сб. мат. симпоз., Пенза: ПДЗ, 2001. – С. 147–149.
48. Бочаров, О.С. АРМ менеджера по маркетингу (с элементами АРМ технолога) / О.С. Бочаров, А.В. Стариков, А.В. Степанов // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем: сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: ПГУ, 1997. – С. 96–98.
49. Стариков, А.В. Организация прогнозирования на мебельном предприятии в условиях позаказного производства / А.В. Стариков, А.А. Штондин, А.М. Катеринич // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 8. – Воронеж: ВГЛТА, 2003. – Ч. 2. – С. 99–104.

50. Гладкова, И. Карта информационных технологий на пространстве мебельной фабрики / И. Гладкова // Оборудование. – 2002. – №12 (72).
51. Бочаров, О.С. Внедрение современных информационных технологий в АООТ «Графское» / О.С. Бочаров, А.В. Стариков, А.В. Степанов // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 1996. – С. 97–102.
52. Стариков, А.В. Автоматизация расчетов при приеме индивидуальных заказов на кухонную мебель производства АООТ «Графское» / А.В. Стариков // Восстановление лесов, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесного комплекса: сб. мат. межвуз. науч.-практич. конф., посвященной 70-летию ВГЛТА. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – С. 392–394.
53. Стариков, А.В. Усовершенствованная система автоматизированных расчетов и подготовки первичных технологических документов для производства кухонной мебели / А.В. Стариков // Восстановление лесов, ресурсо- и энергосберегающие технологии лесного комплекса: сб. мат. межвуз. науч.-практич. конф., посвященной 70-летию ВГЛТА. – Воронеж: ВГЛТА, 2000. – С. 394–396.
54. Стариков, А.В. Программа автоматизации приема индивидуальных заказов на изготовление кухонной мебели и проектирования интерьера кухни / А.В. Стариков // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2002610283. – М.: РОСПАТЕНТ, 22.02.2002.
55. Стариков, А.В. Организация сквозной информационной поддержки позаказного мебельного производства / А.В. Стариков, Е.С. Хухрянская // Формирование и функционирование информационного пространства в условиях рынка: сб. мат. II междунар. науч.-практич. конф. – Пенза: ПДЗ, 2001. – С. 110–112.
56. Бунаков, П.Ю. Базис-Конструктор-Мебельщик: реальная комплексная автоматизация мебельного производства / П.Ю. Бунаков // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2003. – № 1 (36). – С. 58–61.
57. Бунаков, П.Ю. Использование принципа автоформализации профессиональных знаний в практической реализации концепции безошибочного проектирования и производства мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и проектирование мебели. – 2005. – №3 (8). – С. 37–40.
58. Карминский, А.М. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях / А.М. Карминский, Н.И. Оленев, А.Г. Примаков и др. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 256 с.

59. Бунаков, П.Ю. Инжиниринг и реинжиниринг в позаказном промышленном производстве мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и проектирование мебели. – 2005. – №2 (7). – С. 56–59.
60. Стариков, А.В. Концепция построения комплексной САПР корпусной мебели для позаказного промышленного производства / А.В. Стариков // Системы управления и информационные технологии. – 2006. – № 2.1 (24). – С. 197–200.
61. Бунаков, П.Ю. Опыт практической реализации концепции безошибочного проектирования и производства мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и проектирование мебели. – 2005. – №4 (9). – С. 33–35.
62. ГОСТ 2.119-73. Единая система конструкторской документации. Эскизный проект (с Изменениями №1, 2, 3, 4). – Введ. 1974-01-01; изменение №1 – введ. 1982-01-10; изменение №2 – введ. 1982-01-12; №3 – введ. 1986-01-03; изменение №4 – введ. 1988-01-01. – М.: Госстандарт, 1988.
63. Бунаков, П.Ю. Эскизное проектирование прототипных объектов корпусной мебели для позаказного промышленного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Бунаков Павел Юрьевич. – Воронеж, 2006. – 17 с.
64. Бунаков, П.Ю. Параметрическое моделирование и концепция «безошибочного» проектирования сложной корпусной мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и производство мебели. – 2005. – №1 (6). – С. 26–28.
65. Бунаков, П.Ю. Параметрический подход к проектированию корпусной мебели / П.Ю. Бунаков // Информационные технологии моделирования и управления. – 2005. – №1 (19). – С. 102–106.
66. Стариков, А.В. Основные положения концепции «безошибочного» проектирования и производства сложных изделий корпусной мебели и особенности их реализации / А.В. Стариков, В.Н. Харин, П.Ю. Бунаков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 10. – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – С. 233–237.
67. Бунаков, П.Ю. Автоинтерактивный эскизный 2D-редактор сопряжения деталей корпусных мебельных изделий / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2005611064. – М.: РОСПАТЕНТ, 29.04.2005.
68. Бунаков, П.Ю. Автоинтерактивный редактор структурно-атрибутивной модели и баз данных конструкторско-технологических требований и ограничений для проектирования корпусной мебели / П.Ю. Бунаков, А.В.

- Стариков, В.Н. Харин // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611986. – М.: РОСПАТЕНТ, 05.08.2005.
69. Бунаков, П.Ю. Объектно-ориентированный подход к моделированию мебельных изделий в условиях позаказного промышленного производства / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Системы автоматизации в образовании, науке и производстве: сб. тр. V-й всерос. науч.-практич. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2005. – С. 158–162.
  70. Бунаков, П.Ю. Новая парадигма эскизного проектирования корпусной мебели как средство повышения эффективности позаказного мебельного производства / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Информация, инновации, инвестиции: сб. матер. VI-й всерос. науч.-практич. конф. – Пермь: Пермский ЦНТИ, 2005. – Т. 1. – С. 41–44.
  71. Громов, Г.Р. Автоформализация профессиональных знаний / Г.Р. Громов // Микропроцессорные средства и системы. – 1986. – №3. – С. 80–91.
  72. Бунаков, П.Ю. Использование принципа автоформализации профессиональных знаний в практической реализации концепции безошибочного проектирования и производства мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и производство мебели. – 2005. – № 3 (8) – С. 37–40.
  73. Судов, Е.В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е.В. Судов, А.И. Левин, А.Н. Давыдов, В.В. Барабанов. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. – 129 с.
  74. Андреищев, С.Н. Анализ методов описания криволинейных поверхностей при реинжиниринге декоративных элементов мебели / С.Н. Андреищев // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах: тр. всерос. конф. – Воронеж, 2002. – С. 42–43.
  75. Андреищев, С.Н. Методика объектно-ориентированного проектирования для описания реинжиниринга мебельных конструкций / С.Н. Андреищев // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГТУ, 2002. – С. 192–199.
  76. Андреищев, С.Н. Проектирование CAD-компонентов реинжиниринга полузаказных мебельных ансамблей: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Андреищев Сергей Николаевич. – Воронеж, 2002. – 161 с.
  77. Денискин, Ю.И. Особенности аппроксимации обводов параметрическими полиномами в форме Бернштейна / Ю.И. Денискин // Прикладная геометрия. – 2000. – №2. – С. 111–128.
  78. Farin, G. Algorithms for Rational Bezier Curves / G. Farin // Computer-Aided Design. – 1983. – V. 15. – P. 73–78.
  79. Farouki, R.T. On the optimal stability of the Bernstein basis / R.T. Farouki, T.N.T. Goodman // Mathematics of computation. – 1996. – №5. – P. 115–117.

80. Farouki, R.T. Algorithms for polynomials in Bernstein form / R.T. Farouki, V.T. Rajan // *Computer Aided Geometric Design*. – 1988. – №5. – P. 27–29.
81. Forrest, A.R. Interactive Interpolation and Approximation by Bezier Polynomials / A.R. Forrest // *Computer J*. – 1972. – №15. – P. 71–79.
82. Бунаков, П.Ю. Разработка и использование системы конструкторско-технологических требований и ограничений в САПР корпусной мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // *Наука и образование на службе лесного комплекса (к 75-летию ВГЛТА): сб. мат. междунар. науч.-практич. конф.* – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Т. 1. – С. 264–269.
83. Стариков, А.В. Об одном подходе к динамическому моделированию интерьера помещения / А.В. Стариков, Д.И. Дмитриенко, В.Н. Харин // *Компьютерное моделирование 2002: сб. тр. 3-й междунар. науч.-практич. конф.* – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002. – С. 167–170.
84. Стариков, А.В. Автоматизация проектирования интерьера помещения / А.В. Стариков, Д.И. Дмитриенко // *Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр.* – Воронеж: ВГЛТА, 2001. – Вып. 6. – С. 308–311.
85. Сарайкин, В.Г. Использование языка VRML для визуализации проектных решений дизайнера интерьеров / В.Г. Сарайкин, А.В. Стариков, Д.И. Дмитриенко // *Лесная промышленность*. – 2003. – №2. – С. 28–29.
86. Рыбицкий, П.Н. Основы автоматизированного проектирования изделий из древесины: учеб. пособ. для вузов / П.Н. Рыбицкий, К.А. Лобанова, А.Ю. Егорова. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2003. – 185 с.
87. Стариков, А.В. Использование моделирования в системе производственного управления мебельного предприятия / А.В. Стариков // *Системы управления и информационные технологии: межвуз. сб. науч. тр.* – Воронеж: ЦЧКИ, 2002. – Вып. 9. – С. 66–70.
88. Стариков, А.В. Информационное моделирование в позаказном проектировании и производстве мебели / А.В. Стариков, В.Г. Сарайкин // *Лесная промышленность*. – 2003. – №2. – С. 6–8.
89. Бунаков, П.Ю. Формализованное представление информационной модели прототипных объектов корпусной мебели / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // *Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр.* – Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Вып. 10. – Т. 1. – С. 39–43.
90. Медведев, Н.А. Автоматизированные системы управления в деревообрабатывающей промышленности / Н.А. Медведев. – М.: Лесн. пром-сть, 1977. – 232 с.

91. Пискунова, Н.Н. Анализ использования информационных систем управления предприятиями малого и среднего бизнеса / Н.Н. Пискунова, А.А. Чуенко // Информационные ресурсы России. – 2004. – №1 (77). – С. 9–12.
92. Волчков, С.А. Мировые стандарты управления промышленным предприятием в информационных системах (ERP-системах) / С.А. Волчков // Организатор производства. – 1999. – №1. – С. 43–48.
93. Питеркин, С.В. Отраслевое решение Фронтстеп СНГ для производителей мебели / С.В. Питеркин // Мир мебели. – 2004. – №1 (36). – С. 24–26.
94. Грачева, Т. Информатизация мебельной отрасли / Т. Грачева // Computerworld. – №1. – 2002.
95. Ведущий немецкий производитель мебели выбрал отраслевое решение infor:FURNITURE. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.press-release.ru/branches/forest/4177594be896d/>, свободный. – Загл. с экрана.
96. 1С-Рарус: Мебельное предприятие. Ред. 2 (Стандарт). Руководство пользователя. – М.: ООО «1С-Рарус», 2003. – 324 с.
97. Гаврилов, Д.А. Управление производством на базе стандарта MRPII / Д.А. Гаврилов. – СПб.: Питер, 2003. – 352 с.
98. Стариков, А.В. Выбор автоматизированной системы управления позаказным многономенклатурным мебельным производством / А.В. Стариков, С.В. Завгородний // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 2001. – Вып. 6. – С. 304–307.
99. Стариков, А.В. Компьютерная поддержка многономенклатурного мебельного производства / А.В. Стариков, В.Г. Сарайкин // Лесная промышленность. – 2003. – №2. – С. 31–32.
100. Павлов, В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях / В.В. Павлов; [отв. ред. Ю.М. Соломенцев]; Ин-т конструкторско-технологической информатики РАН. – М.: Наука, 2006. – 307 с.
101. Стариков, А.В. Управление сложными проектами в интегрированных САПР: монография / А.В. Стариков, В.Н. Харин. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 135 с.
102. Стариков, А.В. Концепция «безошибочного» проектирования и производства сложных мебельных ансамблей / А.В. Стариков, Д.И. Дмитриенко, В.Н. Харин // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. тр. 8-й междунар. науч.-практич. конф. – СПбГПУ: Изд-во «Нестор», 2004. – С. 145–148.
103. Стариков, А.В. Использование структурно-атрибутивного подхода к построению информационного пространства на современном мебельном предприятии / А.В. Стариков, В.Н. Харин // Технологии, машины и про-

- изводство лесного комплекса в будущем: сб. мат. междунар. науч.-практич. конф., посвященной 50-летию лесоинженерного факультета. – Воронеж: ВГЛТА, 2004. – С. 37–42.
104. Стариков, А.В. Разработка математического и программного обеспечения поддержки сложных проектов в распределенной вычислительной среде (на примере мониторинговой системы интегрированной САПР): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.11, 05.13.12 / Стариков Александр Вениаминович. – Воронеж, 1999. – 17 с.
  105. Стариков, А.В. Моделирование интегрированной информационной среды современного мебельного предприятия / А.В. Стариков, В.Н. Харин // Современные сложные системы управления (СССУ/HTCS 2003): сб. тр. междунар. науч.-практич. конф. – Воронеж: ВГАСУ, 2003. – Т. 2. – С. 403–410.
  106. Бунаков, П.Ю. Уровни абстрагирования в структурно-атрибутивных моделях концепции безошибочного проектирования и производства / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Дизайн и производство мебели. – 2006. – №1 (10). – С. 34–36.
  107. Стариков, А.В. Особенности построения специализированной САПР мебели и интерьера для использования в условиях позаказного производства / А.В. Стариков, Д.И. Дмитриенко // Современные сложные системы управления (СССУ/HTCS 2003): сб. тр. междунар. науч.-практич. конф. – Воронеж: ВГАСУ, 2003. – Т. 2. – С. 410–414.
  108. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++: пер. с англ. / Г. Буч. – 2-е изд. – М.: Изд-во Бинум, СПб.: Невский диалект, 1999. – 560 с.
  109. Йордан, Э. Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании: пер. с англ. / Э. Йордан, К. Аргила. – М.: Лори, 1999. – 268 с.
  110. Бунаков, П.Ю. Моделирование обобщенной структуры узлов сопряжения корпусных мебельных изделий / П.Ю. Бунаков, А.В. Стариков, В.Н. Харин // Моделирование систем и информационные технологии: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: Научная книга, 2005. – Вып. 2. – С. 203–206.
  111. Корячко, В.П. Теоретические основы САПР: учеб. для вузов / В.П. Корячко, В.М. Курейчик, И.П. Норенков. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.
  112. Автоматизация схемотехнического проектирования: учеб. для вузов / В.Н. Ильин, В.Т. Фролкин, А.И. Бутко и др.; под ред. Ильина В.Н. – М.: Радио и связь, 1987. – 368 с.



113. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ : пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, Р. Штайн. – 2 изд. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 1296 с.
114. Стариков, А.В. Итеративный алгоритм для обхода произвольного орграфа / А.В. Стариков // Современные проблемы информатизации: тез. докл. IV междунар. электрон. науч. конф. – Воронеж: ВГПУ, 1999. – С. 58.
115. Стариков, А.В. Итеративный алгоритм для обхода вершин в ациклическом орграфе / А.В. Стариков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 1999. – С. 220–223.
116. Tarjan, R.E. Depth first search and linear graph algorithms [Текст] / R.E. Tarjan // SIAM Journal Computing. – 1972. – №2. – P. 146–160.
117. Глотов, М.В. Об одной реализации итеративного алгоритма для обхода вершин произвольного орграфа / М.В. Глотов, С.В. Завгородний, А.В. Стариков // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. – Воронеж: ВГЛТА, 1999. – С. 224–227.
118. Стариков, А.В. Эскизно-структурное и структурно-атрибутивное моделирование объектов проектирования в перспективной САПР корпусной мебели / А.В. Стариков // Информационные технологии и моделирование управления. – 2006. – №7 (32). – С. 894–899.
119. Евстигнеев, В.А. Применение теории графов в программировании / В.А. Евстигнеев. – М.: Наука. Глав. Ред. физ.-мат. лит., 1985. – 352 с.
120. Липский, В. Комбинаторика для программистов: пер. с польск. / В. Липский. – М.: Мир, 1988. – 213 с.
121. Арлазаров, В.Л. Системный подход к управлению информацией / В.Л. Арлазаров, Н.Е. Емельянов. – М.: УРСС, 2006. – 328 с.
122. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE): пер. с англ. / К. Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
123. Райордан, Р. Основы реляционных баз данных: пер. с англ. / Р. Райордан. – М.: Издат.-торг. дом «Русская редакция», 2001. – 384 с.
124. Коннолли, Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение: пер. с англ. / Т. Коннолли, К. Бегг, А. Страчан. – Киев: Издат. дом «Вильямс», 2003. – 1440 с.
125. Мирошниченко, Г. Реляционные базы данных. Практические приемы оптимальных решений / Г. Мирошниченко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
126. Филонов, И.П. Проектирование технологических процессов в машиностроении / И.П. Филонов. – М.: Технопринт, 2003. – 910 с.

127. Голованов, Н.Н. Геометрическое моделирование / Н.Н. Голованов. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2002. – 472 с.
128. Никулин, Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.
129. Обзор ядер геометрического моделирования. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.cad.dp.ua/obzors/karnel.php>, свободный. – Загл. с экрана.
130. Островерхов, А.П. Методы и алгоритмы синтеза систем геометрического моделирования / А.П. Островерхов. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2003/fvti/ostroverkhov/diss/index.html>, свободный. – Загл. с экрана.
131. Игнатенко, А.В. Геометрическое моделирование сплошных тел / А.В. Игнатенко. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://cgm.graphicon.ru/content/view/19/61>, свободный. – Загл. с экрана.
132. Benhajji, F. 3D Graphical User Interfaces / F. Benhajji, E. Dybner. – Master Thesis (Jule 1999), Departament of Computer and Systems Sciences, Stockholm University and the Royal Institute of Technology. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.dsv.su.se/~johank/publications/others/Farid-BenHajjiAndErickDybner/benhajjidybnerMSc.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
133. Баяковский, Ю.М. Графическая библиотека OpenGL: учебно-метод. пособие / Ю.М. Баяковский, А.В. Игнатенко, А.И. Фролов. – М.: Издат. отдел факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова, 2003. – 132 с.
134. Ву, М. OpenGL. Руководство по программированию: пер. с англ. / М. Ву, Т. Девис, Дж. Нейдер, Д. Шрайнер. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2006. – 624 с.
135. Роджерсон, Д. Основы COM: пер. с англ. / Д. Роджерсон. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издат.-торг. дом «Русская редакция», 2000. – 400 с.
136. Есенин, С.А. DirectX и Delphi: разработка графических и мультимедийных приложений / С.А. Есенин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 512 с.
137. Ламот, А. Программирование игр для Windows. Советы профессионала: пер. с англ. / А. Ламот. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 880 с.
138. Аврамова, О.Д. Язык VRML. Практическое руководство / О.Д. Аврамова. – М.: Диалог-МИФИ, 2000. – 228 с.
139. Международный стандарт языка VRML в 2-х частях: Р. I – VRML97 Functional Specification ISO/IEC 14772-1:1997; Р. II – VRML97 External Authoring Interface (EAI) ISO/IEC 14772-2:2004. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.web3d.org/technicalinfo/specifications/vrml97/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

140. Международные стандарты языка X3D ISO/IEC FCD 19775:200x: X3D Specifications, Encoding and Language Bindings. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.web3d.org/x3d/specifications/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
141. Холзнер, С. XML. Энциклопедия: пер. с англ. / С. Холзнер. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 1101 с.
142. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя: пер. с англ. / Г. Буч, Д. Рамбо, А. Якобсон. – М.: ДМК, 2007. – 496 с.
143. Дмитриенко, Д.И. Структурный анализ VRML конструкций для объектной интеграции проектных решений / Д.И. Дмитриенко // Надежность и качество: сб. тр. междунар. симпоз.; под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: ПГУ, 2002.
144. Митрофанов, С.П. Научные основы технологической подготовки группового производства / С.П. Митрофанов. – М.: Машиностроение, 1965.
145. Митрофанов, С.П. Групповая технология машиностроительного производства: в 2-х томах / С.П. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1983.
146. Вороненко, В.П. Проектирование машиностроительного производства: учебник для вузов / В.П. Вороненко, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе; под ред. чл.-корр. РАН Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2006. – 380 с.
147. Гальперин, В.М. Микроэкономика / В.М. Гальперин, С.М. Игнатьев, В.И. Моргунов. – М.: Экономическая школа, 2004. – 503 с.
148. Портер М. Конкуренция: пер. с англ. / М. Портер. – М.: Вильямс, 2006. – 608 с.
149. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2002. – 320 с.
150. Давыдов, А. CALS-технологии: основные направления развития / А. Давыдов, В. Барабанов, Е. Судов. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://quality.erp.ru/materialy2/calstechn.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
151. Мартин, Д. XML для профессионалов: пер. с англ. / Д. Мартин, М. Бирбек, Б. Лозген и др. – М.: Лори, 2001. – 900 с.
152. Дейтел, Х. Как программировать на XML: пер. с англ. / Х. Дейтел, П. Дейтел. – М.: Бином, 2001. – 944 с.
153. Коломин, И. Автоматизация предприятия. С чего начать? / И. Коломин // Фабрика мебели. – 2005. – №6. – С. 52–54.
154. Стариков, А.В. Задача формирования единого информационного пространства мебельного предприятия: формализация, подходы и средства решения / А.В. Стариков // Проблемы функционирования, стабилизации

- и устойчивости развития предприятий лесопромышленного комплекса в новом столетии: сб. мат. междунар. науч.-практич. конф., Воронеж: ВГЛТА, 2004. – С. 391–396.
155. Рамбо, Д. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка: пер. с англ. / Д. Рамбо. – СПб.: Питер, 2006. – 544 с.
156. Боггс М. UML и Rational Rose: пер. с англ. / М. Боггс, У. Боггс. – М.: Лори, 2001. – 582 с.

## Предметный указатель

CALS-технология **12**

DirectX **208**

OpenGL **203**

UML **297**

VRML **211**

— браузер **211**

— генератор **112**

— сцена **201**

X3D **214**

Адаптация **148**

Анализ предпроектный **10**

Антресо́ль **58**

Аспект **111**

Атрибут **122**

Базирование **57**

Бизнес-процесс **11**

БОПП **97**

Вариативность параметрическая **148**

Верификация графическая **254**

Вид **42**

Визуализатор **201**

Генератор модели **160**

Гиперграф **152**

Граница производственных  
возможностей **268**

Граф **19**

— вариантов ТП **192**

— полносвязный **19**

— планарный **172**

— хроматический (цветной) **175**

— полихроматический **178**

Данные **88**

Диаграмма реперная **95**

Документ **185**

Домен **159**

Задание

— техническое **19**

— — частное **152**

Зарез поверхности **273**

Избыточность **145**

Изделие

— прототипное **26**

— стандартизованное **18**

Инжиниринг **80**

Инкапсуляция **147**

Интеграция **35**

— виртуальная **288**

— информационная **288**

Интеллектуализация **132**

Интероперабельность **299**

Интерфейс **28**

— программный **203**

— устройств графических **190**

Информатизация **132**

Инфраструктура **142**

Инцидентор **152**

Карта раскроя **23**

Каскад событий **222**

Компьютеризация **132**

Композиция **224**

Коннектор **201**

Координаты

— исполнительные **23**

— эскизные **175**

Кортеж **186**

Коэффициент

— использования материала **64**

— серийности **26**

— унификации **242**

Критерий

— обобщенный **190**

— однородности **50**

— оптимизации **190**

— — локальный **296**

— — нормализованный **190**

- отбора **238**
- подобия **257**
- технологичности **242**
- фильтрации обрезков **247**
- эффективности **15**
- КТТО **77**
- база данных **92**
- регламентирующие **115**
- редактор **87**
- рекомендуемые **115**

**Макроуровень 151**

**Микроуровень 151**

**Маршрут проектирования 130**

**Масштабирование интеллектуальное 96**

**Материал 23**

— сопутствующий **263**

**Матрица**

— булева (бинарная) **178**

— весовая **280**

— инцидентности **176**

— отношения **177**

— смежности **176**

**Медиатизация 132**

**Метаданные 289**

**Метауровень 289**

**Механизм раздвижения 55**

**Модель 13**

— аналитическая **121**

— внешняя **197**

— высокоуровневая **228**

— геометрическая **23**

— графо-аналитическая **181**

— инфологическая **146**

— каркасная (проволочная) **41**

— конвейерная **143**

— конструкционная **122**

— концептуальная **120**

— КТТО **115**

— объектно-ориентированная **117**

— операции проектной **184**

— отверстия обобщенного **127**

— параметрическая **58**

— поверхностная **41**

— полигональная **182**

— прототипная **82**

— реляционная **183**

— структурно-атрибутивная **80**

— — — узла сопряжения **121**

— твердотельная **41**

— эскизно-структурная **174**

**Моделирование 17**

— геометрическое **25**

— реперное **95**

**Монитор 87**

**Мониторинг 77**

— состояния проекта **162**

— темпоральный **146**

**Морфинг 215**

**Наследование 147**

**Нить линейная резиновая 48**

**Нормирование 260**

**Облицовка 44**

**Обслуживание техническое 18**

**Объект 14**

**Оптимизация**

— карт раскроя **65**

— многокритериальная **188**

— параметров изделия **85**

— структурная **189**

**Оргграф 52**

**Откат 162**

**Отношение 119**

**Панель 44**

— гнутая **46**

**Парадигма 13**

— проектирования **22**

— — традиционная **22**

— — новая **71**

**Петля графа 178**

**Подготовка производства**

— организационная **230**

— технологическая **183**

**Подход**

— блочно-иерархический **151**

— объектно-ориентированный **41**

**Поток**

— информационный **141**

— материальный **265**

— технологический **67**

**Постпроцессор 253**

- Потери внецикловые **267**
- Предложение художественно-конструкторское **16**
- Препроцессинг **121**
- Проект художественно-конструкторский **16**
- Проектирование **13**
  - возвратное **80**
  - мебельных изделий **14**
  - параллельное **143**
  - параметрическое **26**
  - рабочее **17**
  - эскизное **18**
- Производство **9**
  - индивидуальное **12**
  - серийное **11**
  - позаказное промышленное **13**
- Пространство единое информационное **273**
- Прототип **26**
- Процесс технологический **181**
  - аналог **187**
- Профиль **37**
- 
- Редактор таблично-графический **86**
- Реинжиниринг **80**
- Режим резания **239**
- Реструктуризация **97**
- 
- САПР **12**
  - 3D-Constructor **36**
  - Armario **99**
  - bCAD **28**
  - WinGRAF **106**
  - Woody **33**
  - БАЗИС **25**
  - коммерческая **12**
  - КЗ-Мебель **31**
- Секция угловая **58**
- Сенсор **213**
- Система
  - информационная **76**
  - — центральная **157**
  - мониторная **157**
  - производительная **141**
  - технологической подготовки
    - производства **141**
- Слой **42**
- Событие **222**
- Сплайн **46**
- Стандарт графический **277**
- Станок форматно-раскроечный **63**
- Стратегия развития **255**
- Структура
  - базы данных материалов **50**
  - изделия **16**
  - КТТО **82**
  - модели геометрической **42**
  - проектирования **18**
  - САПР мебели **40**
  - сетевая **54**
- Схема
  - врезания инструмента **253**
  - раскроя **64**
  - RGB **214**
- Сцена **183**
- 
- Текстура **59**
- Технологичность **14**
  - изделия **230**
  - карт раскроя **66**
- Технология
  - групповая **257**
  - типовая **187**
- Топология графа **177**
- Точка конфигурирования **278**
- Трансформация **148**
- 
- Узел
  - интерполятор **222**
  - манипулятор **223**
  - разделитель **212**
  - сопряжения **122**
  - сценария **222**
- Уровень **24**
  - абстрагирования **122**
  - — конструктивного **285**
  - — принципиального **285**
  - — рабочего **285**
  - проектирования **151**
  - — системный **151**

**Фурнитура 44**  
— крепежная 49

**Цикл жизненный 18**

**Элемент**  
— конструктивный 17  
— сопутствующий 50  
— щитовой 23

**Ядро геометрическое 199**

**Язык**  
— ассемблера 128  
— описания модели 160  
— описания проекта 159  
— программирования 60  
— проектирования 151



Бунаков Павел Юрьевич,  
Стариков Александр Вениаминович,  
Старикова Анна Александровна,  
Харин Валерий Николаевич

**НОВАЯ ПАРАДИГМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ САПР  
СЛОЖНОЙ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ  
ДЛЯ ПОЗАКАЗНОГО  
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Редактор Н.П. Бунакова

Подписано в печать. Формат. Бумага  
Гарнитура «Таймс». Ризография. Усл. печ. л.

Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_.

Издательство Московского государственного университета леса.  
141005, Мытищи-5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.

E-mail:izdat@mgul.ac.ru

По вопросам приобретения литературы издательства ГОУ ВПО МГУЛ  
обращаться в отдел реализации.

Телефон: (498) 687-37-14.