

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

В. А. Полетаев

КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Кемерово 2014

УДК 658.012.2

Рецензенты:

Кафедра автоматизации производственных процессов и АСУ Кемеровского технологического института пищевой промышленности

Старший научный сотрудник Института угля и углехимии СО РАН, кандидат технических наук, доцент В. В. Зиновьев

Полетаев, В. А. Компьютерно-интегрированные производственные системы : учеб. пособие / В. А. Полетаев ; Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2014. – 159 с.

ISBN 978-5-89070-1026-6

Рассмотрены основные понятия и определения компьютерно-интегрированных производственных систем (КИПС), основные принципы создания и проектирования КИПС, вопросы автоматизированного проектирования, научно-методические основы технологической подготовки автоматизированного производства, автоматизации процесса производства в КИПС.

Изложены принципы построения гибких производственных систем (ГПС), примеры ГПС, технологические основы создания ГПС, методика проектирования ГПС, система управления ГПС, вопросы охраны труда работающих. Приведены основные принципы системного проектирования КИПС.

Предназначено для направлений 220700.62 «Автоматизация технических процессов и производств» и 230400.62 «Информационные системы и технологии».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева.

УДК 658.012.2

© Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2014

ISBN 978-5-89070-1026-6

© Полетаев В. А., 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие (УП) является составной частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Интегрированные производственные системы», включающего учебную программу, методические указания и учебное пособие, и предназначено для студентов направлений подготовки 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств» и 230400.62 «Информационные системы и технологии».

Автоматизированное машиностроительное производство характеризуется постоянным наращиванием выпуска продукции, частой сменяемостью моделей машин и приборов, позволяющей непрерывно совершенствовать их конструкции.

Отсюда возникает необходимость организации гибкого, перенастраиваемого производства, внедрения гибкого технологического оборудования во всех типах производства – от мелкосерийного до массового. Главное условие здесь – обеспечение максимальной экономической эффективности, т. е. производство изделий с минимальными затратами труда и денежных средств. Успешно решить задачи можно при углублении научных исследований в области автоматизации производства, формировании фундаментальных теоретических основ автоматизации процессов машиностроения, опережающей подготовке инженерных кадров в области автоматизации.

УП основано на материалах зарубежных и отечественных ученых, а также на научных, методических и практических достижениях автора в области автоматизации, имеющего 50-летний опыт работы в данном направлении.

В данном учебном пособии автором обобщен многолетний опыт преподавания технологических дисциплин, связанных с автоматизацией конструкторской и технологической подготовки производства, гибкой автоматизацией машиностроительного производства, с проектированием автоматизированных систем управления и интеграцией производственного процесса.

В работе приводится современный библиографический материал.

Автор просит извинения у читателя за возможные допущенные ошибки и просит направлять свои пожелания и отзывы по адресу: pva@kuzstu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Комплексная автоматизация производственных процессов – одно из главных направлений научно-технического прогресса в машиностроении, важнейший фактор повышения качества изготавливаемой продукции и производительности, а также улучшения условий труда. Научно-технический прогресс вносит коренные усовершенствования в технологию производства, техническую оснащенность предприятия современными средствами труда.

Исключительное внимание, уделяемое вопросам интенсификации производства на основе широкого внедрения средств автоматизации и вычислительной техники, обусловлено тем, что на современном этапе это ключевое направление ускорения научно-технического прогресса.

Главной особенностью современного этапа развития техники, в частности средств производства, является широкое использование вычислительной техники для автоматизации процессов умственного и физического труда. Практически речь идет о коренном изменении характера средств производства, означаящем, по существу, создание новой материально-технической базы общества.

Развитие обрабатывающего оборудования идет по пути достижения высоких технических показателей. В то же время с повышением производительности все большее внимание уделяется гибкости и готовности оборудования к наиболее рациональной его эксплуатации. Выбор прогрессивной технологии и современных средств автоматизации является правильным только тогда, когда полностью используются гибкость, экономичность производственной системы. Производство должно иметь возможность быстро и с наименьшими затратами обновлять выпускаемую продукцию.

Существенное повышение уровня автоматизации производственных процессов, связанное с появлением систем с ЧПУ, ком-

пьютеризированных производств и систем автоматизированного проектирования, поставило задачу создания заводов с полностью автоматизированным производственным циклом. Основой такого завода является компьютерно-интегрированная производственная система (КИПС).

Под КИПС понимают систему на уровне цеха, предприятия, в которой все операции с информационными потоками по всем этапам производственной деятельности предприятия (ПДП) автоматизированы на основе компьютерных технологий. При этом материальные потоки могут быть полностью или частично автоматизированы. КИПС состоит из производственно-технологического комплекса (ПТК), автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), системы автоматизированного проекта (САПР), автоматизированных систем подготовки производства (АСПП), оперативного управления (СОУ), управления производством (АСУП). Оперативное управление ПТК осуществляет система оперативного управления (СОУ), функциональными задачами которой являются: оперативное планирование, диспетчерское управление, управление основным и вспомогательным оборудованием. ПТК вместе с СОУ образуют автоматизированную производственную систему (АПС). Совокупность всех систем подготовки и управления образует интегрированную систему автоматизации (ИСА) производственной деятельности предприятия. На современном уровне автоматизации такая система обязательно включает элементы интеллектуализации и определяется как интеллектуальная интегрированная система (ИИС) управления ПДП. В зависимости от уровня автоматизации АПС могут быть совокупностью станков с ручным управлением или с ЧПУ, совокупностью гибких производственных модулей (ГПМ), ячеек, автоматических линий и, наконец, гибкой автоматизированной производственной системой (ГАПС). ГАПС – перенастраиваемая автоматизированная производственная система, в которой реализована комплексная автоматизация как информационных, так и материальных потоков на уровне участия линии, ячеек. Для современного развития комплексной автоматизации процессов машиностроения характерны три главные тенденции. Первая тенденция – широкое применение метода концентрации (совмещения) элементарных технологических операций при со-

здании автоматического оборудования для массового, серийного и мелкосерийного производства. Концентрация операций в одной рабочей машине резко повышает ее производительность, позволяет быстро окупить затраты на автоматизацию.

Вторая тенденция – использование метода агрегатирования (агрегатно-модульного принципа построения) металлорежущих станков-автоматов и автоматических линий, сборочных машин, контрольных, транспортных устройств, роботов и систем управления, что в несколько раз сокращает сроки проектирования и изготовления средств автоматизации и оборудования, создает возможность его переконфигурации и переналадки при изменении объекта производства.

Третья тенденция – применение микропроцессорной техники и компьютеров для управления технологическими процессами на всех уровнях (включая управление качеством продукции), что создает гибкость производства, высокую надежность управляющих систем, позволяет реализовать большие потенциальные возможности современных технологий.

Промышленное производство в современных динамично развивающихся социально-экономических условиях характеризуется высокой сложностью выпускаемой продукции благодаря согласованной работе многих предприятий. Процессы проектирования и управления производством на отдельных предприятиях выполняются с помощью автоматизированных систем, поэтому для успешной совместной производственной деятельности должно осуществляться информационное взаимодействие таких систем. Кроме того, информационное взаимодействие необходимо также между изготовителями и потребителями продукции, так как цель промышленного производства – это создание изделий требуемого качества, удобных в освоении и обслуживании.

Бурное развитие информационных и телекоммуникационных технологий способствовало созданию новых методов и структур, позволяющих коренным образом перестроить процесс производства. Становление открытого электронного мирового рынка, на котором можно получить практически мгновенный доступ к информации о любых товарах, обусловило резкий рост конкуренции между производителями. Как правило, товары,

интересующие потребителя, уже перестали быть локальными продуктами и производятся предприятиями по всему миру.

В настоящее время на мировом рынке наукоемких промышленных изделий отчетливо наблюдаются три основные тенденции: повышение сложности и ресурсоемкости изделий, повышение конкуренции на рынке и развитие кооперации между участниками жизненного цикла (ЖЦ) изделия (в том числе создание «виртуальных» предприятий). При этом кардинально меняются роль и образ потребителя. Безликого массового потребителя прошлых времен сменяет индивидуальный заказчик, который берет в свои руки контроль над рынком, хорошо осведомлен о состоянии дел на рынке и возможностях выбора продукции. Поэтому требования к качеству товаров постоянно растут, их ЖЦ становится короче, номенклатура – шире, а объем выпуска по отдельным позициям номенклатуры – меньше. Субъективное понятие качества продукции формируется в процессе взаимодействия производителя и потребителя и определяется степенью соответствия характеристик товара набору требований потребителя.

Основной проблемой, стоящей сейчас перед производителями, является повышение конкурентоспособности выпускаемых изделий, добиться которой можно за счет следующих факторов: повышения степени удовлетворения требований заказчика, сокращения сроков создания изделия и снижения материальных затрат на его изготовление и эксплуатацию. При этом главным направлением в конкурентной борьбе становится не только снижение себестоимости продукции, а в большей степени повышение качества продукции и максимальное ее соответствие конкретным требованиям конкретного потребителя.

Фирмы, производящие сложную наукоемкую продукцию, постоянно и интенсивно ищут новые методы и подходы к упрочению положения на рынке и повышению конкурентоспособности, основанные на широком использовании информационных технологий. Такие технологии обеспечивают ускорение процессов проектирования и производства продукции за счет автоматизации и информационной интеграции, т. е. сокращения длительности сроков разработки и выхода продукции на рынок.

Современное предприятие должно обеспечить реализацию всего производственного цикла изделия. При этом портфель зака-

зов может изменяться в короткие сроки, так же как и состав участвующих в его выполнении организаций. Наиболее эффективное направление сокращения времени выполнения заказов – создание интегрированной системы автоматизации (ИСА) производственной деятельности предприятия. В ИСА объединяются системы, реализующие частные задачи автоматизации производственного цикла. Методологии построения ИСА предприятия могут быть различными. На сегодняшний день можно выделить пять основных направлений создания ИСА:

1. Разработка ИСА конкретного предприятия по его индивидуальному заказу фирмой-разработчиком программных систем с применением алгоритмических языков высокого уровня.

2. Постепенная интеграция систем автоматизации ПДП путем разработки или приобретения предприятием отдельных пакетов, каждый из которых решает отдельные функциональные задачи предприятия.

3. Приобретение мощной системы комплексной автоматизации, состоящей из многих функциональных модулей, работающих в единой информационной среде системы и частично адаптированных к особенностям предприятия.

4. Создание ИСА из отдельных систем, подсистем, пакетов, имеющих возможность представления своих выходных данных и заданий в информационной среде предприятия.

5. Ускоренное создание ИСА конкретного предприятия под его индивидуальный заказ с применением инструментальной программы метасистемы (ИПМ) при участии специалистов предприятия.

Каждое направление поддерживается различными программными продуктами, опирается на разные методы и технологии комплексной автоматизации, требует различных затрат предприятия и приводит к различным конечным результатам. Имеющийся опыт реализации этих направлений, анализ состояния и перспектив развития средств автоматизации позволяют сформулировать принципы, на которых должны строиться современные ИСА:

1. Компьютерно-ориентированная автоматизация всех этапов жизненного цикла изделия (ЖЦИ).

2. Интеграция всех систем автоматизации производственной деятельности внутри одного предприятия.

3. Интеллектуализация.

4. Специализация ИСА каждого предприятия.

5. Индивидуализация рабочего места ИСА предприятия.

6. Базирование на достижениях современных информационных технологий инжиниринга (ИТИ).

Компьютерная автоматизация означает:

- приоритет автоматизации информационных потоков;
- компьютерную ориентацию при автоматизации всех функций ПДП;
- наличие обратных информационных связей;
- реализацию основных принципов проектирования сложных систем (модуль, открытость и т. п.).

Интеграция предусматривает единство сред, охватывающих все системы автоматизации и этапы ПДП: методической, организационной, информационной, программной, технической.

Интеллектуализация означает:

- разработку и использование интеллектуальных моделей и моделирования при решении всех функциональных задач на всех этапах ЖЦИ;
- распределение на каждом рабочем месте знаний между человеком и машиной для решения функциональных задач, закрепленных за рабочим местом;
- проектирование не только объектов и процессов, но главным образом параметризованных процедур их создания (процедур модели);
- унификацию и формализацию процедур обработки знаний;
- использование баз знаний и интеллектуализацию принятого решения при проектировании и управлении производством;
- организацию непрерывного накопления знаний, используемых в ПДП;
- использование единого банка данных среди разнородных систем.

1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ

1.1. Задачи создания КИПС

Назначение КИПС заключается в реализации автоматизированного цикла создания нового изделия от предпроектных научных исследований до выпуска серийного образца, при этом обеспечивается проведение работ на всех стадиях – от исследования до производства – на основе использования общей информационной базы, а также безматериальный перенос информации по составляющим системам этого цикла с помощью локальных вычислительных сетей (ЛВС).

Задачи по созданию и внедрению КИПС сложны и многообразны. Это объясняется тем, что разработка процесса проектирования и изготовления продукции должна быть ориентирована на применение высокопроизводительных материально- и энергосберегающих технологий, новых конструкционных материалов, повышающих надежность, экономичность изделий, на использование методов групповой организации производства. Сам процесс создания и внедрения КИПС диктует необходимость организации межотраслевой кооперации на базе совмещения отраслевых и территориальных механизмов управления научно-техническим прогрессом.

Внедрение систем интегральной автоматизации – следствие успехов, достигнутых в последние годы в области автоматизации умственного и физического труда. Замена рабочего у станка автоматом, а затем осуществление автоматической транспортировки и подачи деталей к станку позволили перейти от отдельных «островков» автоматизации к системам станков, объединенных транспортными линиями, а затем к целым производственным системам, включающим автоматизированные или автоматические склады, транспортные средства, накопительные системы, автоматическое обрабатывающее оборудование, системы уборки отходов, а также системы обеспечения технологического процесса инструментом и оснасткой. Автоматизация технологических процессов на предприятиях и сегодня начинается, как правило, с создания «островков» автоматизации. Однако коль скоро име-

ются предпосылки к созданию взаимосвязанных систем машин и механизмов и обрабатывающих систем, крайне целесообразно с самого начала работ по внедрению средств автоматизации предусматривать их включение в цельную систему с тем, чтобы расширение автоматизированной системы не повлекло за собой ее частичной (а иногда и полной) замены. Переход к автоматическим заводам, включающим производство различных технологических профилей, также связан с созданием цельной системы; и здесь в еще большей степени проявляется тенденция к построению автоматизированных систем на основе единой для каждого такого завода концепции совместимых между собой средств автоматизации.

Серьезное внимание уделяется в настоящее время автоматизации проектно-конструкторских работ, работ по технологической подготовке производства, а также управленческих работ, связанных с реализацией производственного цикла изготовления продукции. Практически производство, проектно-конструкторские работы и работы по технологической подготовке производства, а также процессы обработки информации составляют главные, ключевые области приложения усилий при разработке систем интегральной автоматизации производства.

Система автоматизации проектирования реализует возможности, предоставляемые на сегодняшний момент вычислительной техникой. К их числу относятся расчет объектов и проектируемых систем на прочность, исследование кинематических, геометрических, динамических свойств проектируемых конструкций. Эти системы позволяют моделировать работу изделия в условиях изменяющейся внешней среды, имитирующей работу конструкции в реальных условиях. На САПР возлагаются функции документирования процесса проектирования: изготовление чертежей, спецификаций, размножение технической документации.

Современные вычислительные средства предоставляют проектировщику определенные сервисные возможности, в связи с чем резко увеличивается скорость проектирования, повышается эффективность принимаемых в процессе проектирования решений, улучшаются эргономические и эстетические качества и свойства изделий.

При работе с САПР используются методики, апробированные на предприятии в течение предыдущих лет, справочно-нормативные данные, составляющие базу знаний, необходимую при проектировании. База данных при проектировании, соответствующая создаваемой конструкции и включающая как данные фрагменты, так и весь проект конструкции в целом, служит исходной информацией для технологической подготовки производства. При этом обеспечиваются: возможность автоматизированной разработки технологического процесса с выводом информации в виде технологических карт, графов, матриц; автоматизированный выбор и проектирование инструмента и оснастки; составление расписания обработки изделия на обрабатывающем оборудовании. Особая функция этих систем заключается в изготовлении программ обработки изделия на оборудовании с устройством числового программного управления (УЧПУ).

Таким образом, проектирование и технологическую подготовку производства можно осуществить в комплексе, как бы в одном процессе, так что любые изменения в конструкции детали могут быть внесены непосредственно в конструкцию проектируемого изделия. Сложный итерационный с многочисленными корректировками процесс «проектирование – технологическая подготовка производства» может быть проведен для крупных конструкторских работ, включающих просмотр сотен вариантов при разработке и создании конструкций из многих тысяч деталей. Такой комплексный подход по оценкам специалистов обеспечивает большую экономию времени и снижение денежных затрат от 30 до 50 %.

При разработке новых конструкций, узлов, систем часто необходимо проанализировать саму идею, концепцию создания изделия. Такие работы проводятся в рамках предпроектных научных исследований и, как правило, связаны с анализом и сравнением вариантов систем, исследуемых потом с помощью ЭВМ. Привлечение автоматизированных систем научных исследований позволяет резко повысить эффективность и качественные показатели создаваемой конструкции или системы. АСНИ в цепочке, составляющей производственный цикл, есть первая ступень его интегральной автоматизации.

Последние стадии производственного цикла, связанные с собственно изготовлением продукции, также целесообразно осуществлять в едином процессе с использованием общей информационной базы. В роли связующей основы систем САПР и АСТПП выступает проект, он же обеспечивает интеграцию предметных областей изделий и самой производственной среды, приводит к цепочке АСНИ/САПР/АСТПП/ГАП, т. е. к интегрированному производственному комплексу. Проект содержит практически всю информацию, необходимую для осуществления производственного цикла. Главная задача, связанная с обеспечением функционирования систем автоматизации и ЛВС, – разработка их информационного, программного и аппаратного обеспечения, а также проведение системных исследований, определяющих принципы и методы их интеграции, общую стратегию внедрения систем автоматизации на предприятии, оптимальный уровень автоматизации производственных процессов, методы оценки эффективности и т. д.

Такая направленность на осуществление интегральной автоматизации цикла «исследование – проектирование – технологическая подготовка производства – производство» обеспечивает значительно большую (до двух раз) эффективность по сравнению с внедрением локальных систем автоматизации.

Жизненный цикл «исследование – производство» определяет и организационную структуру предприятия, составными частями которой является аппарат управления, научно-исследовательский отдел, конструкторский отдел, отдел главного технолога (ОГТ), отдел технического контроля (ОТК) и другие подразделения. Соответственно эти подразделения строятся на базе использования систем автоматизации: АСУП, АСНИ, САПР, АСТПП, СУ ГПС, САК. Комплексование систем осуществляется информационно-вычислительной сетью.

Таким образом, КИПС – это такая технология разработок, которая ориентирована на применение ЭВМ для выполнения определенных функций проектирования и выпуска изделий и предполагает тесную интеграцию двух видов деятельности (проектирование и производство), которые традиционно считались на предприятиях различными и независимыми. Создание КИПС

должно обеспечить основу для полностью автоматизированных заводов.

1.2. Автоматизированная поддержка производственного цикла создания изделия машиностроения

Для эффективной работы в современных условиях предприятие должно обеспечивать автоматизацию всего ЖЦ изделия (маркетинг, формирование портфеля заказов, проектирование, конструкторская, технологическая, техническая и экономическая подготовка производства, планирование и оперативное управление производством, хранение, сбыт и др.) без значительного изменения в переходный период сроков подготовки продукции к производству и себестоимости продукции. Может возникнуть такая ситуация, когда товар будет производиться только в том случае, если на него есть конкретный заказчик.

При классическом подходе к созданию изделия большая доля себестоимости изделия приходится на этапы конструкторской и технологической подготовки его производства. Следовательно, переход предприятия на работу по системе заказов возможен только при условии, что это соотношение кардинально изменится и себестоимость единичного изделия будет мало отличаться от себестоимости изделия, созданного в условиях массового производства.

При снижении количества производимых изделий в себестоимости каждого изделия возрастет та часть, которая приходится на этапы его разработки. Избежать этого можно путем уменьшения затрат на разработку изделия за счет использования систем автоматизированного проектирования.

Для понимания масштаба задач автоматизации в деятельности предприятия рассмотрим его производственный цикл. На рис. 1.1 представлен традиционный производственный цикл промышленного предприятия.

Организация этого цикла определяется заказчиками изделий и потребностями рынков сбыта. Могут быть случаи, когда в роли проектировщиков и изготовителей выступают разные фирмы, в других случаях это одно предприятие. Но производственный

цикл всегда начинается с выработки концепции нового изделия, т. е. с возникновения определенной идеи.

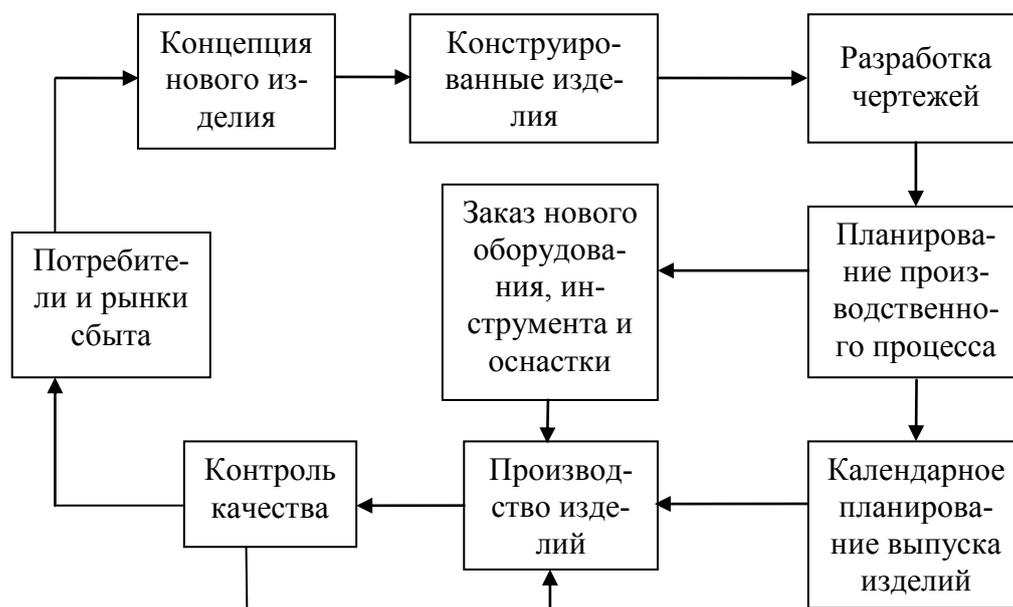


Рис. 1.1. Производственный цикл (охватывающий проектирование и изготовление изделий)

Затем осуществляется конструкторская проработка изделия, которая реализуется документацией в виде конструкторских чертежей и совокупности технических описаний (спецификаций), отображающих принципы функционирования изделия. Формулируется план выпуска новой продукции. На этом этап проектирования заканчивается (если не считать конструктивных изменений, которые могут быть на протяжении всего жизненного цикла изделия). Следующим видом деятельности становится изготовление изделия, которое начинается с технологической подготовки производства (проектирование ТП и необходимого технологического оснащения оборудования, оснастки, инструмента). На этапе разработки графика производства вырабатывается план, в соответствии с которым предприятие фактически берет на себя обязательство выпустить определенное количество изделий в конкретные сроки. После этого запускается собственно производство, заканчивающееся необходимым контролем и отгрузкой заказчику.

Влияние автоматизации на все рассмотренные виды деятельности является определяющим, что видно из рис. 1.2.



Рис. 1.2. Производственный цикл при автоматизированной поддержке

Автоматизированное проектирование и автоматическое изготовление чертежей и конструкторской документации (АСНИ, САПР) имеют место на этапах выработки концепции, конструирования изделия и разработки чертежей. На этапах ТПП и календарного планирования выпуска использование АСТПП и АСУП обеспечивает более эффективное выполнение этих функций. В ходе производства ЭВМ (СУ ГПС) осуществляет текущий контроль и управление технологическими операциями. В процедурах контроля качества система автоматического контроля (САК) обеспечивает контроль и испытание как готовых изделий, так и их компонентов. Современный этап в создании автоматизированных систем характеризуется комплексной автоматизацией задач управления производственным циклом. Основной тенденци-

ей развития автоматизированных систем является объединение локальных систем в целях создания интегрированных систем.

Основные типы автоматизированных систем, используемых в производственном цикле, представлены на рис. 1.3, где приняты следующие обозначения в соответствии с общепринятой международной аббревиатурой:

- CAE (Computer Aided Engineering) – автоматизированные расчеты и анализ;
- CAD (Computer Aided Design) – автоматизированное проектирование;
- CAM (Computer Aided Manufacturing) – автоматизированная технологическая подготовка производства;
- PDM (Product Data Management) – управление проектными данными;
- ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование и управление предприятием;
- MRP II (Manufacturing Requirement Planning) – планирование производства;
- MES (Manufacturing Execution System) – производственная исполнительная система;
- SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – диспетчерское управление производственными процессами;
- CNC (Computer Numerical Control) – компьютерное числовое управление.

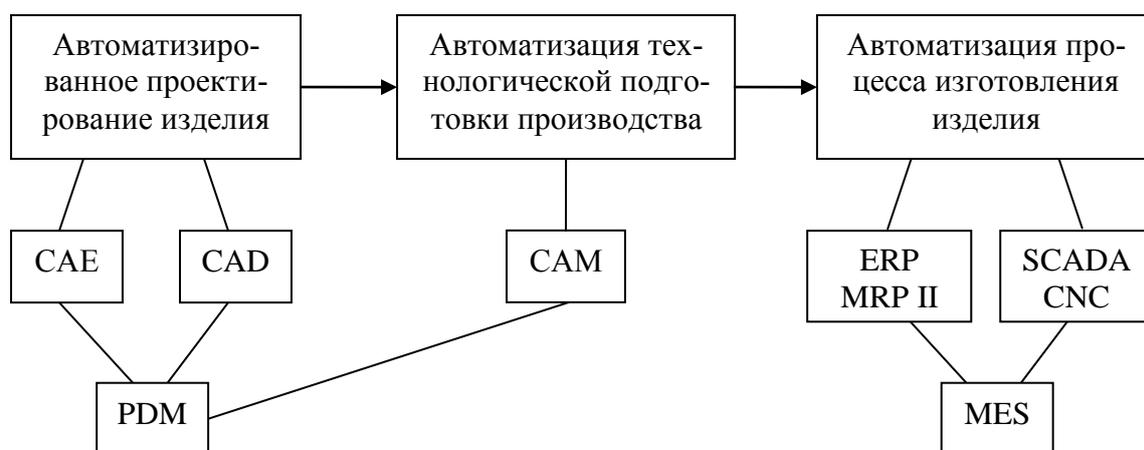


Рис. 1.3. Системы автоматизации производственного процесса

Как видно из рис. 1.3, автоматизированные системы поддерживают определенные этапы и процедуры производственного цикла изделий. Современные САПР (или системы CAE/CAD), обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют многомодульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций. При этом, естественно, возникают проблемы, связанные с построением общих баз данных, с выбором протоколов, форматов данных и интерфейсов разнородных подсистем, с организацией совместного использования модулей при групповой работе. Решение этих проблем затрудняется на предприятиях, производящих сложные изделия, в частности, с механическими и радиоэлектронными подсистемами, поскольку САПР в машиностроении и радиоэлектронике до недавнего времени развивались самостоятельно и в отрыве друг от друга.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного производственного назначения были разработаны специальные средства управления проектными данными – системы PDM. Эти системы либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут функционировать совместно с разными САПР.

Автоматизированные системы ТПП, составляющие основу системы САМ, выполняют синтез технологических процессов и программ для оборудования с ЧПУ, выбор технологического оборудования, инструмента, оснастки, расчет норм времени и т. п.

Модули системы САМ обычно входят в состав развитых САПР, поэтому интегрированные САПР часто называют автоматизированными системами CAE/CAD/CAM/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях обычно выполняются с помощью автоматизированных систем на нескольких иерархических уровнях. Автоматизацию управления на верхних уровнях (от корпорации до цеха) осуществляют АСУП, классифицируемые как системы ERP или MRP II. Наиболее развитые системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками,

сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP II ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством.

Системы АСУТП контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации. Для выполнения диспетчерских функций (сбор и обработка данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров – специализированных компьютеров, встроенных в технологическое оборудование.

Для выявления задач, переводимых на автоматическое решение, необходимо разработать графическую информационную модель (ГИМ) производственного цикла создания изделия. Модель удобна для использования, так как представляется совокупностью блок-схем, которые широко используются в инженерной практике [21]. Разработка модели осуществляется таким образом, что блок-схемы распределяются по уровням подчиненности: функции, задачи, процедуры. К ним добавляются матрицы увязки информации в документах, которые уточняют содержание информации по задачам вплоть до каждого реквизита всех документов. Практическое значение ГИМ определяется тем, что она является исходным документом для планирования развития системы; служит основанием для выявления задач, переводимых на автоматическое решение; дает исходную информацию для разработки алгоритмов решения задач; представляет проект системы на новом уровне интеграции и автоматизации.

На рис. 1.4 представлена ГИМ системы производственного цикла исходного уровня функционирования СУ производственным циклом. Модель дает возможность проанализировать характер влияния отдельных функций на работу системы в целом.

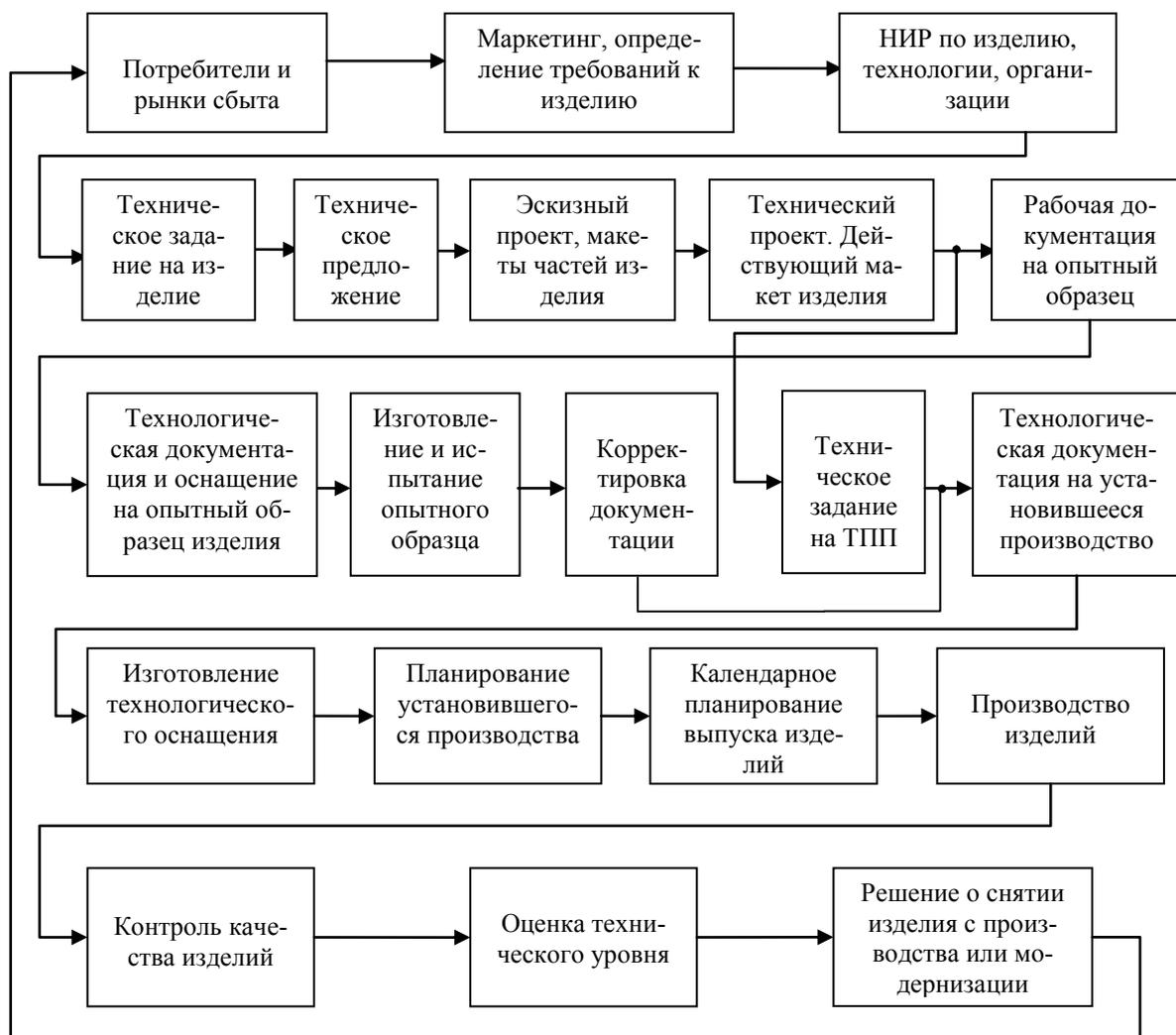


Рис. 1.4. Блок-схема функций производственного цикла создания изделий

Модель начинается с маркетинга, технического задания на проектирование и заканчивается принятием решения о судьбе изделия. Структура модели включает не только перечень функций, но и отношения между ними, обозначаемые стрелками прямых и обратных связей.

Традиционная структура производственного цикла привела к ситуации, когда сроки научно-технической подготовки производства сложных изделий приблизились к срокам сменяемости самих изделий. Автоматизация позволяет разрешить это противоречие путем охвата всех этапов ЖЦИ: от автоматизации научных исследований до автоматизации производственного цикла, создания математической модели изделия и технологического

процесса, позволяющих повысить качество готовых изделий и сократить сроки тестирования изделий либо отказаться от него.

С учетом возможности современных систем автоматизации отдельных этапов производственного цикла была разработана графическая модель производственного цикла, в которой основные функции системы автоматизированы (рис. 1.5). В ней отражается высокий уровень автоматизации проектирования и производства, достигнутый за счет использования САПР и АСУ ТП; введены функции, выявленные при анализе модели управления; отражены принципы создания сложных систем.

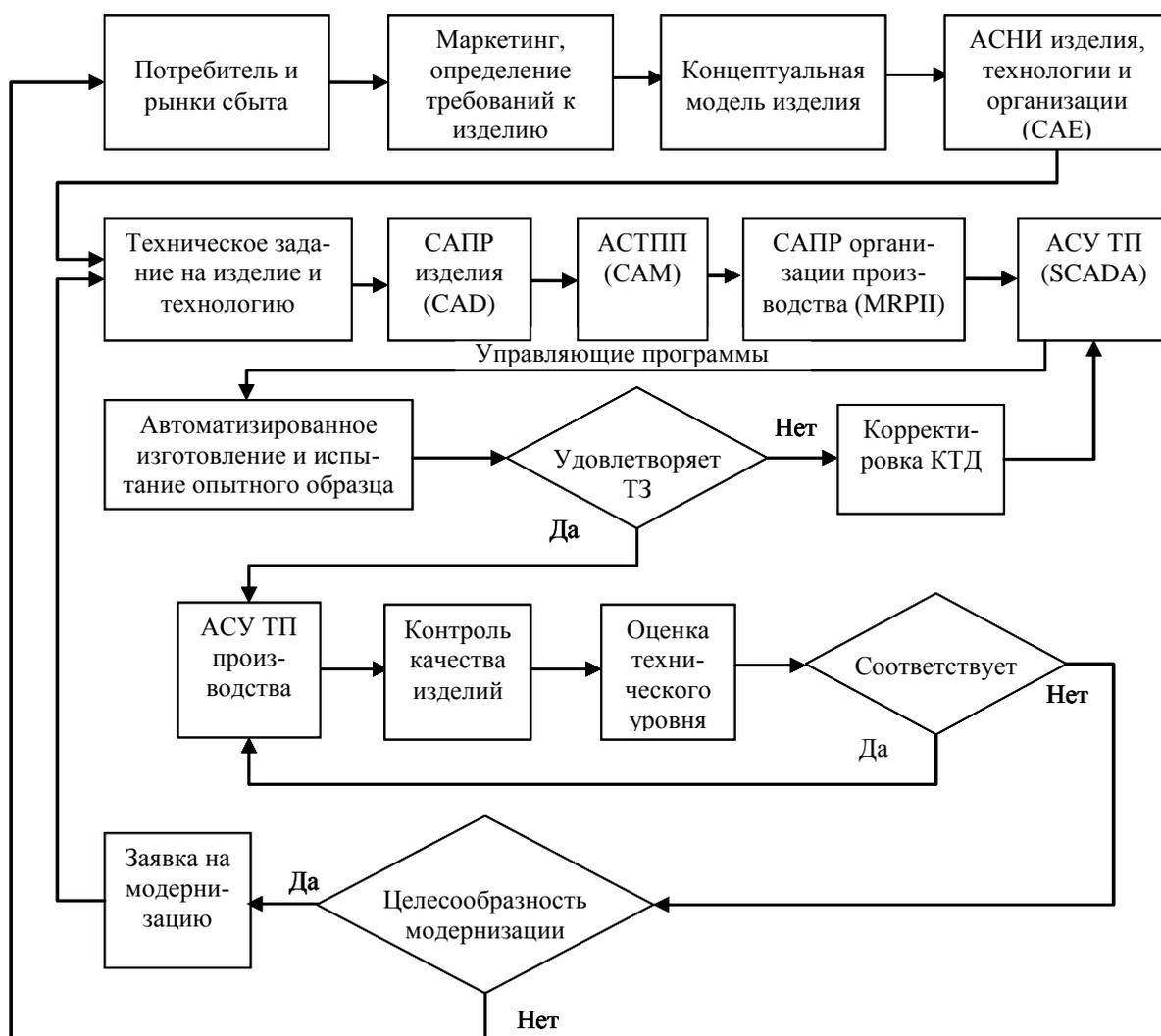


Рис. 1.5. Блок-схема функций производственного цикла изделий с автоматизированной поддержкой основных функций

Изменения структуры функций вызваны новыми возможностями, обусловленными их автоматизацией по всем стадиям производственного цикла. Сравнение исходной модели (рис. 1.4) с разработанной (рис. 1.5) дает возможность определить направления работ по созданию интегрированных производственных систем (ИПС).

Интеграция САПР с АСУ ТП приводит к объединению конструирования, проектирования технологии и процесса изготовления изделия.

1.3. Создание единого информационного пространства жизненного цикла изделия

Анализ развития информационных технологий в производственной сфере показывает, что одним из направлений такого развития является всесторонний охват этими технологиями разных этапов и стадий ЖЦ продукции. Гибкие производственные системы (ГПС) решали задачи, касающиеся исключительно производства изделий. В КИП круг задач значительно расширился и включил в себя разработку, проектирование и изготовление изделий, подготовку, планирование и управление производством, решение задач материально-технического обеспечения всей деятельности предприятия и другие задачи предприятия. Тем не менее, оставались не решенными вопросы взаимодействия с заказчиком и партнерами-поставщиками, послепродажного сопровождения изделия и др.

К середине 1990-х гг. появилось осознание необходимости создания интегрированной информационной системы, поддерживающей весь ЖЦ изделия. Жизненный цикл изделия – это совокупность процессов (этапов), выполняемых от момента выявления потребностей общества в данном изделии до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации этого изделия (рис. 1.6).

Многообразие процессов в ходе ЖЦ изделия и необходимость их интенсификации требуют активного информационного взаимодействия предприятий, участвующих в поддержке такого ЖЦ. С ростом числа этапов и стадий ЖЦ растет объем используемой и передаваемой информации.

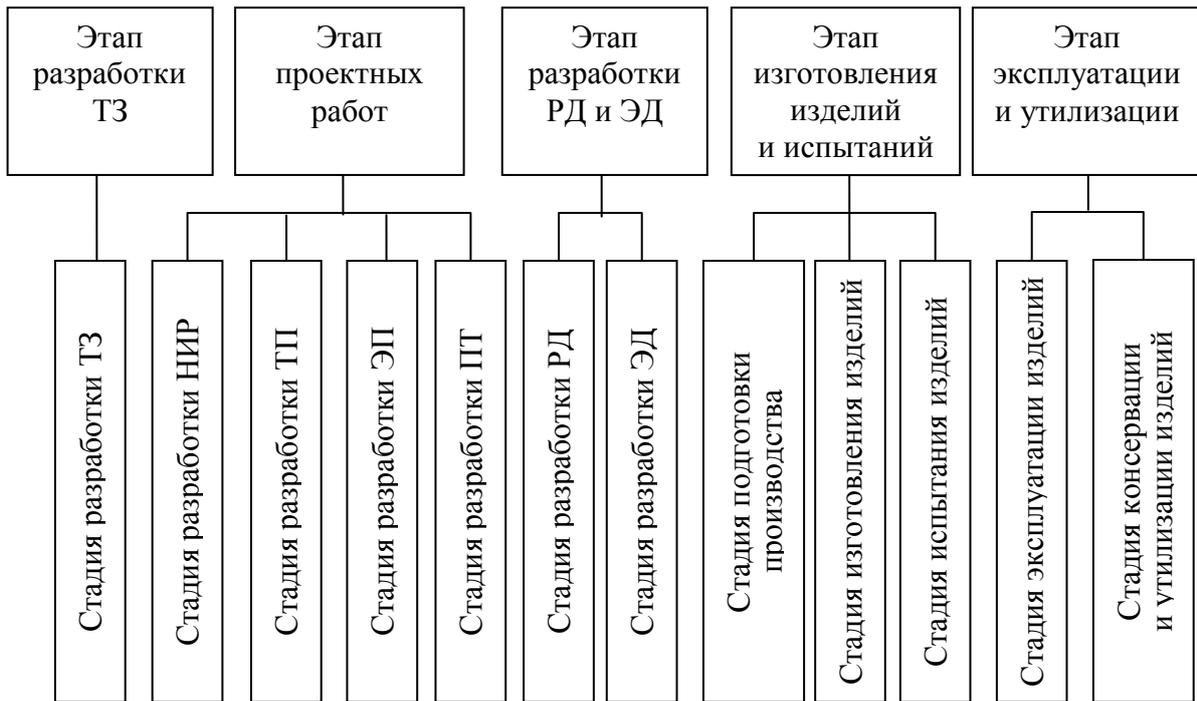


Рис. 1.6. Жизненный цикл изделия:

ТЗ – техническое задание; РД – рабочая документация;
 ЭД – электронная документация; ТП – техническое предложение;
 ЭП – эскизный проект; ПТ – проект технический

Традиционный подход, сложившийся в первоначальный период внедрения компьютерной техники в производственные процессы, состоял в том, что с ее помощью решались отдельные, частные задачи, относившиеся к различным стадиям ЖЦ изделий. Как уже было отмечено, исторически первыми были задачи, позволяющие автоматизировать отдельные учетно-управленческие функции в рамках автоматизированной системы управления производством. Почти одновременно с ними появились автоматизированные системы управления технологическими процессами. Затем стали разрабатываться и внедряться системы автоматизированного проектирования (САПР), которые позволяли использовать средства компьютерной техники в процессах конструкторской и технологической подготовки производства (в зарубежной технической литературе используют аббревиатуры CAE, CAD и CAM).

Основные этапы ЖЦ промышленных изделий и типы автоматизированных систем, используемых в их ЖЦ, представлены

на рис. 1.7, где приняты следующие обозначения в дополнение к ранее рассмотренным на рис. 1.3:

- SCM (Supply Chain Management) – управление цепочками поставок;
- CRM (Customer Relationship Management) – управление взаимоотношениями с заказчиками;
- S&SM (Sales and Service Management) – управление продажами и обслуживанием;
- CPC (Collaborative Product Commerce) – совместный электронный бизнес.

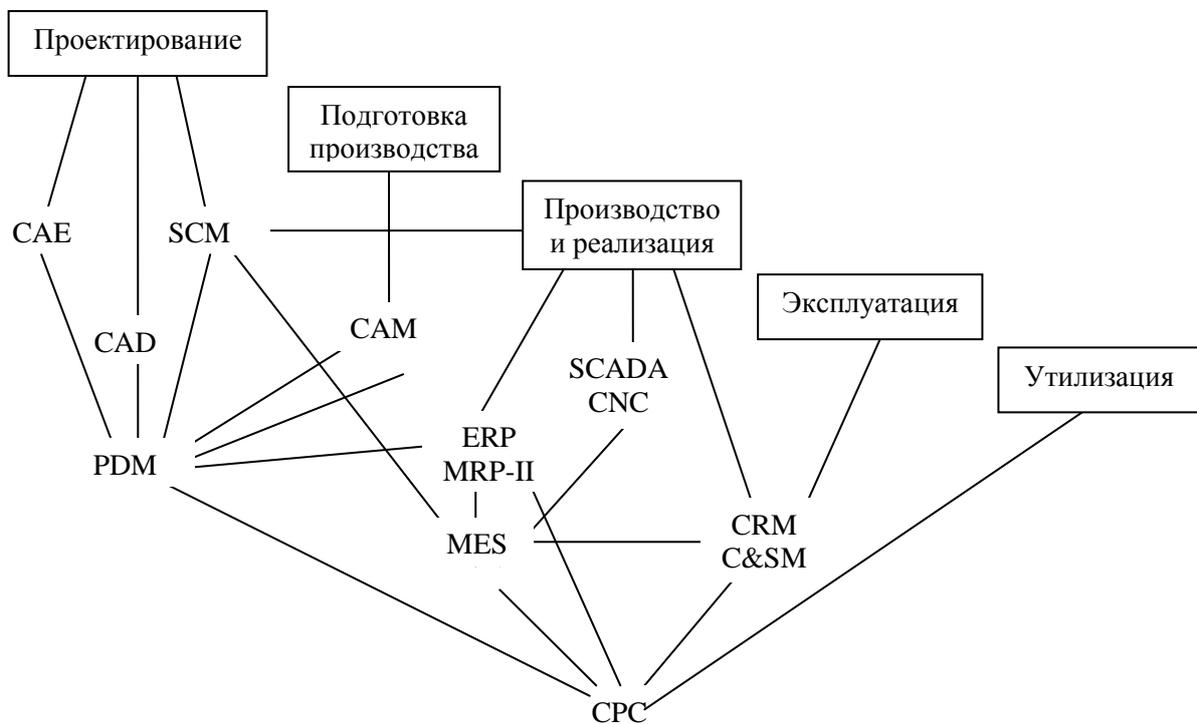


Рис. 1.7. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

Как видно из рис. 1.7, автоматизированные системы поддерживают определенные этапы и процедуры в ЖЦ изделий.

Уже на этапе проектирования требуются услуги системы SCM, иногда называемой системой управления поставками комплектующих, которая на этапе производства обеспечивает поставки необходимых материалов и комплектующих.

На этапе реализации продукции возникают задачи управления отношениями с заказчиками и покупателями. Для решения

этих задач проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые к выпуску изделия, которые осуществляются с помощью системы CRM. Маркетинговые функции иногда возлагаются на систему S&SM, которая кроме того предназначена для решения проблем обслуживания.

На решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом ориентированы системы MES, которые близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM и S&SM, но отличаются от них оперативностью и возможностью принятия решений в реальном времени, причем важное значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов. На этапе эксплуатации применяются специализированные компьютерные системы, связанные с решением вопросов ремонта, контроля и диагностики эксплуатируемых систем. Обслуживающий персонал использует интерактивные учебные пособия и технические руководства, а также средства для дистанционного консультирования при поиске неисправностей, программы для автоматизированного заказа новых деталей взамен отказавших.

Следует отметить, что функции некоторых автоматизированных систем часто перекрываются. Например, управление маркетингом может выполняться как системой ERP, так и системами CRM или S&SM.

Все перечисленные выше автоматизированные системы могут работать автономно. В настоящее время обычно так и происходит.

Комплексная автоматизация производства и инженерного труда на основе широкого промышленного освоения систем автоматизированного проектирования (САПР), базирующегося, в свою очередь, на комплексной стандартизации информационных, программных и технических средств автоматизации, – генеральное направление развития системы технической подготовки производства. Подобная САПР соединяет все стадии жизненного цикла изделия в единый комплекс работ по формированию, обеспечению и поддержанию высокого технического уровня и качества продукции и эффективному использованию ресурсов (рис. 1.8).

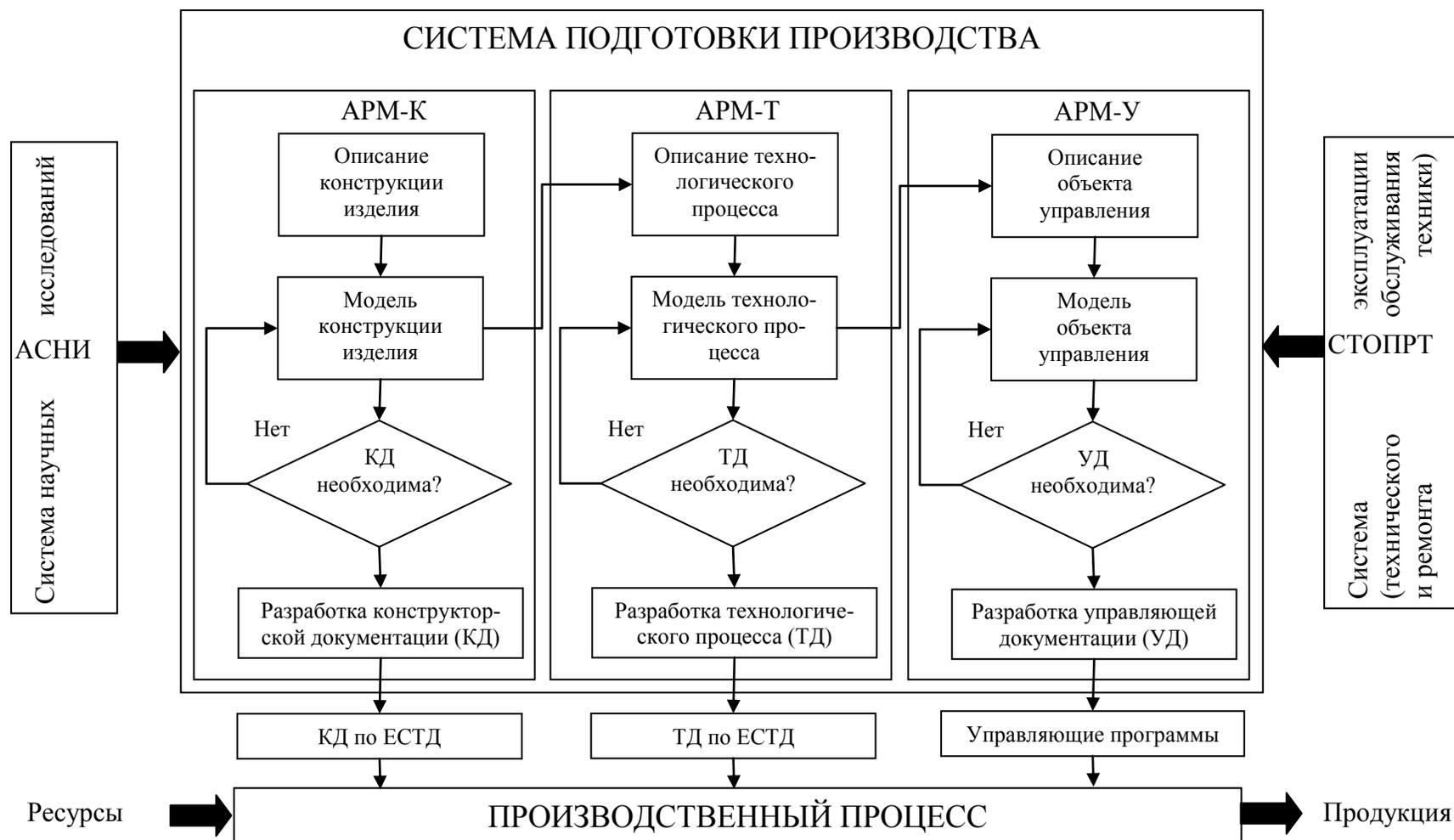


Рис. 1.8. Организационная схема САПР:
 АРМ-К, АРМ-Т, АРМ-У – автоматизированное рабочее место соответственно
 конструкции изделия, технологического процесса и системы управления

Предлагаемая САПР решает многие проблемы комплексной автоматизации производственного процесса, однако существующие недостатки не позволяют обеспечить в процессе производства оптимальные параметры качества изделий. Дело в том, что существует информационный разрыв между стадиями жизненного цикла изделия.

Поскольку на каждом этапе осуществляется поиск оптимальных решений, то возникает необходимость обратных потоков информации, то есть должен идти итерационный процесс, предусматривающий возврат на предшествующие уровни и корректировку ранее принятых решений. Создание таких систем находится на постановочной стадии. Для их разработки необходимо применение системных принципов проектирования машин и технологий на базе конструкторско-технологической информации.

Задачи, стоящие на каждом этапе проектирования, описываются с помощью соответствующих математических методов и решаются в дальнейшем посредством программно-технологических комплексов.

В условиях комплексной автоматизации требуется новый подход к созданию и эксплуатации системы подготовки машиностроительного производства. Резкое повышение производительности процессов изготовления изделий, обусловленное внедрением гибких производственных систем, предъявляет повышенные требования к системе подготовки производства как по скорости принятия решений, так и по их качеству. Автоматизация отдельных подсистем при сохранении традиционных каналов обмена информации между ними и традиционного разделения функций не позволяет синхронизировать работу гибкого производства и системы его подготовки, что приводит к большим экономическим потерям из-за быстрого старения принятых решений. Выходом из этого положения является создание интегрированной системы подготовки производства, которая могла бы вырабатывать для всех производственных заказов оптимальные решения, учитывающие в комплексе такие факторы, как конструкция изделия, технологические процессы их изготовления, потребность в ресурсах, необходимых для выполнения технологических процессов. Такая система должна иметь общую базу данных, что ис-

ключает необходимость многократного ввода информации об изделии, технологических процессах и т. д.

Учитывая, что математическое обеспечение современных ГПС позволяет быстро принимать решения по операционной технологии, за системой подготовки производства следует закрепить только выработку стратегических решений, связанных с маршрутом изготовлений, оснащением технологических операций и выбором заготовок [21].

Эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными. Однако для достижения должного уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем требуется создание единого информационного пространства (ЕИП) не только на отдельных предприятиях, но и в рамках объединения предприятий. Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их ЖЦ.

Такой подход характеризуется следующими принципиальными особенностями:

- в отличие от компьютерной автоматизации и интеграции отдельных процессов (например, в производстве) решаются задачи информационной интеграции всех процессов ЖЦ изделия;
- решаемые задачи выходят за границы отдельного предприятия, участники информационного взаимодействия могут быть территориально удалены друг от друга, располагаться в разных городах и даже странах;
- совместно используемая информация отличается большим разнообразием (это могут быть маркетинговые, конструкторско-технологические и производственные данные, коммерческая и юридическая информация и т. д.). При этом должны быть стандартизованы способы и технологии представления и корректной интерпретации данных;
- основной средой передачи информационных данных становится глобальная сеть Интернет.

Потребность в существовании интегрированной системы поддержки ЖЦ изделия и систематизации информационного вза-

имодействия компонентов такой системы в рамках ЕИП обусловила необходимость создания интегрированной информационной среды (ИИС). В основе ИИС лежит использование открытых архитектур, международных стандартов, совместное использование данных и апробированных программно-технических средств.

Конечная цель производства заключается не только в автоматизации процессов ЖЦ изделий, но и в реальном снижении общих затрат времени и средств на всю цепочку: разработка средств разработки – разработка изделия – изготовление изделия. Достижение этой цели возможно по трем основным направлениям: ускорение и удешевление проектирования изделия; ускорение и удешевление изготовления изделия; ускорение и удешевление продвижения изделия на рынок и его эксплуатации. При этом каждое из указанных направлений является важным само по себе, и все эти направления связаны между собой.

Взаимосвязь этих трех направлений предполагает их информационную интеграцию, которая представляет собой одно из важнейших средств ускорения и удешевления производства изделия на каждом из этапов его ЖЦ, а также при переходе от одного этапа ЖЦ к другому.

В настоящее время инвестиции в информационные технологии предприятий дают больший экономический эффект, чем инвестиции непосредственно в производство. Эффективная автоматизация и интеграция всех этапов производственной деятельности предприятия возможна только на основе единых сред – методической, организационной и информационной при главенствующей роли последней.

Впервые работы по созданию интегрированных информационных систем, поддерживающих ЖЦ продукции, были начаты в середине 1980-х гг. в военно-промышленном комплексе США в связи с планами по созданию СОИ (стратегической оборонной инициативы), а также для повышения эффективности управления и сокращения затрат в процессах заказа, поставок и эксплуатации средств вооружения и военной техники. Для реализации этих планов потребовались совместные усилия многих промышленных компаний и предприятий в проектировании, производстве и логистической поддержке сложных изделий, а это означало необходимость унификации представления данных об изделиях.

Было осознано, что для взаимодействия автоматизированных систем разных предприятий нужна унификация не только формы, но и содержания (семантики) проектной, технологической, эксплуатационной и другой информации о совместно производимой продукции. Таким образом, возникла необходимость создания единой информационной среды взаимодействия всех крупнейших фирм американского военно-промышленного комплекса.

Оказалось, что это является чрезвычайно сложной проблемой, решение которой потребовало длительной и многосторонней проработки в масштабах, выходящих за пределы одной страны. Выяснилось также, что создание единой информационной среды требуется не только для уникальных программ типа СОИ, но и для производства любой сложной продукции, в первую очередь военной техники, если ее производство основано на взаимодействии многих предприятий. Таким образом, появление концепции CALS было ответом на возникновение потребности в совершенствовании средств оперативного обмена данными между заказчиком, производителем и потребителем систем вооружения, а также в повышении управляемости, сокращении бумажного документооборота и связанных с ним затрат.

Предполагалось, что реализация концепции CALS позволит сократить затраты на организацию информационного взаимодействия государственных учреждений с частными фирмами в процессах формализации требований, заказов, поставок и эксплуатации военной техники.

В основу концепции CALS была положена идея создания единого информационного пространства для всех, кто имел, имеет или будет иметь отношение к изделию в течение всего его ЖЦ. Каждый из участников ЖЦ изделия получал свободный доступ к разделам необходимых ему данных из единого пространства, обеспечивающих его деятельность. Единство информационного пространства не подразумевало физического расположения всей электронной информации в одном месте. Наоборот, предполагалось так называемое «распределенное» информационное пространство, когда данные хранятся, как правило, там, где они создаются. Таким образом, при использовании CALS-технологии информация, поступающая на разных стадиях ЖЦ изделия от различных участников работ, расположенных по всему миру,

становится доступной любому участнику в необходимом для него объеме в удобное время и в удобном виде. Это и составляет единое информационное пространство изделия.

В дальнейшем, благодаря успешному использованию концепции CALS в производстве военной техники, она стала активно применяться в промышленности, строительстве, транспорте и других отраслях экономики, расширяясь и охватывая все этапы ЖЦ изделий – от маркетинга до утилизации. Доказав свою эффективность, эта концепция впоследствии стала совершенствоваться, дополняться и, сохранив существующую аббревиатуру (CALS), получила более широкую трактовку: непрерывное сопровождение и информационная поддержка ЖЦ изделий (Continuous Acquisition and Life cycle Support).

Выражение Continuous Acquisition (непрерывное сопровождение) означает непрерывность информационного взаимодействия с заказчиком в ходе формализации его требований, формирования заказа, процесса поставки и т. д. (т. е. подразумевает оптимизацию процессов взаимодействия заказчика и поставщика в ходе разработки, проектирования и производства сложной продукции, срок жизни которой с учетом различных модернизаций составляет десятки лет). Для обеспечения эффективности, а также сокращения затрат средств и времени процесс взаимодействия заказчика и поставщика действительно должен быть непрерывным в течение длительного срока.

Выражение Life Cycle Support (поддержка ЖЦ изделия) означает системность подхода к информационной поддержке всех процессов ЖЦ изделия, в том числе процессов эксплуатации, обслуживания, ремонта, снабжения запасными частями, модернизации, утилизации, и заключается в оптимизации этих процессов. Поскольку затраты на поддержку сложного наукоемкого изделия в работоспособном состоянии часто равны или даже заметно превышают затраты на его приобретение, принципиальное сокращение стоимости эксплуатации изделия обеспечивается инвестициями в создание системы поддержки его ЖЦ.

CALS-технологии обеспечивают комплексную компьютеризацию всех сфер промышленного производства, унификацию и стандартизацию спецификаций изделий на всех этапах их ЖЦ. Основные спецификации представлены проектной, технологиче-

ской, производственной, маркетинговой, эксплуатационной документацией.

В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, а также обеспечение оперативного доступа к данным в нужное время и в нужном месте. Повышение эффективности создания и использования сложной техники на основе CALS-технологий достигается решением следующих задач.

Во-первых, улучшается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений. Так, обоснованность решений, принимаемых в АСУП, будет выше, если лица, принимающие такие решения, имеют оперативный доступ не только к базе данных АСУП, но и к базам данных других автоматизированных систем (САПР, АСТПП, АСУТП) и, следовательно, могут оптимизировать планы работ, содержание заявок, распределение исполнителей, выделение финансов и т. п. Под оперативным доступом следует понимать не просто возможность считывания информации из баз данных, но и легкость их правильной интерпретации, т. е. согласованность по синтаксису и семантике с протоколами, принятыми в АСУП. То же самое относится и к другим системам. Например, технологические подсистемы должны воспринимать и правильно интерпретировать данные, поступающие от подсистем автоматизированного конструирования. Такого положения добиться достаточно сложно, если основное предприятие и организации-смежники работают с разными автоматизированными системами.

Во-вторых, сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление изделий. Применение CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, проектировавшихся ранее машин и систем хранятся в базах данных сетевых серверов. Они являются доступными любому пользователю CALS-технологиями. Такая доступность обеспечивается согласованностью форматов, способов и руководств в разных частях общей интегрированной системы.

В-третьих, значительно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки. Существенно облегчается решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т. п. Показатели эффективности внедрения CALS-технологий в целом составляют:

- прямое уменьшение затрат на проектирование от 10 до 30 %;
- сокращение времени разработки изделий в 1,5–2 раза;
- сокращение времени вывода новых изделий на рынок от 25 до 75 %;
- уменьшение доли брака и объема конструктивных изменений от 23 до 73 %;
- сокращение затрат на подготовку технической документации до 40 %;
- сокращение затрат на разработку эксплуатационной документации до 30 %.

В связи с большими объемами ожидаемой экономии и дополнительных прибылей в сферу развития CALS-технологий привлекаются значительные инвестиции, измеряемые миллиардами долларов. Принимая во внимание отмеченные конкурентные преимущества CALS-технологий, для их организационной и финансовой поддержки создали и разработали различного рода структуры и проекты. В настоящее время в мире действуют более 25 национальных организаций, координирующих вопросы развития CALS-технологий.

В связи с возникшими практическими потребностями в рамках международных организаций были начаты работы по созданию единых информационных технологий взаимодействия предприятий и международных стандартов. В России в рамках Госстандарта создан технический комитет № 431 «CALS-технологии».

В 1990-х гг. разработан и к настоящему времени принят ряд серий международных стандартов, представляющих CALS-технологии, среди которых наиболее значимы стандарты серии ISO 10303 STEP (Standard for Exchange of Product Data). В контрактах, заключаемых на поставку зарубежным заказчикам воен-

ной техники, требования к изделиям и документации на них формулируются, как правило, с позиций международных CALS-стандартов.

Таким образом, CALS-идея, связанная вначале только с поддержкой логистических систем, превратилась в глобальную бизнес-стратегию перехода на безбумажную электронную технологию и повышения эффективности бизнес-процессов за счет информационной интеграции и совместного использования информации на всех этапах ЖЦ продукции.

Решение задачи создания единой информационной среды – это реализация концепции CALS, которая не является конкретным программным продуктом или программным комплексом, а является именно концепцией. Суть концепции CALS – это создание такой модели производимого изделия, которая сопровождала бы изделие на всем протяжении производственного цикла изделия, а также на последующих постпроизводственных этапах ЖЦ изделия. Если принять, что модель изделия – это некий объект, способный заменить само изделие для выполнения задачи, не связанной с основным назначением изделия, то возможны различные виды моделей: простая модель, решающая одну задачу, комплексная модель, предназначенная для решения нескольких задач, и интегрированная модель, решающая все задачи. Поэтому появилась реальная возможность создания интегрированной информационной среды, обеспечивающей обмен данными между заказчиком, производителями и потребителями продукции, а также повышение управляемости, сокращение и в последующем полное исключение бумажного документооборота и связанных с ним затрат (рис. 1.9).

При традиционной методологии создания изделия этапы жизненного цикла выполняются в естественной последовательности, на каждом из них решаются автономные слабозаимосвязанные задачи. Узким местом оказывается заключительный этап, связанный с изготовлением и тестированием опытных образцов и макетов. Изготовление физического макета начинается только после завершения этапов проектирования и подготовки производства. В результате тестирования опытного образца могут обнаружиться ошибки и недочеты, которые были допущены на ранних этапах разработки. Исправляя такие ошибки, приходится

возвращаться назад, а это связано с дополнительными временными и материальными затратами [19, 21].

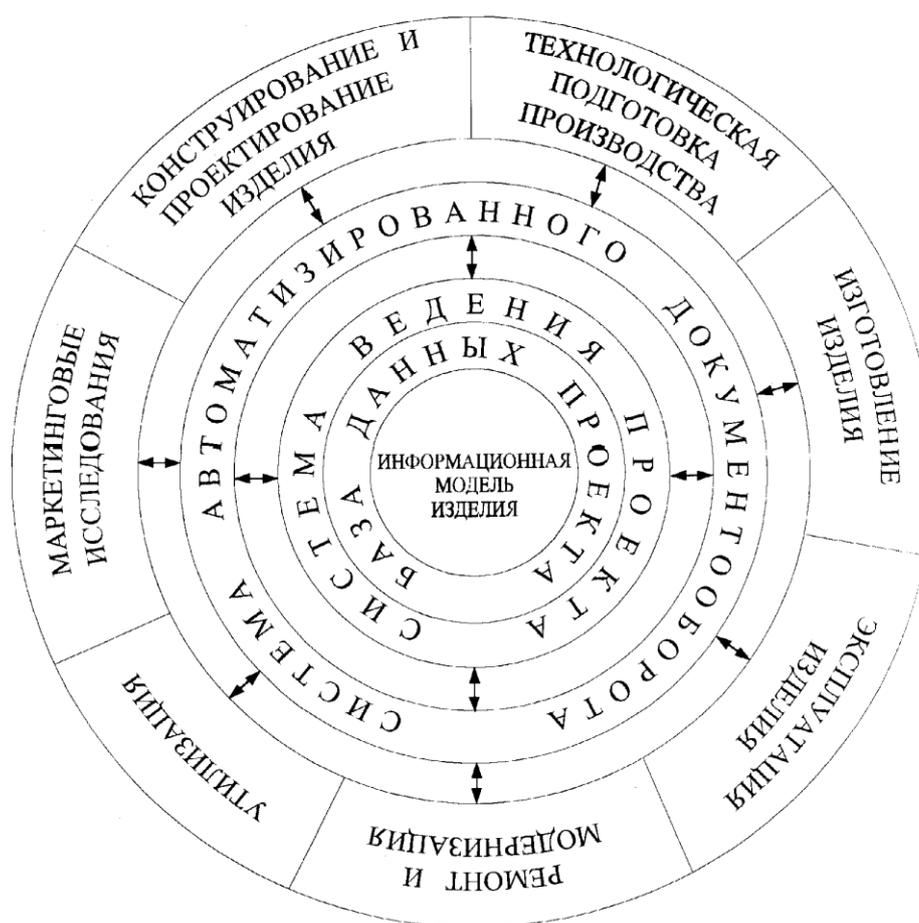


Рис. 1.9. Основные компоненты формирования единого информационного пространства на этапах жизненного цикла изделия

Одним из эффективных средств решения данной проблемы является применение систем имитационного моделирования и, в частности, систем виртуального моделирования [20, 21].

Виртуальный прототип – это интегрированное цифровое представление изделия и его свойств, которые отражают пространственное взаимодействие компонентов и позволяют оценить работоспособность конструкции в целом. Виртуальный макет формируется по данным главной модели – информационной базе данных, содержащей полное описание проектируемого изделия. Программное обеспечение виртуального макетирования, осно-

ванное на современных технологиях виртуальной реальности, позволяет заменить физический прототип изделия его виртуальным аналогом и в процессе компьютерного анализа решать те задачи, для выполнения которых раньше требовались натурные испытания. Виртуальный прототип создается сразу после выработки основных требований к изделию и формирования его концептуальной модели. Далее при детализации информационной базы модифицируется и виртуальный прототип. Таким образом, процесс проектирования нового изделия сопровождается имитационным моделированием (виртуальным макетированием), что позволяет проводить тестирование параллельно с разработкой и тем самым своевременно обнаруживать и исправлять возможные ошибки (рис. 1.10). Еще на этапе концептуального проектирования использование виртуального макета позволяет провести анализ альтернативных подходов и выбрать наиболее верное решение.

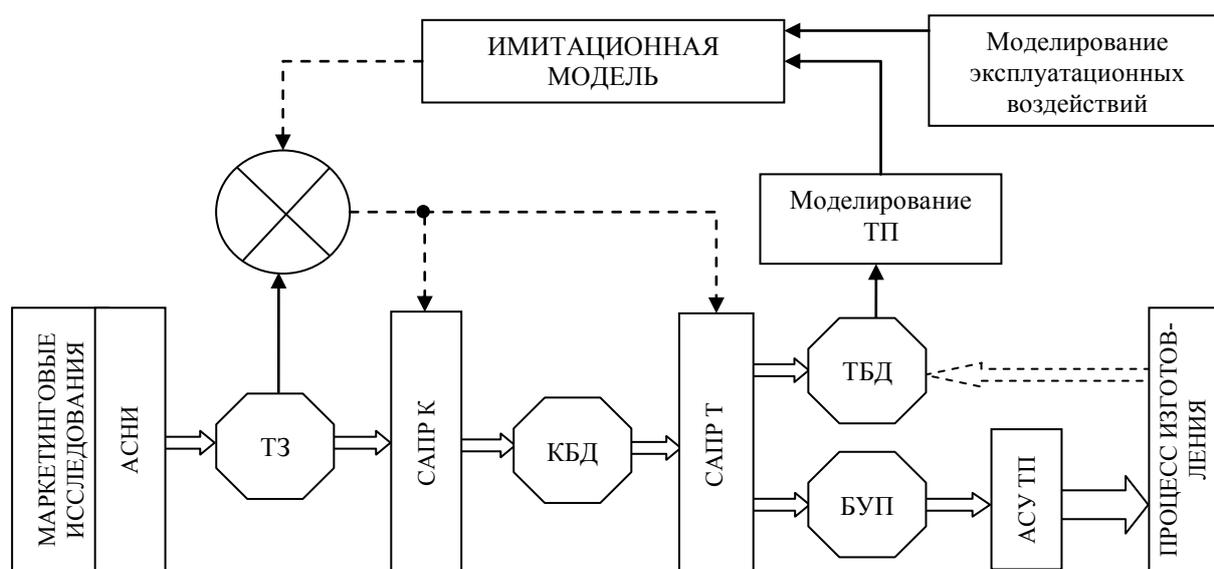


Рис. 1.10. Структурная схема интегрированной информационной системы обеспечения качества изделий:

ТЗ – техническое задание; КБД – конструкторский банк данных; ТБД – технологический банк данных; БУП – банк управляющих программ

При конструировании виртуальное макетирование помогает оценить внешнюю форму частей, их стыковку и согласовать друг с другом в рамках единого изделия. Применение виртуальных

макетов повышает наглядность и упрощает процесс управления проектированием изделий в распределенной среде корпоративной сети. В рамках подготовки производства средства виртуального моделирования позволяют в реальном времени проконтролировать все технологические этапы изготовления изделия.

Новые возможности обеспечивают параллельную работу специалистов различных профилей с имитационной моделью (электронным прототипом) и позволяют экономить время и материальные ресурсы [21].

По своему функциональному назначению средства виртуального макетирования можно разбить на четыре группы:

1. Средства визуализации, обеспечивающие возможность визуального анализа прототипа с учетом различных видов освещения и нанесения текстуры.

2. Средства функционального макетирования, предназначенные для оценки рабочих характеристик проектируемого изделия.

3. Средства моделирования технологических процессов сборки многокомпонентных изделий и проверки взаимодействия их составных частей.

4. Средства моделирования работы оператора, которые позволяют оценить, насколько удобно новое изделие при эксплуатации и обслуживании.

Основными задачами концепции CALS/ИПИ являются:

- структурирование и моделирование данных об изделиях и процессах;
- обеспечение эффективного управления и обмена данными между всеми участниками ЖЦ изделий;
- создание и сопровождение документации, необходимой для поддержки всех этапов ЖЦ изделий.

Стандарты CALS определяют набор правил и регламентов, в соответствии с которыми организуется информационное взаимодействие субъектов на этапах проектирования, производства, испытаний, эксплуатации, сервиса и т. д.

Новизна концепции CALS/ИПИ заключается в следующем:

- широта охвата и системность подхода (речь идет не только о производстве или проектировании, но и о поддержке всех процессов в ЖЦ – от замысла до утилизации продукта);

- существенное расширение использования компьютерных технологий, когда первоочередными становятся проблемы информационной интеграции автоматизированных систем;

- интеграция достигается путем стандартизации представления информации в процессах проектирования, материально-технического снабжения, производства, ремонта, послепродажного сервиса и т. д. Это обеспечивает оперативную передачу функций одного подрядчика другому, который, в свою очередь, может воспользоваться результатами уже проделанной работы. Такая возможность особенно важна для изделий, имеющих длительный ЖЦ, когда необходима преемственность информационной поддержки продукции независимо от складывающейся рыночной или политической ситуации;

- усиление тенденции к географической распределенности в использовании информационных данных. В случае изменения состава участников (смены поставщиков или исполнителей) обеспечиваются преемственность и сохранность уже полученных результатов: моделей, расчетов, документации, баз данных и др.

Применение CALS/ИПИ как формы организации и информационной поддержки бизнес-деятельности повышает эффективность производственных процессов за счет следующих факторов:

- ускорения разработки продукции и подготовки производства;

- сокращения производственных и эксплуатационных издержек;

- придания изделию новых свойств и повышения уровня сервиса на этапах его эксплуатации и технического обслуживания;

- исключения дублирования информации и резкого сокращения количества ошибок в данных об изделии и производственных процессах;

- сокращения времени выхода изделия на рынок (сокращения временных издержек);

- сокращения стоимости ЖЦ (сокращения материальных издержек);

- повышения качества изделия.

Осуществление задач CALS/ИПИ обеспечивается путем моделирования материальных, информационных и финансовых по-

токов, характеризующих процессы производства продукции и эксплуатации, а также путем создания следующих систем:

- интегрированной информационной системы сопровождения продукции на всех этапах ее ЖЦ;
- системы информационного взаимодействия с субподрядчиками;
- интегрированной информационной системы управления качеством продукции на всех этапах ее ЖЦ;
- интегрированной информационной системы взаимодействия с потребителями продукции.

Главными проблемами, мешающими эффективному управлению информацией об изделии, являются огромное количество такой информации (возникает своеобразный информационный хаос), а также коммуникационные барьеры между участниками ЖЦ изделия. Пути их решения заложены в осуществлении стратегии CALS/ИПИ, которая основана на создании единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников ЖЦ изделия, включая потребителя (рис. 1.11).

Единое информационное пространство должно обладать следующими свойствами:

- содержать информацию в электронном виде;
- охватывать всю созданную информацию об изделии;
- являться единственным источником данных об изделии (прямой обмен данными между участниками ЖЦ исключен);
- строиться только на основе международных, государственных и отраслевых информационных стандартов;
- создаваться с использованием только имеющихся у участников ЖЦ программно-аппаратных средств;
- должно иметь возможность постоянного развития и расширения.

При использовании ЕИП возникает ряд важных положительных факторов:

- обеспечение целостности данных;
- возможность организации доступа к данным географически удаленных участников ЖЦ изделия;
- отсутствие потерь данных при переходе между этапами ЖЦ изделия;

- изменения данных доступны одновременно всем участникам ЖЦ изделия;
- повышение скорости поиска данных и доступа к ним по сравнению с бумажной документацией;
- возможность использования различных компьютерных систем для работы с данными;
- обеспечение совместной работы проектных организаций, производственных предприятий, поставщиков, организаций сервиса и конечного потребителя на всех стадиях ЖЦ.



Рис. 1.11. Основные идеи CALS/ИПИ

2. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

2.1. Автоматизация конструкторского проектирования

2.1.1. Краткая история развития САПР

Как уже отмечалось, термин автоматизация проектирования характеризует любую проектную деятельность, в рамках которой ЭВМ находит применение в процедурах разработки, анализа или

видоизменения технических проектных решений. Современные САПР основываются на широком использовании средств интерактивной машинной графики (ИМГ).

Типичная система ИМГ представляет собой совокупность аппаратных и программных средств. Аппаратные средства включают центральный процессор, одну или несколько рабочих станций (или ПК), набор внешних устройств (печатающие устройства, графопостроители, чертежное оборудование). В состав программного обеспечения систем ИМГ входят программы обработки графической информации, а также специальные пользовательские программы, предназначенные для реализации конкретных функций проектирования. ИМГ – важнейший, но не единственный компонент САПР. Другой важной частью является разработчик, использующий ИМГ в качестве инструментального средства, обеспечивая *эффект синергизма* (**синергизм** – явление, состоящее в том, что эффект согласованного действия частей системы оказывается больше, чем простая сумма эффектов каждой части).

Развитие САПР в значительной степени определяется достижениями в области машинной графики. Именно ИМГ образует фундамент САПР.

Одной из первых заметных разработок в области машинной графики явилось создание языка **APT** в Массачусетском технологическом университете во второй половине 50-х гг. **APT** разрабатывался как удобное средство для описания геометрии деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ.

Следующее важное достижение (конец 50-х гг.) – разработка и использование *светового пера*, которое родилось в рамках военного проекта – системы анализа данных радиолокационной разведки и отображения на мониторе возможных целей. Перо применялось ради экономии времени для ввода траектории перехвата.

В 1963 г. были представлены результаты проекта **Sketchpad**, где показывались возможности формирования изображения на мониторе и манипулирования им в реальном масштабе времени.

К концу 60-х гг. ряд крупных фирм (General Motors, IBM, Lockheed-Georgia и др.) активно начали создавать средства ИМГ, которые быстро превратились в коммерческий продукт. Сейчас

достаточно много фирм занимается автоматизированным проектированием и имеется не один десяток достаточно разработанных САПР.

2.1.2. Структура процесса проектирования

Технологию проектирования любого изделия можно представить как итерационную процедуру, имеющую шесть (рис. 2.1, правый столбец) четко различимых этапов (фаз) [20]:

- выявление потребностей;
- постановка задачи;
- синтез проектного решения;
- анализ и оптимизация;
- оценка;
- представление результатов.

Выявление потребностей предполагает установление факта существования проблемы (например, выявление некоего дефекта в существующей конструкции или определение возможности выпуска на рынок нового изделия). Постановка задачи включает в себя детальное описание изделия, подлежащего проектированию (информация о физических и функциональных характеристиках объекта проектирования, его стоимости, качестве, рабочих параметрах).

Этапы синтеза и анализа тесно связаны друг с другом, что предполагает большое число итераций (стрелки на рис. 2.1). Оценка связана с измерением проектных характеристик и сопоставлением их с требуемыми. Часто приходится изготавливать опытный образец-прототип. Заключительная фаза – документирование проекта, то есть изготовление сборочных чертежей, детализировок, спецификаций, технических инструкций и описаний.

Традиционно вся эта процедура выполнялась вручную, каждая итерация улучшала решение, но процесс анализа обычно сложный, а значит трудоемкий.

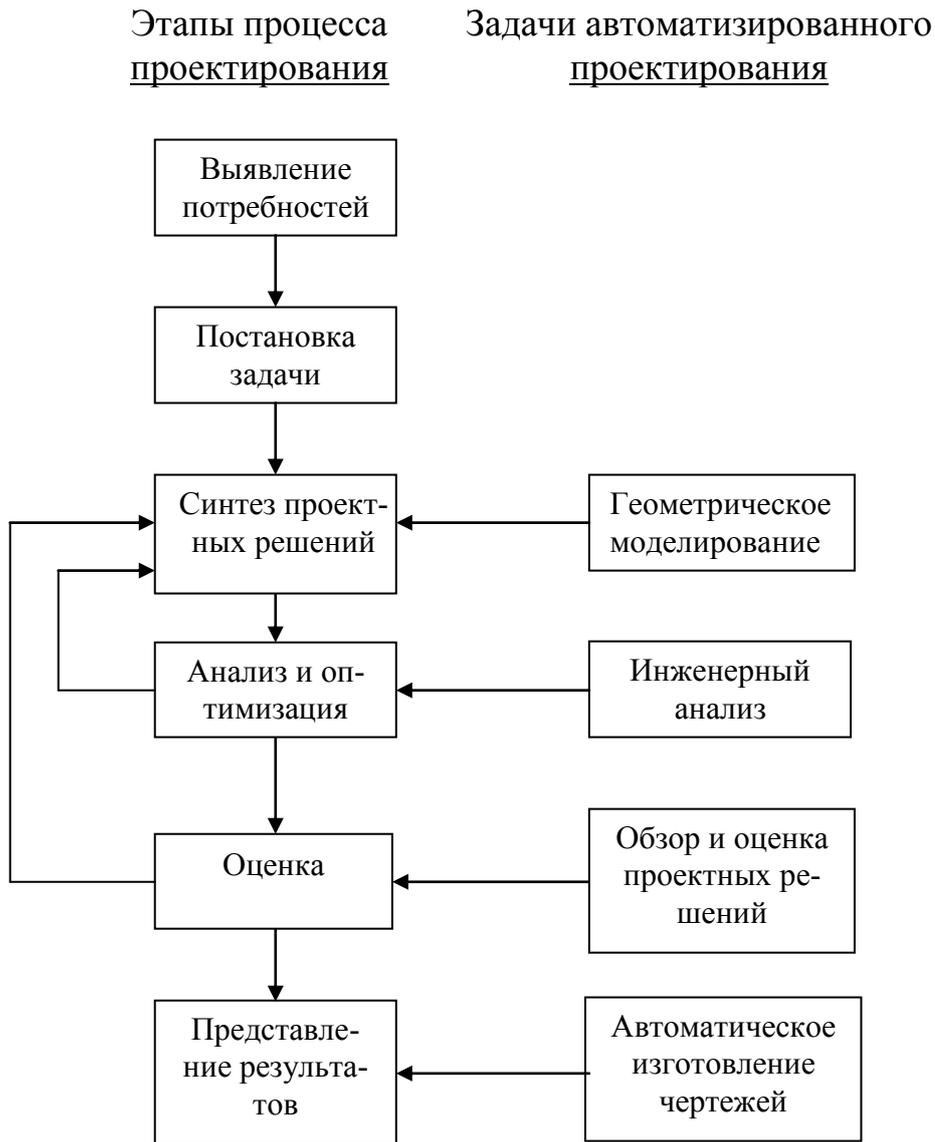


Рис. 2.1. Области использования ЭВМ в процессе проектирования в наглядной форме на экране

2.1.3. Применение ЭВМ для автоматизации процесса проектирования

Разнообразные задачи САПР можно объединить в четыре группы (рис. 2.1) [20]:

1. Геометрическое моделирование.
2. Инженерный анализ.
3. Обзор и оценка проектных решений.
4. Автоматическое изготовление чертежей.

Геометрическое проектирование. Связано с получением понятного ЭВМ математического описания геометрических свойств объекта. При наличии такой модели образ изделия может быть выведен на монитор и над ним можно проводить различные манипуляции. Для создания электронной модели изделия конструктор обычно использует команды трех типов. Первый тип – команды для построения базовых примитивов (точек, линий, дуг, окружностей). Второй тип – команды для преобразований базовых элементов (поворот, масштабирование и пр.). Третий тип – команды для привязки базовых элементов между собой и создание на их основе целостного изображения желаемой формы. В ходе геометрического моделирования ЭВМ преобразует подаваемые команды-сигналы в математическую форму, запоминает информацию и отображает в наглядной форме на экране.

Известно несколько методов представления объектов:

- каркасные модели – объект отображается в виде совокупности соединительных линий;
- поверхностные модели – объект представлен частью пространства, ограниченного сопряженными поверхностями различной формы;
- твердотельные модели – объект представлен как целостное тело, ограниченное (без разрывов) поверхностями (гранями).

Также различают **2D / 3D** модели, соответственно плоские и пространственные.

Инженерный анализ. Это могут быть расчеты механических напряжений, усилий, тепловых процессов или решение дифференциальных уравнений, описывающих поведение объекта в динамике. Автоматизация может обеспечиваться либо встроенными в САПР модулями, либо специализированными программами, использующими результаты геометрического моделирования.

Наиболее распространенные виды задач:

- анализ свойств масс, то есть расчет площади поверхности изделия, его массы, объема, центра тяжести, момента инерции (пример: при проектировании самолетного двигателя основным ограничением является вес. Все изменения в деталях сразу пересчитывают на вес);

- анализ методом конечных элементов. Наиболее мощный инструмент для расчета конструкций. Деталь разбивается на элементы конечных размеров (прямоугольники или треугольники), образующие связанную сеть узлов концентрации напряжений. Затем анализируют поведение каждого элемента при приложении нагрузок, тепла и пр. Общая оценка производится на основе определения взаимосвязанного поведения всех его узлов. Результаты расчета можно представить в табличном виде, наглядно цветом или показав деформации.

По результатам анализа можно внести изменения в модель и повторить расчет.

Обзор и оценка проектных решений. Можно легко произвести проверку точности проектирования, автоматически получив размер между любыми точками или линиями, для детализации применяют масштабирование. Используя возможность САПР представлять модель послойно, можно накладывать на геометрический объект дополнительную информацию, например, на модель детали наложить модель заготовки и контролировать ее размеры, на модель здания наложить сеть трубопроводов, электропроводки и т. д. Многие САПР позволяют проверять взаимные наложения фрагментов детали, деталей в сборке, что особенно важно при раздельном выполнении сложных объектов. Одним из интересных средств является применение кинематических моделей, позволяющих проверить работу механизмов в движении, что раньше часто выполнялось с помощью булавок и картонных моделей (программа **ADAMS** Мичиганского университета).

Автоматическое изготовление чертежей. Позволяет в среднем в 5 раз повысить производительность труда чертежников. ИМГ позволяет легко получать различные преобразования изображения, выполнять проекции (рис. 2.2), виды, сечения, автоматически проставлять размеры и штриховку. Все изменения в модели детали автоматически переносятся на чертеж, по сборочному чертежу автоматически составляется спецификация.

По трехмерной модели изделия можно получить всю необходимую конструкторскую документацию (чертежи и спецификации) в полном соответствии с действующими российскими стандартами.

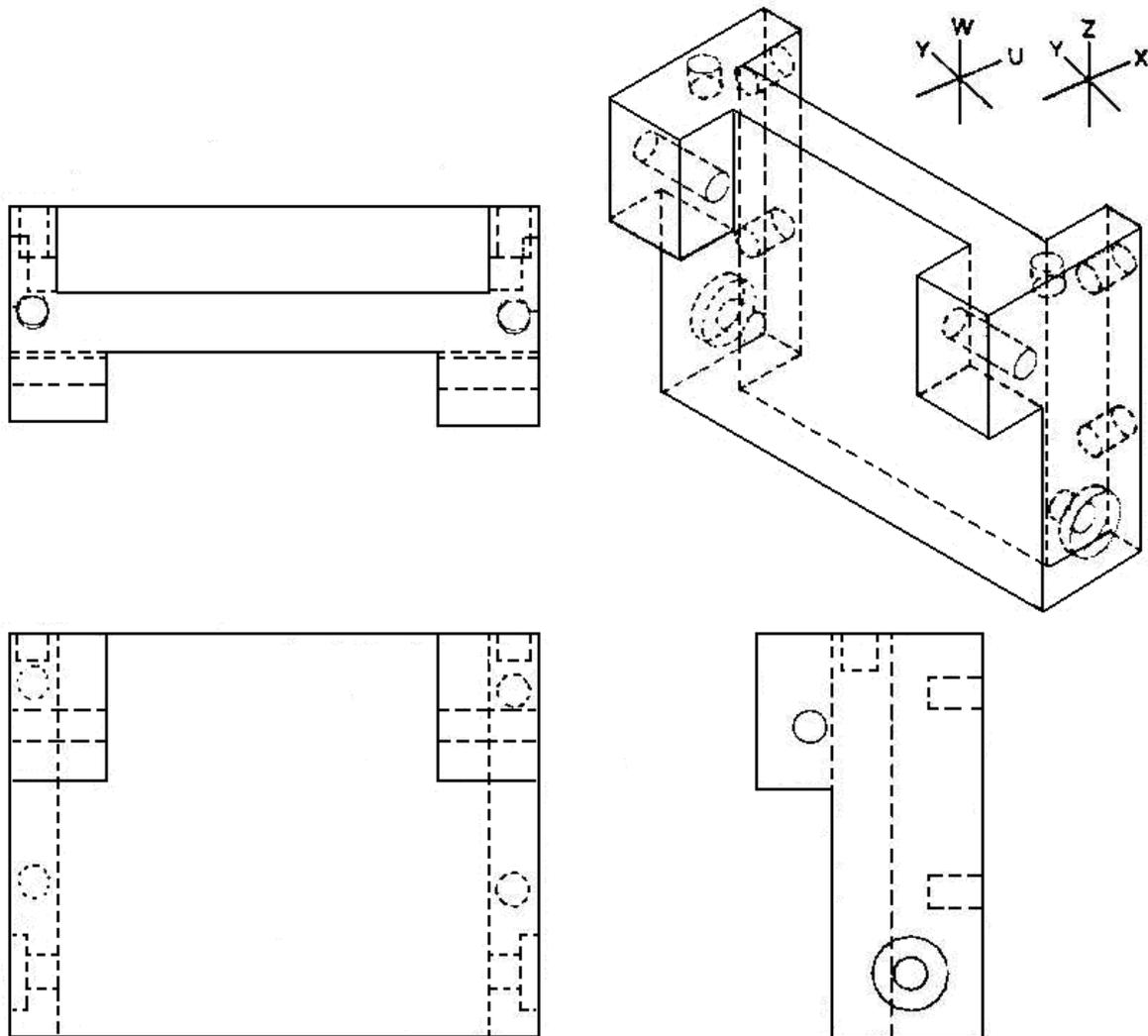


Рис. 2.2. Конструкторский чертеж в четырех проекциях, выполненный автоматически с применением САПР для архивации больших объемов чертежей

В дополнение к описанным четырем функциям следует отметить возможность использования классификации и кодирования. При конструировании деталей можно использовать накопленную базу данных готовых деталей и стандартных элементов.

2.1.4. Программное обеспечение САПР и база данных

Программные средства ИМГ можно разделить на три модуля:

1. Пакет программ машинной графики (графическая система).
2. Прикладные программы.
3. Прикладная база данных.

Центральным модулем здесь является модуль прикладных программ, который управляет загрузкой и поиском данных в прикладной базе данных. Запускаются прикладные программы пользователем с помощью пакета программ машинной графики. Прикладная программа используется для построения модели изделия. Пакет программ машинной графики является средством взаимодействия пользователя с ГТ. Прикладная база данных содержит математические, числовые и логические определения проектируемой модели.

2.1.4.1. Функции пакета программ машинной графики

Функции следующие:

- формирование элементов графических изображений;
- преобразование;
- управление отображениями и организацией окон;
- сегментация изображения;
- ввод данных пользователем.

Графическими элементами обычно служат точки, линии (отрезки), окружности (дуги) и так далее. В качестве элементов могут выступать и буквенно-цифровые знаки и специальные символы. Набор часто повторяющихся элементов можно объединять в «мастера» и ускорять разработку модели детали. Для построения элементов в САПР закладывается множество способов. Например, для точки: точка на экране, по координатам, конец или середина отрезка, пересечение кривых, смещение от заданной точки и т. д. Из элементов формируется модель. Пользователь может редактировать отдельные элементы (сегментировать изображение), например перенос элементов, копирование элементов, их поворот, зеркальное изображение, удаление и пр.

2.1.4.2. Структура и состав базы данных

База данных содержит электронные модели, сборочные проекты, чертежи, узлы, буквенно-цифровую информацию. Поэтому может иметь довольно сложную структуру:

- стандартные элементы графики (точки и пр.);
- геометрия (форма) компонентов модели и их расположение в пространстве;
- топология или структура модели, указывающая, как различные компоненты соединяются между собой, образуя модель;
- специфические прикладные данные, например свойства материалов;
- специфические прикладные программы.

Отсюда следует способ построения моделей, когда из простейших элементов строят структурные элементы второго уровня, из них – третьего уровня и т. д. Можно по-разному организовать базу. Можно хранить полный объем информации о модели, но нужно много памяти, можно хранить минимум информации и набор процедур, позволяющий при необходимости заново рассчитать модель (требуется больше времени).

Одной из распространенных структур баз данных является **графовая модель**. На рис. 2.3 показана графовая модель тетраэдра. В памяти ЭВМ хранятся только координаты вершин и соотношения, связывающие вершины и ребра, ребра и грани, грани и тела. Для твердотельных моделей это наиболее компактное описание.

Для построения модели из структурных элементов разных уровней используют логические операторы. На рис. 2.4 показано, как с помощью булевого моделирования можно получить модель детали из треугольной призмы B , прямоугольного тела A и цилиндра C : $A \cup B - C$.

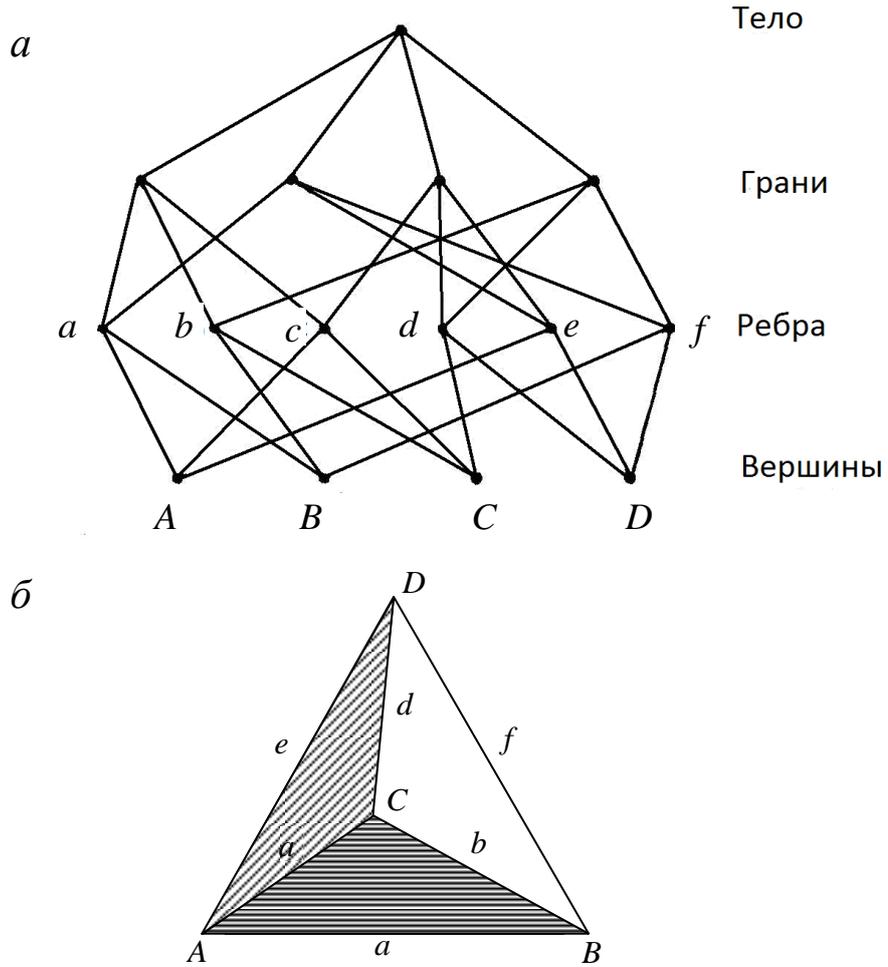


Рис. 2.3. Модель в виде графа (а) для тетраэдра (б)

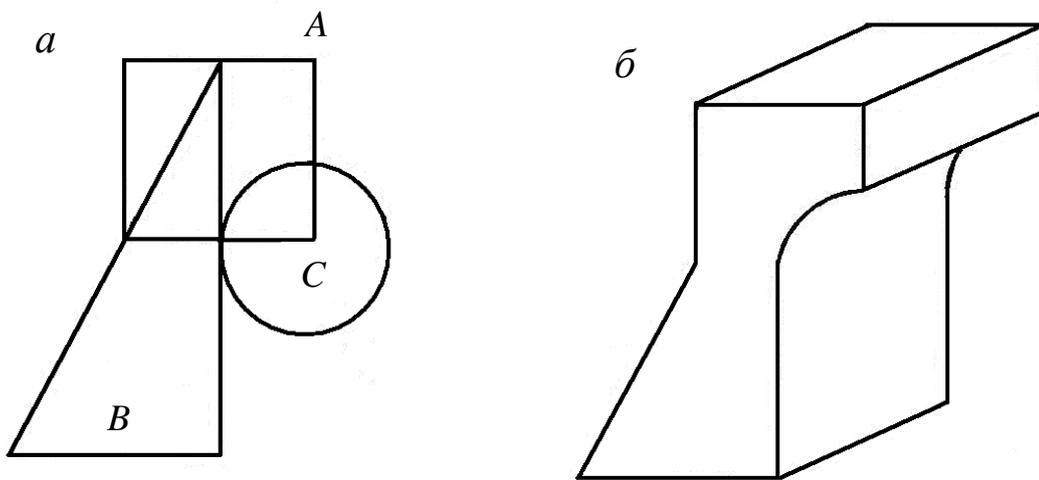


Рис. 2.4. Булева операция $C(A + B)$, выполненная над элементами (а) для построения тела (б)

2.1.5. Каркасное и объемное проектирование

Первоначальные САПР представляли собой электронные кульманы, т. е. были предназначены для получения двухмерных моделей. При этом конструктор должен сам восстанавливать трехмерный образ изделия и убеждаться в отсутствии ошибок проектирования.

Переход к трехмерной графике трудно переоценить. Началось трехмерное проектирование с **каркасных** моделей. Но каркасные модели имеют ряд ограничений. По ним не всегда легко представить форму объекта, т. к. ребра, находящиеся на переднем и заднем планах, видны одинаково (некоторые системы способны удалять скрытые линии). Принятый способ математического описания не всегда однозначно представляет деталь, может возникнуть, например, неясность, какая из сторон поверхности является внутренней, находится ли некая точка внутри или снаружи детали и т. д. (рис. 2.5).

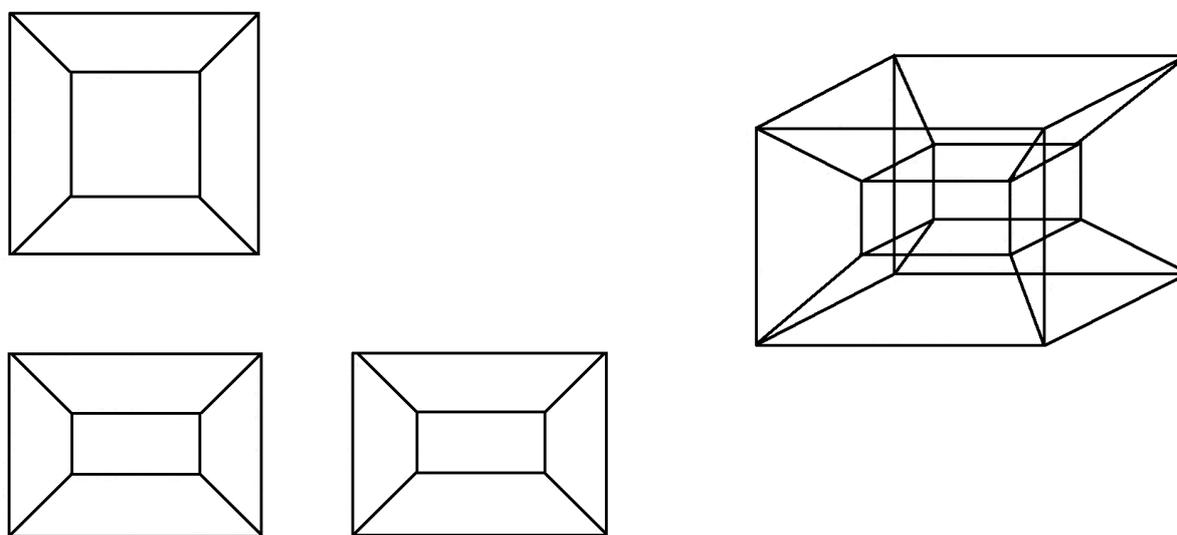


Рис. 2.5. Ортогональные проекции трехмерного объекта с неудаленными скрытыми линиями

Шагом вперед явилось **объемное** (твердотельное) проектирование. Здесь риск ошибочной интерпретации минимален. Использование цвета еще больше способствует реалистичности изображения. Объемное моделирование требует большего объема

памяти и быстродействия, поэтому возможность его появления тесно связана с развитием технических средств вычислительной техники. Объемные модели представляют большие возможности для автоматизации процедур проектирования, инженерного анализа, проектирования и моделирования производственных процессов.

Существует два основных принципа объемного проектирования:

Конструктивная объемная геометрия (CSG- или С-представление), называемая также методом конструирования из стандартных блоков.

Граничное представление (В-представление).

С-представление позволяет строить модель из объемных графических примитивов (прямоугольных блоков, кубов, сфер, пирамид и т. д.). Самым распространенным методом структурирования объемных моделей в базе данных в этом случае является использование CSG-деревя и булевых операций объединения, вычитания и пересечения. Пример построения модели детали из элементарных примитивов показан на рис. 2.6.

Метод граничного представления требует задания на мониторе контуров или границ объекта. Пользователь должен дать эскизы разных видов объекта, указав линии связи между ними. Доведение модели до желаемой формы производится уже с помощью различных преобразований и специальных процедур редактирования.

Каждый из этих способов имеет свои достоинства и недостатки. Системы с С-преобразованием имеют значительные процедурные преимущества при первоначальной постройке моделей, более компактное описание в базе данных. Но для восстановления изображения модели требуется большой объем вычислений. Кроме того, сложно получать объекты необычной формы (фюзеляж самолета, корпус автомобиля). Системы с В-представлением здесь значительно удобнее. Так как в памяти при этом хранится точное описание границ модели, то требуется больше памяти, но меньше вычислительных операций для воспроизведения изображения. Еще одно достоинство В-представления – возможность преобразования объемной модели в каркасную и обратно, так как их описания в значительной мере совпадают.

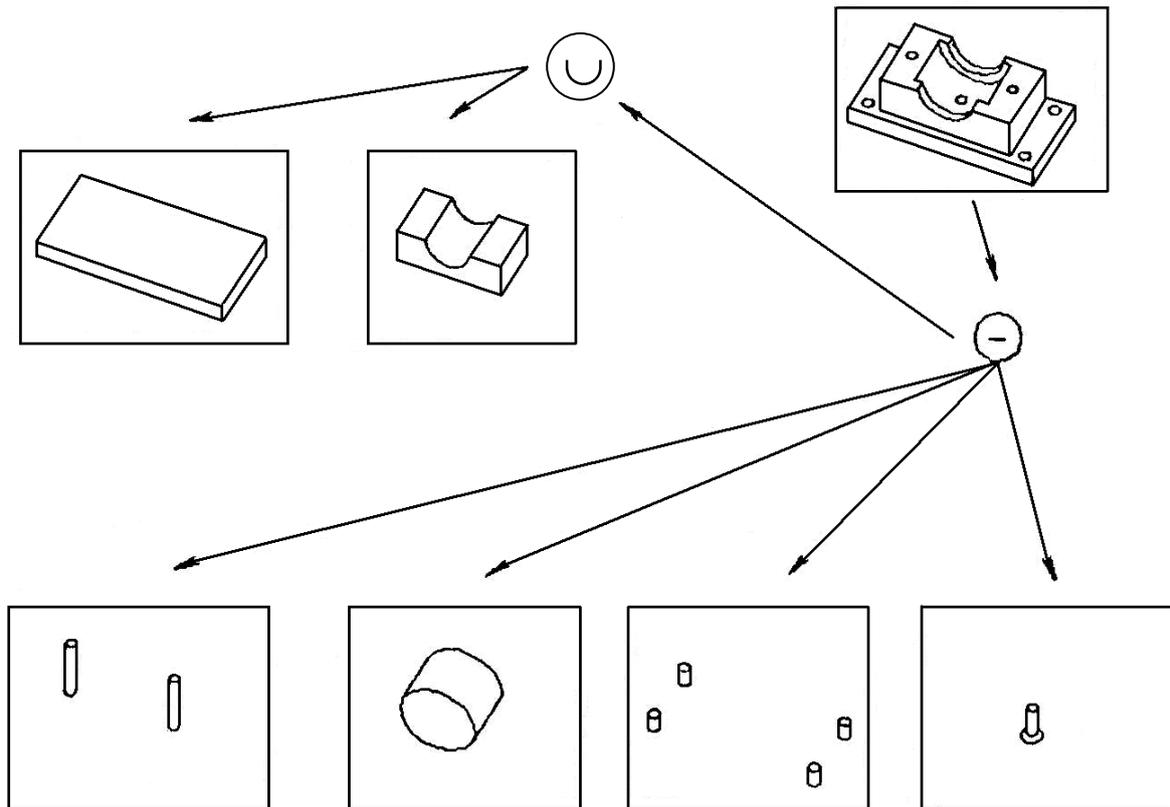


Рис. 2.6. Построение составного ГО из элементарных ГО с использованием логических геометрических операций объединения, вычитания

Появление гибридных систем (с С- и В-представлением) позволяет конструктору решать, какой из методов выбирать для конкретной модели.

2.2. Автоматизация технологической подготовки производства (ТПП)

Основной функцией ТПП является проектирование технологии. Уровень подробности зависит от типа производства. В предельном случае проектирование технологии сводится к выдаче в цех «указания»: «Обработать по чертежу». Обычно же ТП разрабатывается значительно подробнее (существуют маршрутный, маршрутно-операционный и операционный уровни разработки и описания ТП). В собственно проектировании технологии можно выделить три основных подзадачи: проектирование маршрутно-операционной технологии, расчет режимов резания,

расчет норм времени на обработку. Зачастую и системы АСТПП строятся для решения этих групп задач.

В традиционном (ручном) проектировании ТП очень много зависит от технолога. Практически сколько технологов участвует в проектировании ТП, столько получится и ТП. Причем, среди них может не оказаться оптимального ТП. Значительное влияние на используемые в АСТПП методы оказывает принятая на предприятии технология: единичная, типовая или групповая.

2.2.1. Существующие направления проектирования ТП

Можно выделить следующие методы проектирования ТП механической обработки (рис. 2.7) [20, 21].

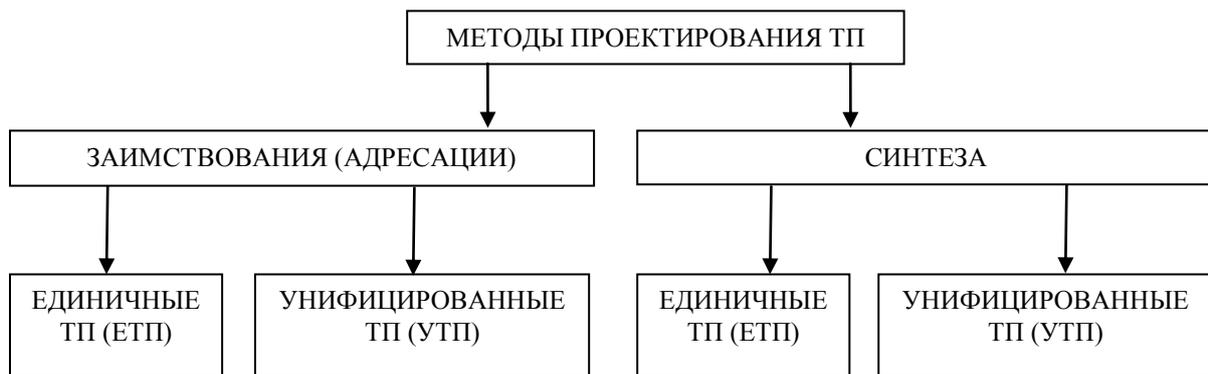


Рис. 2.7. Методы проектирования ТП

Метод заимствования основан на существующих ТП, разработанных для подобных деталей. Метод синтеза – разработка нового, ранее отсутствующего ТП.

Метод адресации

Проектирование ЕТП. Для каждой детали, входящей в состав изделия (И), проектируется свой ТП (рис. 2.8). В процессе проектирования решаются вопросы выбора оборудования, оснащения, объединения отдельно обрабатываемых деталей на одной операции и так далее. Метод достаточно просто реализуется на ЭВМ. Процесс-аналог дорабатывается под конкретные размеры

детали. Недостаток: необходимо иметь большое количество процессов-аналогов, иначе трудно учесть особенности каждой детали.

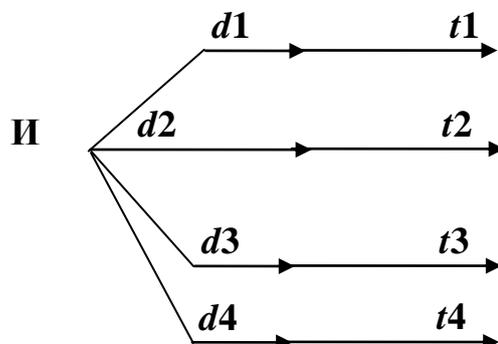


Рис. 2.8. Проектирование ЕТП

Проектирование УТП. Предварительно детали, входящие в состав изделия или нескольких изделий, объединяются в группы, причем обработка всех деталей, входящих в группу, возможна по одному УТП. Если появляется изделие **И5**, включающее в свой состав деталь $d5_1$, то первоначально рассматривается вопрос о возможности включения детали $d5_1$ в одну из групп. Если $d5_1 \subset K_i$ ($i = 1...3$), то для ее изготовления нет необходимости в проектировании нового ТП, так как она может быть обработана по существующим унифицированным ТП (рис. 2.9). При выборе средств технологического оснащения учитывается *приведенная производственная программа* по каждой группе, что приводит к искусственному повышению серийности и позволяет применять оборудование, характерное для предприятий с крупносерийным и массовым типом производств. Это – главное преимущество. Одновременно *сокращается время* на проектирование ТП (так как надо проектировать один ТП, а не несколько) и его оснащение.

Проектирование на базе УТП возможно с использованием **групповых или типовых процессов-аналогов**.

Использование ГТП предполагает наличие на предприятии **групповой технологии**, системы технологических классификаторов деталей, оборудования, ТП и прочие, а также собственно АСТПП типа «Адрес». Проектирование сводится к нахождению аналога (по технологическим характеристикам) заданной детали

и соответствующего ГТП. При расхождении заданной и комплексной деталей проводится корректировка (часто в режиме диалога) ГТП.

Использование ТТП предполагает классификацию деталей и их элементов по конструктивным признакам.

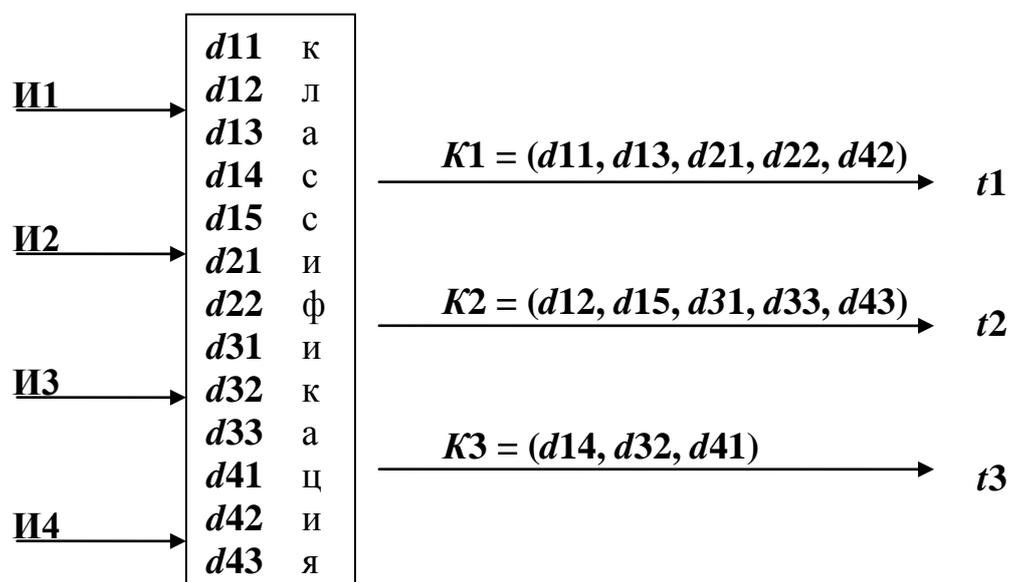


Рис. 2.9. Проектирование УТП

Метод синтеза

Синтез ТП производится на трех уровнях:

1. **Синтез маршрута** – на основе конструкторско-технологического классификатора деталей и основных этапов производственного процесса.

2. **Синтез ТО:**

- а) определяются схемы базирования и установки;
- б) выбираются оборудование и приспособления;
- в) определяется последовательность переходов;
- г) определяются нормы времени на ТО;
- д) рассчитывается себестоимость на ТО;
- е) оформляется технологическая документация.

3. **Синтез переходов:**

- а) расчет припусков и операционных размеров;
- б) выбор режущего инструмента;
- в) выбор вспомогательного инструмента;

- г) выбор измерительного инструмента;
- д) расчет режимов резания;
- е) расчет основного времени на переходы.

Можно выделить **два подхода** к синтезу ТП:

1. Синтез **сверху** (нисходящее проектирование), т. е. генерирование вариантов решений от уровня маршрута до уровня переходов.

Как правило, это проектирование с **процессом-прототипом**, причем подобранный прототип не содержит всего состава элементов (операций, переходов), которые нужны для изготовления данной детали. При проектировании прототип перерабатывается с учетом элементарных ТПП.

2. Синтез **снизу** (восходящее проектирование). Проектирование выполняется последовательно, начиная с уровня переходов с выходом на операции и, в конечном итоге, на маршрут. Проектирование ведется без прототипа, опираясь на общие закономерности технологии и эвристики. Широко используются элементарные ТПП. Из-за обязательного многообразия вариантов на каждом этапе необходимы достоверные критерии оценки решений и возможность корректировки предыдущих этапов. Наиболее распространенный режим проектирования – диалоговый.

Соответственно и существующие автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП) можно разделить на:

1. АСТПП поискового типа (метод заимствования).
2. АСТПП генерирующего типа (метод синтеза).

2.2.2. АСТПП поискового типа

АСТПП поискового типа основаны на идеологии классификации и кодирования деталей. Существующая номенклатура деталей разбивается на виды или группы. Соответственно для них устанавливается типовой или групповой ТП. Эти унифицированные ТП хранятся в базе данных. При кодировании новая деталь относится к существующим группировкам и для нее вызывается необходимый ТП. Обычно требуется корректировка унифицированного ТП, чаще всего в плане структуры операций. Если по коду детали унифицированный ТП найден, то происходит оформ-

ление технологической документации. Развитые системы при этом производят определение технологических и временных нормативов.

2.2.3. АСТПП генерирующего типа

Здесь ЭВМ используется для получения ТП на основе чертежа детали. Необходим набор алгоритмов, обеспечивающий постепенное получение маршрута обработки на основе технических и логических решений. Вводимая информация должна обеспечивать полное описание обрабатываемой детали. В идеальном случае система должна обеспечивать генерирование ТП для любой детали. Однако существующие системы такого типа не универсальны, а рассчитаны на определенный класс деталей, иногда очень узкий (тела вращения, кулачки, фасонные резцы и т. д.).

2.3. Проблемы внедрения систем автоматизированного проектирования

Широкое внедрение компьютеризации в условиях научно-технического прогресса обеспечивает рост производительности труда в различных областях общественного производства. Главное внимание при этом обращается на те области, где рост производительности труда до применения ЭВМ проходил крайне медленно. Это, в первую очередь, области, связанные с применением умственного труда человека, т. е. управление производством, проектирование и исследование объектов и процессов. Если производительность труда в сфере производства с начала прошлого века возросла в сотни раз, то в области проектирования только в 1,5–2 раза. Это обуславливает большие сроки проектирования новых объектов, что не отвечает современным потребностям развития производства и обеспечения конкурентоспособности предприятия.

Одним из направлений решения этой проблемы является создание и развитие систем автоматизации проектирования (САПР).

При неавтоматизированном проектировании результаты во многом определяются инженерной подготовкой специалистов, их

производственным опытом, профессиональной интуицией и другими факторами. Автоматизированное проектирование позволяет значительно сократить субъективизм при принятии решений, повысить точность расчетов, выбрать наилучшие варианты для реализации на основе строгого математического анализа всех или большинства вариантов проекта с оценкой технических, технологических и экономических характеристик производства и эксплуатации проектируемого объекта, значительно повысить качество конструкторской документации, сократить сроки проектирования и передачи конструкторской документации в производство в 5–10 раз, эффективнее использовать технологическое оборудование с программным управлением. Автоматизация проектирования способствует более полному использованию унифицированных изделий в качестве стандартных компонентов проектируемого объекта.

Применение ЭВМ при проектировании различных объектов с течением времени претерпело значительные изменения. С появлением вычислительной техники был сделан переход от традиционных «ручных» методов проектирования к реализации отдельных задач проектирования на ЭВМ. Этот подход, характеризовавший использование ЭВМ на первом этапе, заключается в том, что каждая вновь возникающая задача решается с помощью автономно создаваемой программы, которая функционирует независимо от других программ данной предметной области. Однако применение ЭВМ на этом этапе, несмотря на отмеченный недостаток, позволило перейти от упрощенных методов расчета и проектирования с субъективным выбором «лучшего» варианта к научно обоснованным методам, обеспечивающим рассмотрение всего многообразия технически приемлемых вариантов с учетом заданных условий, ограничений, и объективному выбору среди них оптимального.

По мере совершенствования ЭВМ акцент в использовании вычислительной техники постепенно смещался в сторону более эффективного использования ЭВМ в системах с режимом диалогового интерфейса «ЭВМ – человек».

С появлением вычислительной техники новых поколений и совершенствованием методов ее использования наметился новый системный подход к организации процесса проектирования

на ЭВМ, заключающийся в создании крупных программных комплексов в виде пакетов прикладных программ (ППП), ориентированных на определенный класс задач. Такие комплексы строятся по модульному принципу с универсальными информационными и управляющими связями между модулями, которые при решении задач данного класса используют единые информационные массивы, организованные в банки данных.

Объединение нескольких ППП в единую систему, предназначенную для реализации вполне определенных функций, позволяет говорить о новом, более высоком уровне в иерархии программных комплексов, применяемых в САПР. При этом качественные изменения претерпели и организации информационного, технического и других видов обеспечения, и, что особенно важно, условия обмена информацией между человеком и ЭВМ. Как правило, эти изменения направлены на повышение гибкости и универсальности системы, улучшение характеристик взаимодействия проектировщика с ЭВМ, повышение качества получаемого результата и снижение времени его получения.

Процесс проектирования на базе САПР можно разделить на следующие укрупненные этапы [1]:

- поиск принципиальных проектных решений – предпроектное исследование;
- разработка проектов конструкции (эскизного, рабочего, эскизно-рабочего) и их оптимизация;
- уточнение и доработка выбранного варианта конструкции, выполнение полного расчета после проведенных испытаний;
- разработка полного комплекта чертежно-технической документации.

Особенности этих этапов определяют эффективность применения ЭВМ на каждом из них. На первом этапе значительна роль эвристических действий. Применение ЭВМ здесь наиболее целесообразно и эффективно при организации диалога между разработчиком и ЭВМ, где ему отводятся функции выбора и принятия решений, а ЭВМ – выполнение действий по заданным алгоритмам, прежде всего, представление необходимой информации и ее обработка в соответствии с заданием. На втором этапе, где рассматриваются различные конструктивные решения с вы-

полнением большого количества операций расчета и оптимизации, целесообразно использование ЭВМ путем создания систем диалога с запрограммированным процессом конструирования и расчетной оптимизации, при этом сам конструктор направляет поиск оптимального варианта конструкции и принимает решения на основании выполненных расчетов. Поскольку третий и четвертый этапы требуют самых значительных затрат времени и средств (до 60 %), причем расчетно-конструкторская деятельность на этих этапах достаточно просто алгоритмируется, целесообразно применение на этих этапах ЭВМ в комплексе со средствами ввода-вывода графической информации, а также создание испытательных стендов.

Как правило, САПР предназначены для проектирования сложных объектов. Сложным объектом проектирования считается изделие или сооружение, которое характеризуется следующими признаками [21]:

- состоит из большого количества элементов (деталей конструкции и сборочных узлов);
- отличается противоречивостью требований, предъявляемых к его качествам;
- отличается неразработанностью формализованных зависимостей показателей его качеств от принимаемых решений или отсутствием однозначных критериев оценки этих решений;
- имеет совокупность свойств, определяемых не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между элементами;
- отличается новизной технических решений;
- предназначается для эксплуатации в составе многокомпонентной системы или в меняющихся (не вполне определенным образом) условиях;
- изготавливается технологическая оснастка с привлечением большого числа предприятий.

Очень высокие требования предъявляются и к конкретному проектировщику или группе проектировщиков сложного технического объекта. В настоящее время продолжительность проектирования большинства сложных объектов превышает разумные пределы, определяемые сроками морального старения, утратой

конкурентоспособности изделий и др. Поскольку сложность объектов постоянно возрастает, а время проектирования необходимо сокращать, то можно сделать вывод о целесообразности широкого использования САПР.

Причины, подвигающие предприятия на внедрение САПР, в большинстве своем известны:

- значительное повышение качества производимых изделий и их научно-технического уровня;
- сокращение сроков и затрат на стадии конструкторско-технологической подготовки производства;
- иногда практически невозможно вести разработку и производство высокотехнологичной, наукоемкой продукции без применения современных систем проектирования;
- сложность сотрудничества с предприятиями – партнерами, перешедшими на работу с САПР;
- сложность сертификации продукции российских предприятий в соответствии с мировыми стандартами, т. е. затрудняется выход на внешний рынок.

Концептуальное проектирование, конструирование, инженерный анализ и технологическая подготовка производства неразрывно связаны, поэтому их процессы иногда выполняют параллельно.

САПР создают условия для одновременной работы всех участников проекта в режиме параллельного проектирования (*Concurrent Engineering*). Они позволяют не просто автоматизировать традиционный последовательный процесс – конструирование, расчеты, технологическую подготовку производства, – а создать новую структуру организации процесса. Совместная работа конструкторов, расчетчиков и технологов существенно сокращает сроки ожидания и время на оптимизацию конструкции. Однозначность моделей и их взаимная увязка, оптимизация конструкции по интегральным функциональным, аналитическим и технологическим критериям в процессе разработки изделия существенно повышают качество. Вторая сторона одновременной работы дает возможность всем конструкторам работать с единой твердотельной информационной моделью изделия, обеспечивая отсутствие нестыковок и разночтений, гарантируя высокую точ-

ность деталей и сборок, создание полного электронного описания изделия.

Поскольку САПР специальным образом организованы, то позволяют управлять как структурой изделия, так и процессом его создания. Таким образом, компьютерная технология проектирования и производства (КТПП) – это, прежде всего, специальная организация процесса, реализующая преимущества используемых программных средств и технического оснащения, повышающая в целом конкурентоспособность продукции предприятия.

2.4. Факторы, влияющие на выбор системы конструирования и подготовку производства для реализации сквозного проектирования на предприятии

Теоретические основы САПР сформировались в 70-х гг. прошедшего столетия. В основу идеологии положены разнообразные математические модели абстрактного изделия. Объекты рассматривают с точки зрения различных специальностей, применяются различные методы получения параметров: геометрические, технологические и т. п. Именно разнообразие моделей привело впоследствии к классификации CAD/CAM/CAE/PDM и к более глубокой специализации внутри каждого раздела.

Важность геометрической модели трудно переоценить, поскольку любые предметы описываются в первую очередь геометрическими параметрами.

Традиционный способ двумерного геометрического моделирования состоял в применении линейки, циркуля и транспортира на чертежной доске или кульмане. Для повышения точности построения выдерживают в максимально возможном масштабе. При этом максимальная погрешность составляет не менее 0,1 мм, а при задании угловыми значениями – не менее 1 мм на одном метре. Таковы пределы точности при геометрическом моделировании на кульмане.

Появление ЭВМ стало благоприятной предпосылкой для развития машинной графики, которая включила в себя дисциплины геометрического моделирования и вычислительной геометрии. Основная их задача состоит в решении геометрических за-

дач в аналитической и вычислительной (алгоритмической) форме [21].

К началу 80-х математический аппарат плоского геометрического моделирования был уже достаточно хорошо сформирован для того, чтобы обеспечить дальнейшее развитие двухмерных САД-систем. С появлением персональных компьютеров внедрение «электронных кульманов» приняло массовый характер.

Инженеры сразу же оценили такие преимущества, как автоматизация построения геометрических элементов, копирование фрагментов, простота редактирования геометрической и текстовой информации, автоматическая штриховка и нанесение размеров, точность и качество документации, компактность хранения. Более того, внедрение компьютерного черчения практически не требовало изменения традиционного подхода к проектированию, что поначалу было воспринято как важнейшее преимущество 2D-систем по сравнению с системами объемного 3D-моделирования.

Отметим два основных подхода к плоскому моделированию, которые получили развитие в САД-системах. Первый условно можно назвать чертежным, второй – твердотельным.

В чертежном способе основными инструментами являются отрезки, дуги, полилинии и кривые. Базовыми операциями моделирования на их основе являются продление, обрезка и соединение.

Первые системы трехмерного геометрического моделирования создали каркасное представление геометрии. Сразу же вслед за каркасно-точечным появилось триангуляционное представление поверхностей. Появление методов математического задания сложных поверхностей позволило строить линии их пересечения и сшивать из поверхностей трехмерные модели.

Затем появилось твердотельное моделирование, при котором все составляющие тело поверхности сшиты друг с другом с определенной точностью и образуют правильный замкнутый геометрический объем образца.

Следует отметить, что твердотельное моделирование позволяло не только существенно сократить время моделирования, но и точно определять массо-инерционные характеристики моделей, что было особенно ценно для аэрокосмической промышленности при создании изделий, в которых важно было минимизировать их

вес. Но самое главное – твердотельное представление модели позволило создать процедуры работы со сборками.

В твердотельном способе основными инструментами являются замкнутые контуры; остальные элементы играют вспомогательную или оформительскую роль. При этом главными являются булевы операции объединения, вычитания, пересечения.

При всех своих неоценимых достоинствах плоское представление, а самое главное – система чертежных размеров однозначны лишь до определенного уровня сложности конфигурации изделия. С развитием судостроения, автомобильной и авиационной промышленности было введено понятие неаналитических кривых – сплайнов. Сплайны невозможно точно описать системой линейных, угловых и дуговых размеров. Даже более компактный способ описания – табличный – применим лишь к контрольным точкам кривой, но никак не к ее полному и однозначному описанию.

Идеология систем объемного моделирования базируется на объемной модели. Однозначность модели по сравнению с чертежом несет в себе залог безошибочного взаимодействия всех участников процесса проектирования и подготовки производства. Кроме того, обмен данными на базе этой модели позволяет избежать повторного ввода информации, которым так страдают традиционные производства, пусть даже и оснащенные «электронными кульманами».

Очевидно, что работа в пространстве требует несколько иных навыков, нежели традиционное черчение, но это совсем не означает, что для получения поверхности требуется рассчитать и ввести в компьютер координаты каждой точки.

Системы объемного моделирования базируются на методах построения поверхностей на основе плоских и неплоских профилей. В общем случае профиль – это объект, описываемый отрезками, дугами и кривыми.

Иными словами, современные методы проектирования поверхностей позволяют строить объекты, основываясь на минимальном количестве исходных данных. Например, одним из наиболее распространенных методов, которым можно описать широкий класс объектов, является движение профиля вдоль направляющей.

Объемное моделирование также развивалось в двух направлениях: поверхностное и твердотельное моделирование.

В поверхностном моделировании основными инструментами являются поверхности, а базовыми операциями моделирования на их основе – продление, обрезка и соединение. Таким образом, конструктору предлагается описать изделие семейством поверхностей.

При твердотельном способе основными инструментами являются тела, ограниченные поверхностями, а главными операциями – булевы операции объединения, дополнения, пересечения. В этом случае конструктор должен представить изделие семейством простых (шар, тор, цилиндр, пирамида и т. п.) и более сложных тел.

Геометрическое ядро САПР полностью определяет, на что способна система в целом.

В современных системах геометрического моделирования используется как поверхностное, так и твердотельное моделирование. Многие системы поддерживают так называемое гибридное моделирование, когда в пространстве можно одновременно работать и с твердотельной моделью, и с поверхностями.

На сегодняшний день наибольшее распространение получили два геометрических ядра: ACIS и Parasolid. Особняком стоят системы CATIA и Pro/Engineer, использующие свой геометрический и математический аппарат. При этом считается, что ядро ACIS больше ориентировано на поверхностное моделирование, а Parasolid – на твердотельное [21].

В базовой функциональности эти ядра практически не применяются – разработчики сами дописывают требуемые им функции. На Parasolid базируются такие известные системы, как Uni-graphics, Solid Edge, Solid Works, T-FLEX. На ACIS основаны многие специализированные САМ-системы, например, ADEM. Убежденным приверженцем ядра ACIS является AutoCAD. Исторически сложилось так, что на сегодняшний день САД-системы на основе ядра Parasolid обладают большей функциональностью, чем системы на ACIS.

С модели может быть получена не только информация о координатах любой точки на поверхности, но и другие локальные характеристики (нормали, кривизны и т. д.) и интегральные ха-

рактеристики (объем, площадь поверхности, моменты инерции, определение центра тяжести и т. д.). На ее основе предусмотрено получение 2D-модели: виды, сечения и разрезы.

В отличие от чертежа модель является однозначным представлением геометрий и количественного состава объекта.

Многие современные системы позволяют вводить связи между геометрическими параметрами. Связи могут быть заданы условно (параллельность, перпендикулярность, касательность и др.), размерами, функционально, таблично.

В связи с большим количеством различных систем автоматизированного проектирования, предлагаемых рынком в настоящее время, все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с оптимальным выбором конкретных программ, а также со стратегией их внедрения.

2D-модели необходимы для совместимости с разработками в старых форматах. За годы использования САПР на многих предприятиях накоплены богатые архивы проектов. Материалы таких архивов весьма ценны и должны активно использоваться. Многие разработки представляют собой модернизированные варианты старых моделей. В этом случае переработка всей модели заведомо нерациональна – более выгодным представляется использование данных в старых 2D-форматах для разработок современных трехмерных проектов.

Одним из наиболее очевидных отличий твердотельного моделирования от двухмерного черчения является построение точной по размерам трехмерной модели. Благодаря графическим возможностям современных компьютеров, модель можно рассматривать на экране со всех сторон, манипулируя ею как реальным предметом.

Возможность выразить свои идеи непосредственно в трехмерном пространстве дает конструктору гораздо большую свободу и повышает эффективность его работы.

Улучшенное конструкторское оформление облегчает работу с моделью для тех, кто находится дальше по цепочке.

Возьмем производственную сферу. На основе твердотельной модели может быть автоматически создано покомпонентное изображение с пространственным разделением деталей, помогающее свести к минимуму ошибки производственного персонала.

Одним из главных преимуществ современных программ 3D-моделирования является их способность автоматически и быстро создавать точные 2D-чертежи разных проекций прямо с твердотельной модели.

Даже в случае с простыми компонентами генерирование двумерной проекции с твердотельной модели выполняется быстрее, чем создание чертежа в традиционном 2D-окружении.

Процесс проектирования – это лишь один из аспектов, который может быть усовершенствован за счет технологии твердотельного моделирования. Еще большим достоинством в глазах многих пользователей является то, что программы 3D-моделирования позволяют легко изменять уже существующие конструкции и их чертежи.

Предлагаемый современными программами параметрический подход позволяет конструктору задать новые размеры, и программа пересчитает все изменения, касающиеся тех деталей модели, которым определены эти размеры, и автоматически обновит всю модель, а также чертеж.

Между тем сами детали тоже создаются не изолированно: они рассчитываются программой на работу в контексте сборки. Свойства одной детали определяют форму и размеры другой. Современные САПР включают механизм параметризации, который и определяет такие отношения между деталями.

Поскольку 3D-модели содержат значительно больше технических данных, чем 2D-чертежи, то еще одним важным достоинством технологии твердотельного моделирования является возможность последующей обработки полученных результатов с помощью других программ, связанных, например, с анализом и производством.

Прямая совместимость систем 3D-моделирования с такими программами позволяет конструктору использовать на ранней стадии разработки средства анализа конечных элементов, кинематики и т. д. Это помогает существенно повысить качество проекта.

Для многих пользователей преимущество технологии твердотельного моделирования связано с возможностью поддержания своей конкурентоспособности за счет сокращения цикла проектирования.

Сокращенный цикл проектирования дает и другие преимущества – более быструю окупаемость, высвобождение времени на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

В связи с большим количеством различных систем автоматизированного проектирования, предлагаемых рынком в настоящее время, все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с оптимальным выбором конкретных программ, а также со стратегией их внедрения [21].

Необходимо понимать, что система автоматизации какой-либо деятельности не способна изменить что-то сама по себе, если ничего не меняется вокруг нее. Следует разобраться в основных причинах подобных просчетов и сформулировать необходимую последовательность действий для руководителей предприятий, которая может предложить правильную стратегию компьютеризации, гарантирующую получение эффекта от затраченных средств и усилий.

Трудности предприятий, которые, ничего не меняя в сути своей деятельности, пытаются поправить дела закупкой программно-технических комплексов, имеют более глубокие корни, чем это может показаться на первый взгляд. Прежде всего, эти проблемы связаны с использованием устаревших технологий и методов работы, не адекватных стратегическим целям предприятия, а также с неэффективной системой управления предприятием.

На результат внедрения компьютерных технологий существенное влияние оказывают следующие факторы [19]:

- интеграционный подход – охватывает ли внедряемая компьютерная технология весь жизненный цикл изделия;
- стоимость приобретения, внедрения и сопровождения системы – насколько реализуемый проект компьютеризации учитывает особенности конкретного предприятия, каково соотношение затрат на приобретение программных средств и их адаптацию к данным производственным условиям;
- мобильность и адаптируемость системы;
- соответствие требованиям отечественных и европейских стандартов;

- возможность настройки системы под требования заказчика;
- полнота русификации;
- наличие реальной технической поддержки;
- безопасность и защита информации.

Особенность российского рынка автоматизации состоит в сложном сочетании представленных на нем систем, отличных друг от друга по классу и идеологии, построенных подчас на несовместимых друг с другом протоколах, интерфейсах. Даже в рамках одного предприятия нередко можно встретить целый ряд подсистем, как современных, так и безнадежно физически и морально устаревших. Это многообразие приводит к тому, что часто, вводя новые CAD/CAM системы, необходимо обеспечивать совместимость их взаимодействия с существующими [21].

Наиболее желательно покрытие всего цикла жизни изделия – от конструирования изделия до подготовки управляющих программ на изготовление оснастки, штампов, пресс-форм и др.

В случае выбора системы среднего уровня, ориентированной только на моделирование и возлагающей функции CAM/CAE на интегрируемые с ней продукты третьих фирм, возникает проблема обновления версий всех входящих в полученный комплекс программ, поскольку при обновлении базовой CAD-составляющей остальные перестают корректно работать, либо по каким-то причинам их производитель исчезает с рынка. При этом нельзя недооценивать важность постоянного обновления CAD-ядра молодых систем среднего класса, так как на настоящий момент функционал таких систем значительно уступает пакетам высшего уровня.

Хотя в то же время необходимо отметить и определенные достоинства последней схемы.

Во-первых, возможность выбора наиболее полно удовлетворяющего нуждам предприятия необходимого компонента системы из множества вариантов, предлагаемых различными компаниями.

Во-вторых, спектр задач, требующих автоматизации, постоянно растет, поэтому удовлетворить сразу все потребности круп-

ного промышленного предприятия в рамках одной САПР становится все труднее.

Таким образом, немаловажными критериями выбора САПР являются открытость последних и возможность их интеграции с другими приложениями.

В рамках схемы внедрения требуется также определить потребность предприятия в других программных продуктах и оценить возможность и степень корректности обмена данными между ними и предлагаемой базовой САПР.

Анализируя рынок САПР, можно сделать вывод о том, что наиболее мощные САПР тяжелого уровня создаются за рубежом. Как следствие – ни одна из них в первоначальном виде не соответствует требованиям ЕСКД. Для внесения необходимых корректировок и написания собственных прикладных программ, связанных с решением специфических задач данного предприятия, требуется возможность подключения современных систем программирования. Упомянутая выше необходимость адаптации к ЕСКД актуальна не только для конструкторских модулей системы, но для адаптации технологических к ЕСТД.

Практика показывает, что, несмотря на все потенциальные достоинства САПР с точки зрения рассмотренных выше критериев, удобство интерфейса также может сыграть значительную роль при выборе того или иного пакета. Интерфейс должен быть логичным по своей структуре, интерактивным и наглядным.

Не последнюю роль играет и наличие для САПР русскоязычной технической документации и специальной литературы.

Наконец, чтобы выбирать базовую САПР из нескольких равноценных, требуется оценить динамику развития системы и провести стоимостный анализ.

Подводя итоги, сформулируем следующие критерии выбора САПР:

- *САПР должна автоматизировать работу.* Инструменты САПР должны экономить время проектировщика, обеспечивать продуктивность и не противоречить традиционному проектированию.

- *САПР должна быть надежной.* Не следует забывать, что данные, хранящиеся в электронной форме, недоступны для пря-

мого чтения (для доступа к ним как минимум нужны компьютер и специальная программа).

- *САПР должна быть доступной.* Если после покупки САПР нет необходимого обучения или не на должном уровне окажется техническая поддержка, нормальная работа любой САПР (даже самой легкой и умной) маловероятна.

- *САПР должна быть открытой.* Если систему нельзя настроить или доработать под потребности заказчика, то о выборе такой системы не может быть и речи.

- *САПР должна быть долговечной.* Не стоит приобретать САПР, которая меняет форматы данных и не поддерживает свои старые форматы либо меняет одно математическое ядро на другое. Это признак ненадежности системы. Необходимо помнить, что приобретенная САПР – это всерьез и надолго. Нормальный ход работ и стабильное качество способна гарантировать лишь долговечная система (независимо от количества выпускаемых версий и обновлений).

- *САПР должна быть универсальной.* Не стоит покупать САПР, которая «сама в себе», даже если ее функциональные возможности устраивают.

- *САПР должна быть стабильной.* Система не должна постоянно менять основные принципы работы. Работа в САПР – это методы и своды правил, и поэтому только постоянство стиля САПР позволит вовремя и качественно выполнить обязательства по проекту.

- *САПР должна окупать себя.* Если предлагаемую САПР мучительно трудно осваивать, если ее невозможно применить без значительных дополнительных затрат и она не приносит ожидаемого результата, покупать такую САПР нет смысла.

- *САПР должна быть масштабируемой,* то есть иметь возможность роста. Хорошая САПР удовлетворит любые потребности. Она позволит начать с «малого решения» и со временем расширить систему до желаемого уровня.

- *САПР должна быть адаптивной.* Адаптивность позволяет упростить вносимые в изделие изменения.

2.5. Аналитический обзор систем автоматизированного проектирования, применяемых в машиностроении

Традиционно продукты САПР для машиностроения разделены на три класса: тяжелый, средний и легкий. Такая классификация сложилась исторически, и хотя уже давно идут разговоры о том, что грани между классами вот-вот сотрутся, они остаются, так как системы по-прежнему различаются и по цене, и по функциональным возможностям.

В результате сейчас в этой области имеется несколько мощных систем, стабильно развивающиеся продукты среднего класса и получившие массовое распространение недорогие «легкие» программы.

Под термином «САПР для машиностроения» подразумеваются пакеты, выполняющие функции CAD/CAM/CAE/PDM, т. е. автоматизированного проектирования, подготовки производства и конструирования, а также управления инженерными данными. Наиболее распространенные системы представлены в табл. 2.1 [21].

Таблица 2.1

Класс САПР	Программный продукт	Компания-разработчик
Тяжелый	Unigraphics NX	EDS
	CATIA	Dassault Systemes/IBM
	Pro/Engineer	PTC
Средний	Solid Edge	EDS
	Solid Works	Solid Works
	Inventor	Autodesk
Легкий	T-FLEX	ТопСистемы
	КОМПАС	АСКОН
	AutoCAD	Autodesk

В итоге недавних перемен, связанных со слияниями и поглощениями, тяжелых систем осталось всего три: *Unigraphics NX* компании EDS, *CATIA* французской фирмы Dassault Systemes (которая продвигает ее вместе с IBM) и *Pro/Engineer* от PTC (Parametric Technology Corp).

Главная особенность «тяжелых» систем состоит в том, что их обширные функциональные возможности, высокая производительность и стабильность достигнуты в результате длительного развития. Все они далеко не молоды: *CATIA* появилась в 1981 г., *Pro/Engineer* – в 1988 г., а *Unigraphics NX*, хотя и вышла лишь несколько месяцев назад, является результатом слияния двух весьма почтенных систем – *Unigraphics* и *I-Deas*, приобретенных вместе с компаниями *Unigraphics* и *SDRC*.

Несмотря на то, что тяжелые системы значительно дороже, чем «легкие» системы (свыше 10 тыс. долл. на одно рабочее место), затраты на их приобретение окупаются, особенно когда речь идет о сложном производстве, например машиностроении, двигателестроении, авиационной и аэрокосмической промышленности. По мнению аналитиков, этот сегмент рынка уже практически насыщен. Сейчас производители средств автоматизации проектирования возлагают основные надежды на предприятия среднего и малого бизнеса, которых гораздо больше, чем промышленных гигантов. Для них предназначены системы среднего и легкого классов.

Системы высшего уровня обладают максимально возможной на данный момент мощностью команд и общих решений, и это важнейший фактор, а цена и сложность являются менее критичными условиями развития. Системы среднего уровня, наоборот, во главу угла ставят как универсальность и простоту интерфейса, так и, безусловно, стоимость. Это не означает, что, пользуясь системой среднего уровня, нельзя получить ту или иную геометрию – добротная система среднего уровня должна так или иначе позволять строить любую геометрию. Но для этого может потребоваться длинная и весьма непростая последовательность команд, в то время как в системе высшего уровня аналогичный результат достигается одной, двумя командами. Дело здесь вовсе не в геометрическом ядре, а в том, в каких целях оно используется.

Еще один важный момент: система высшего уровня имеет модульную структуру, и мы можем выбрать только те модули, которые содержат соответствующие нашим задачам команды. Отображение осуществляется базовым модулем независимо от того, в каком модуле создана та или иная геометрия. Существуют

самые разные модули, так же как встречаются и самые разнообразные их комбинации. В системе высшего уровня можно решить практически любую задачу, не прибегая к помощи других программных продуктов.

Системы среднего уровня все возможности моделирования включают в единый пакет. Если и имеются более легкие конфигурации, то они предназначены лишь для очень ограниченного класса задач. Дополнительные партнерские приложения позволяют использовать систему или модели из нее в специфических областях, но не добавляют новых возможностей моделирования.

САПР среднего класса появился относительно недавно – в середине 90-х гг. До этого существовало только два полюса – на одном мощные системы, работающие на Unix (впрочем, тогда их было гораздо больше, чем сейчас), а на другом – простые программы двухмерного черчения для ПК. Но к 1995 г. вычислительная мощность ПК выросла, а Windows стала более стабильной и начала поддерживать многозадачность. Это позволило разработчикам создать системы автоматизированного проектирования, которые заняли промежуточное положение между тяжелым и легким классами. От первых они унаследовали возможности трехмерного твердотельного моделирования, а от вторых – невысокую цену и ориентацию на платформу Windows. Они произвели настоящий переворот в мире САПР, позволив многим конструкторским и проектным организациям перейти с двухмерного на трехмерное моделирование.

Лидерами этого сегмента являются системы *Solid Edge* (разработанная фирмой Intergraph, а теперь принадлежащая EDS), *Solid Works* одноименной компании (в настоящее время – подразделение Dassault Systemes), а также *Inventor* и *Mechanical Desktop* корпорации «Autodesk». Это далеко не полный перечень средних САПР. В данном сегменте работает множество компаний, предлагающих относительно недорогие системы стоимостью порядка 5–8 тыс. долл. за одно рабочее место. Их популярность среди пользователей постоянно растет, и благодаря этому данная область очень динамично развивается.

В результате по функциональным возможностям средний класс постепенно догоняет своих более дорогостоящих конкурентов. Однако далеко не всем пользователям требуется такое

разнообразии функций. Тем, кто в основном работает с двумерными чертежами, прекрасно подойдет система легкого класса, которая стоит в несколько раз дешевле.

Программы легкого класса служат для простого двумерного черчения, поэтому их обычно называют электронной чертежной доской. К настоящему времени легкие системы обрели некоторые трехмерные возможности, у них появились средства параметрического моделирования, имеющиеся в более мощных системах.

Первые системы двумерного моделирования появились еще в 70-х годах, когда были разработаны средства для изображения линий, окружностей и кривых на экране монитора с помощью макрокоманд и интерфейсов прикладного программирования.

Однако подлинный расцвет в этой области наступил лишь в 80-х, когда на сцену вышел персональный компьютер. События развивались быстро: в 1982 г. была основана компания «Autodesk», которая занялась разработкой САПР для ЭВМ под названием AutoCAD, а уже к 1987 г. было продано 100 тыс. копий AutoCAD (в прошлом году это число превысило четыре миллиона). В результате легкие системы стали самым распространенным продуктом автоматизации проектирования.

В свое время революционный переворот произвели первые САПР для ПК, а затем системы среднего класса. Сейчас рынок развивается эволюционно: с каждой новой версией функциональные возможности продуктов всех классов расширяются, производительность увеличивается, а использование упрощается, растет внимание к PDM-системам, позволяющим ускорить проектно-конструкторские работы и реализовать популярную концепцию CALS-технологий за счет внедрения технического документооборота и управления проектами. В связи с распространением Интернета появляются средства для взаимодействия проектировщиков через Всемирную сеть и онлайн-библиотеки типовых деталей.

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА В КИПС

3.1. Принципы построения гибких производственных систем

3.1.1. Основные направления автоматизации машиностроительного производства

Автоматизация крупносерийного и массового производства осуществляется на основе использования полуавтоматов, автоматов, а в дальнейшем автоматических линий.

Автоматом называют рабочую машину, которая при выполнении технологического процесса без человека производит все рабочие и вспомогательные ходы рабочего цикла и требует лишь контроля и наладки. Таким образом, конструктивным признаком автомата является наличие полного комплекта механизмов рабочих и вспомогательных ходов, осуществляющих все движения рабочего цикла и систему управления, координирующую их работу.

Полуавтоматом называют машину, работающую в автоматическом цикле, для повторения которого требуется вмешательство рабочего (загрузка заготовок и съем изделий или ориентирование и зажим заготовок).

С помощью автоматов и полуавтоматов удалось автоматизировать отдельные технологические операции, а для простых деталей – весь цикл механической обработки. При этом детали от станка к станку передавать вручную или при помощи простейших механизмов, что сдерживало темпы выпуска продукции и требовало больших затрат ручного труда. Применение разнообразных транспортирующих устройств, механизмов ориентирования и накопления деталей стало следующим шагом к созданию автоматических линий.

Автоматизация линии – это автоматически действующая система машин, расположенных в определенной последовательности и объединенных общими средствами транспортирования заготовок, управления, накопления заделов, удаления отходов, и выполняющая обработку заготовки определенной детали. Структурная схема автоматической линии показана на рис. 3.1.

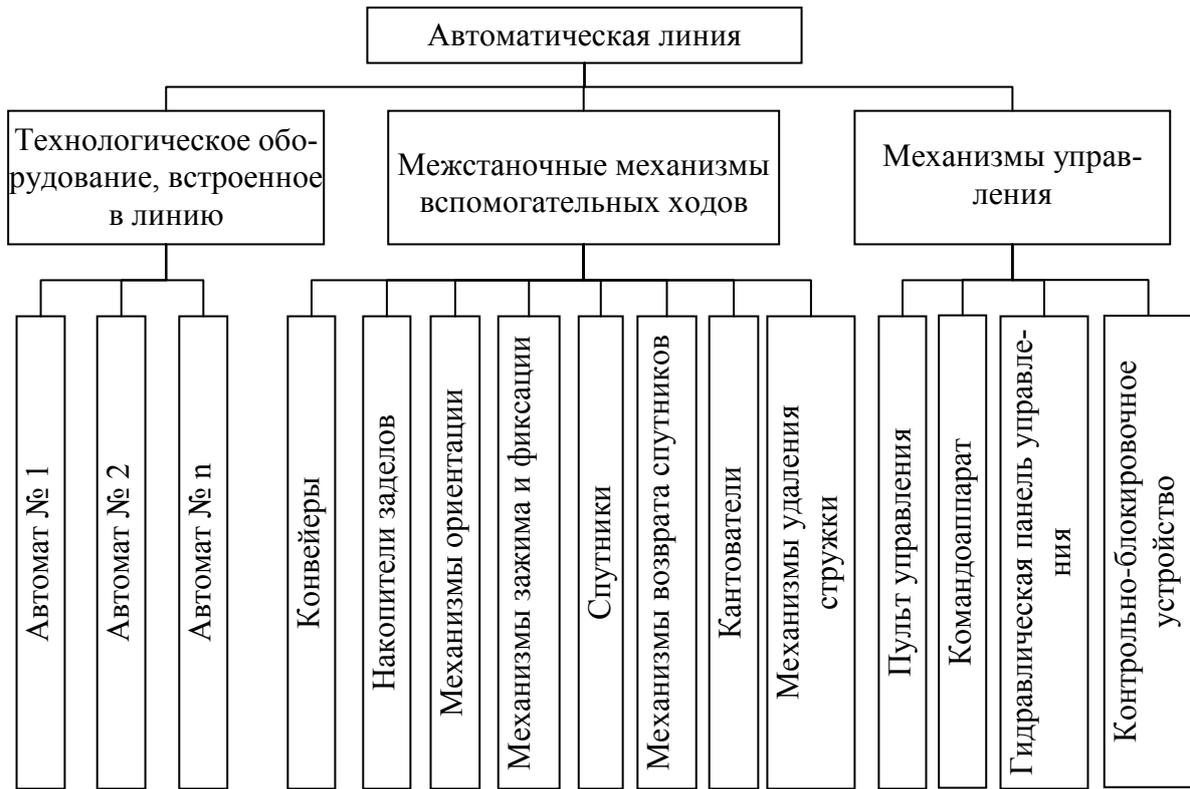


Рис. 3.1. Структурная схема автоматической линии

Исторически первыми развитыми системами управления были системы на механической основе, а программноносители выполнялись на физической, материальной основе. Автоматы, полуавтоматы, а особенно автоматические линии либо не перенастраивались на обработку других деталей, либо перенастраивались в узких пределах, а их перенастройка с подобными системами управления требовала больших временных и материальных затрат. Поэтому область применения подобных машин и автоматических линий – массовое и крупносерийное производство, где перенастройка либо не требуется, либо проводится чрезвычайно редко.

Основная же часть продукции машиностроительного производителя, относящаяся к единичному мелко- и среднесерийному типу производства, выполнялась на универсальном оборудовании с ручным управлением. Универсальное оборудование отличается высокой гибкостью и малой эффективностью.

Развитие систем управления станками привело к появлению числового программного управления (ЧПУ). На их основе созданы станки с ЧПУ, являющиеся станками-полуавтоматами и обла-

дающие большой гибкостью и возможностью быстро перенастраиваться на изготовление другой продукции. Однако для превращения их в машины-автоматы, обладающие большой гибкостью, потребовалось появление и развитие промышленных роботов (ПР).

Появление станка с ЧПУ в комплексе с ПР позволило автоматизировать технологическую операцию в единичном, мелко- и среднесерийном производстве.

Настоящую революцию произвели транспортные ПР, позволившие создать автоматическую систему машин – гибкую производственную систему, работающую по принципу гибко перенастраиваемой технологии. Отличительной особенностью ГПС по сравнению с автоматическими линиями для массового производства является их гибкость, т. е. возможность быстро автоматически перенастраиваться на изготовление новых деталей в пределах технологической возможности оборудования ГПС.

3.1.2. Основные понятия гибкого автоматизированного производства

Гибкое автоматизированное производство (ГАП) – принципиально новая концепция в машиностроении, ведущая к созданию автоматизированного завода будущего. Новое в концепции ГАП состоит в том, что ей свойственен централизованный способ организации производства, предусматривающий как можно более полную обработку деталей на одной рабочей машине. Новая концепция позволяет полностью интегрировать весь производственный цикл – от идеи до выпуска готовой продукции – путем автоматизации всего комплекса процессов производства и управления на базе ЭВМ и современных достижений в электронике и приборостроении. Переход с выпуска одного изделия на выпуск другого осуществляется без остановки технологического и любого другого оборудования (требуемая переналадка идет параллельно с выпуском предыдущего изделия).

Рассмотрим основные понятия ГАП [20].

Обобщенным понятием, распространенным на все организационные структуры и виды ГАП, является понятие гибкая производственная система (ГПС).

ГПС – это несколько единиц технологического оборудования, снабженного средствами и системами, обеспечивающими функционирование оборудования в автоматическом режиме; при этом ГПС должна обладать свойством автоматизированной переналадки при переходе на производство новых изделий в пределах заданной номенклатуры.

По организационным признакам ГПС подразделяют на следующие виды: гибкая автоматизированная линия (ГАЛ); гибкий автоматизированный участок (ГАУ); гибкий автоматизированный цех (ГАЦ); гибкий автоматизированный завод (ГАЗ).

ГАЛ и ГАУ состоят из гибких производственных модулей (ГПМ) или отдельных единиц технологического оборудования.

Под ГПМ понимается единица технологического оборудования, оснащенная системой ЧПУ или каким-либо другим устройством программного управления и функционирующая как самостоятельно, так и в составе ГПС; при этом все функции, связанные с изготовлением изделия, должны осуществляться автоматически.

В общем случае средства автоматизации ГПМ включают в себя: накопители заготовок, режущего и мерительного инструмента; технологической оснастки; приспособления-спутники; устройство загрузки-выгрузки обрабатываемых изделий; устройство замены технологической оснастки; устройство удаления отходов; устройство автоматизированного контроля; устройство диагностирования технического состояния оборудования и инструмента; системы автоматической переналадки; устройства обеспечения точности обработки; устройства стабилизации технологического процесса и др. Каждая конкретная ГПС оснащается только теми из указанных устройств, которые необходимы для ее работы. Структурная схема ГПМ представлена на рис. 3.2.

Совокупность единицы технологического оборудования, промышленных роботов (ПР) и средств оснащения, функционирующая автономно и осуществляющая многократные рабочие циклы, называется роботизированным технологическим комплексом (РТК). Характерной особенностью ГПМ является возможность их встраивания в ГАЛ или ГАУ.



Рис. 3.2. Структурная схема ГПМ

ГАЛ – это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК или другого технологического оборудования, объединенного автоматизированной системой управления (АСУ). Структурная схема ГАЛ представлена на рис. 3.3.

Особенностью ГАЛ является расположение технологического оборудования в соответствии с принятой последовательностью технологических операций. На ГАЛ в отличие от традиционных автоматических линий можно обрабатывать детали заранее неизвестных конструкций, которые по технологии обработки аналогичны ранее изготовлявшимся деталям; при этом обрабатываемые заготовки перемещаются в транспортной системе только по заранее определенным маршрутам. Гибкость производства в ГАЛ реализуется применением станков с ЧПУ, сменой (на станках) отдельных агрегатов, узлов и многошпиндельных головок.



Рис. 3.3. Структурная схема гибкой автоматизированной линии

Особенностью ГАЛ является расположение технологического оборудования в соответствии с принятой последовательностью технологических операций. На ГАЛ в отличие от традиционных автоматических линий можно обрабатывать детали заранее неизвестных конструкций, которые по технологии обработки аналогичны ранее изготовлявшимся деталям; при этом обрабатываемые заготовки перемещаются в транспортной системе только по заранее определенным маршрутам. Гибкость производства в ГАЛ реализуется применением станков с ЧПУ, сменой (на станках) отдельных агрегатов, узлов и многошпиндельных головок.

ГАУ – это ГПС, состоящая из ГПМ, РТК или другого технологического оборудования, объединенных АСУ, в которой в отличие от ГАЛ предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования, что обеспечивает оптимальную загрузку последнего и позволяет изготавливать детали в комплекте, необходимом для сборки изделия.

В состав ГАУ может входить автономно функционирующее технологическое оборудование, не связанное общей транспортной системой с остальным оборудованием; возможно также выполнение отдельных ручных операций, например, загрузки-разгрузки обрабатываемых деталей на приспособлениях-спутниках.

ГАЦ – это ГПС, представляющая собой совокупность ГАЛ и (или) ГАУ, предназначенных для изготовления изделий заданной номенклатуры. Структурная схема ГАУ представлена на рис. 3.4.

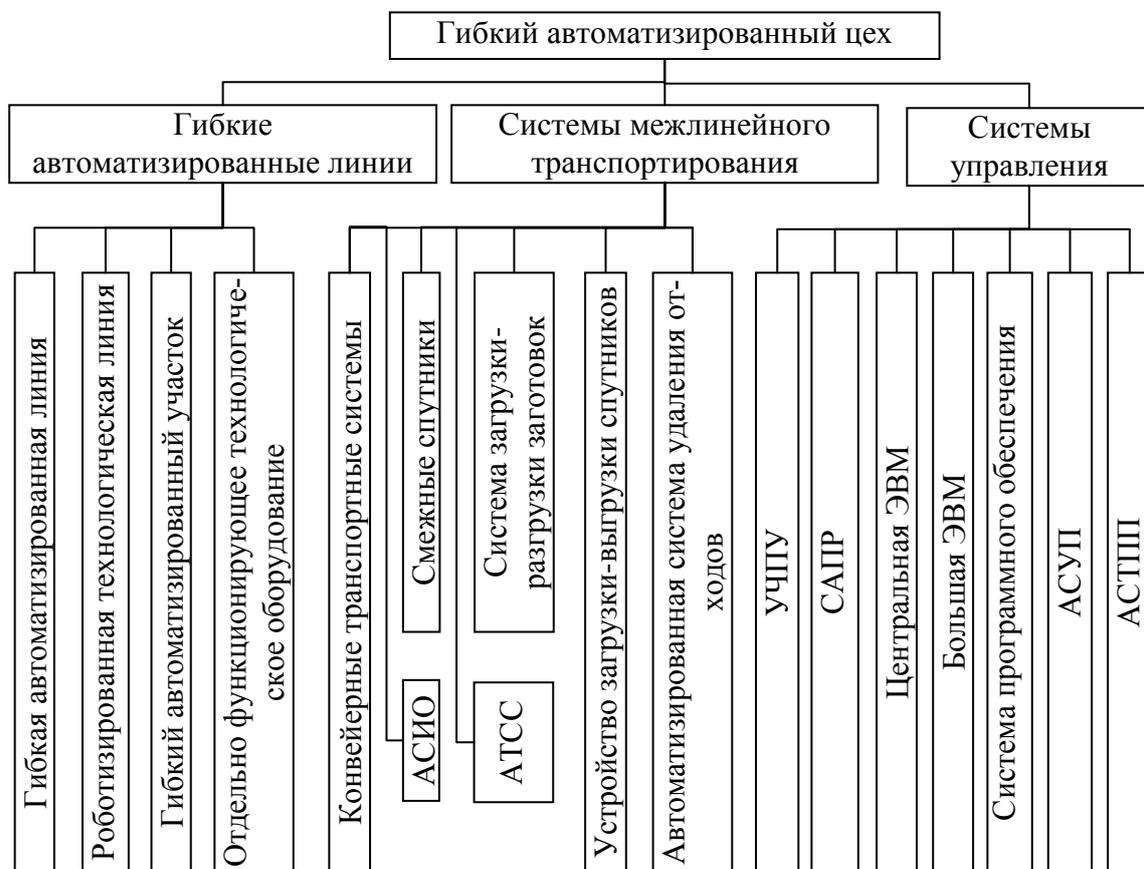


Рис. 3.4. Структурная схема гибкого автоматизированного цеха

ГАЗ представляет собой ГПС, состоящую из ГАЦ и обеспечивающую выпуск готовых изделий в соответствии с планом основного производства. В состав ГАЗ могут входить и неавтоматизированные участки и цехи.

3.1.3. Структура и виды обеспечения ГПС

Отличительной особенностью при проектировании ГПС является то, что важнейшая часть работ – определение состава и структуры ГПС и разработка алгоритма взаимодействия ее элементов – должна выполняться не конструктором, а технологом-организатором.

Состав, структура и функции ГПС определяются ее организационным уровнем (ГАЗ, ГАЦ, ГАУ, ГАЛ, ГПМ), степенью автоматизации и специализации технологических задач, типом изделий, серийностью их изготовления, частотой смены продукции и др. В значительной мере они зависят и от состава и структуры производственной системы, в которой создается ГПС. И наоборот, создание ГПС оказывает влияние и изменяет структуру и качественный состав производственной системы более высокого уровня, включающей ГПС.

На рис. 3.5 дана общая структурная схема ГПС.

Для реальной оценки условий и принятия правильных решений при создании ГПС необходимо определить и систематизировать состав решаемых задач (то есть определить функциональную структуру ГПС); выявить необходимый состав технических средств, программного и информационного обеспечения и коллективов специалистов, эксплуатирующих эти средства (то есть определить элементную структуру ГПС); обеспечить целесообразную организацию работы функциональных подсистем и отдельных элементов, накладывая их на существующую организационную структуру производства (то есть определить организационную структуру ГПС).

Для осуществления производственного процесса в ГПС на уровне цеха в общем случае необходимо решить следующие задачи:

- планирование, учет, диспетчирование и контроль хода производства;
- накопление заготовок, материалов, приспособлений, инструмента и транспортирование их к технологическому оборудованию;
- загрузка-разгрузка технологического оборудования;

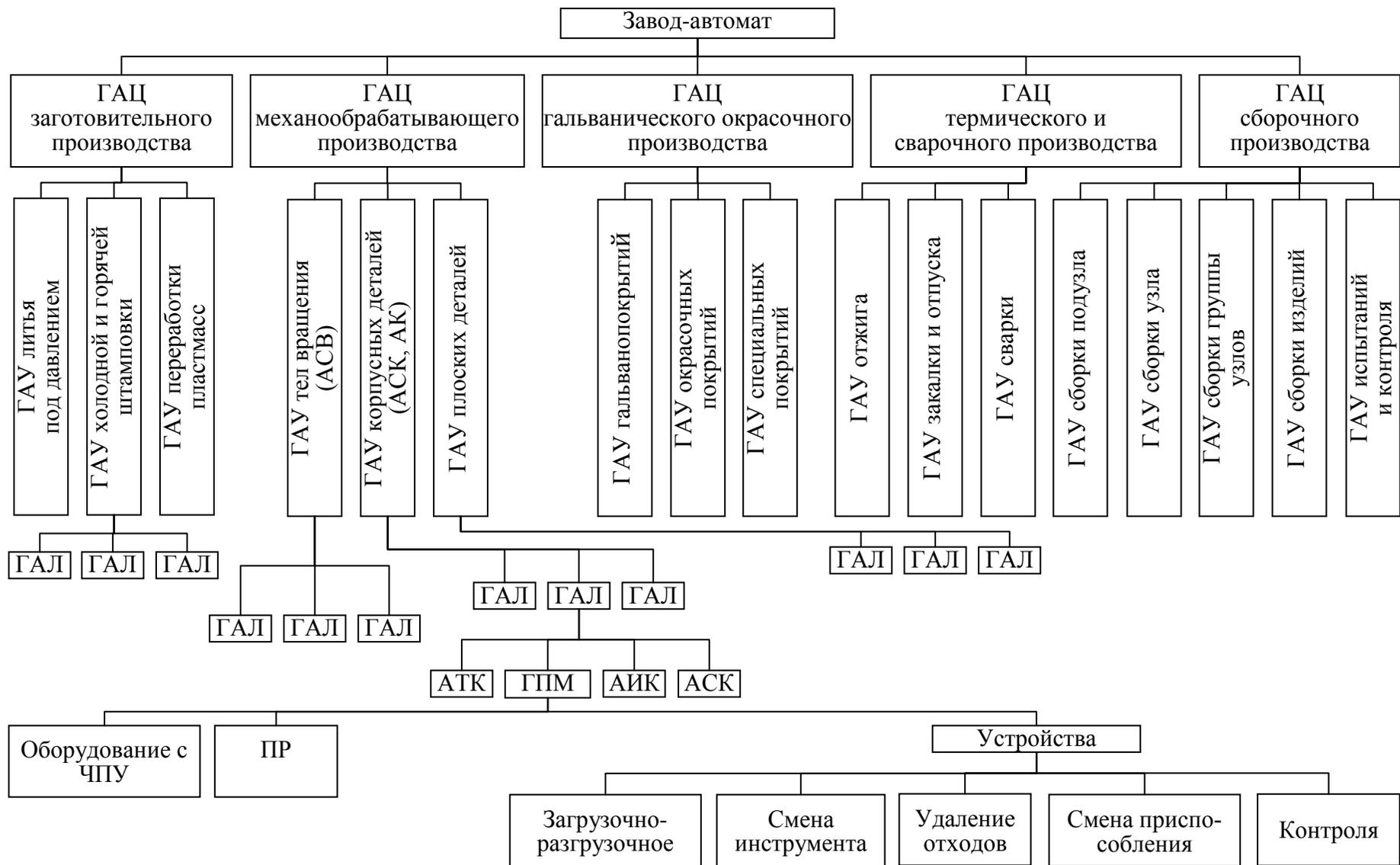


Рис. 3.5. Структура ГПС

- прием из подсистемы высшего уровня, хранение, редактирование и трансляция в устройства ЧПУ программ управления оборудованием;
- автоматическое управление всеми техническими средствами;
- диагностика работы технических средств с принятием соответствующих решений в управляющем вычислительном комплексе (УВК);
- контроль качества обработки деталей с введением коррекции в управляющую программу (УП), вывод информации на ЭВМ и печать;
- диагностика состояния режущего инструмента с введением коррекции в УП и обеспечением автоматической смены инструмента;
- доставка и подача вспомогательных материалов, в частности СОЖ, удаление отходов из зоны обработки и ГПС;
- комплектация, сборка и настройка оснастки и инструмента;
- техническое обслуживание и ремонт технических средств.

При определении функциональной структуры производится распределение задач по подсистемам. Смысл этой работы заключается в обеспечении системного подхода к их решению при разработке методов и процессов, создании информационного обеспечения, определении связей между элементами и организационными подсистемами ГПС. Разделение структуры ГПС на функциональные подсистемы и отнесение отдельных задач к той или иной подсистеме достаточно условно и зависит от выбора элементной и организационной структуры ГПС.

Функциональную структуру ГПС целесообразно разделить на следующие подсистемы [20]: «Организация и управление производством» («Управление»); «Обработка»; «Автоматизированная транспортно-складская система» (АТСС); «Технологическая подготовка производства» (ТПП); «Обеспечение оснасткой и инструментом» («Инструмент»); «Контроль»; «Удаление отходов производства» (УОП); «Обеспечение СОЖ» (СОЖ); «Техниче-

ское обслуживание и ремонт» (ТОР); «Хозяйственное обеспечение» (ХОБ).

Перечисленные подсистемы предназначены для выполнения следующих основных функций:

- «Управление» – для решения задач по организации и управлению ходом производства в ГПС, включая планирование, учет, диспетчирование, контроль хода производства, вопросы взаимодействия функциональных подсистем ГПС;

- «Обработка» – для автоматизации и механизации основных и вспомогательных переходов обработки деталей на станках от момента подачи детали к станку до отправки обработанной детали, а также выдачи различных сигналов и команд в другие подсистемы;

- «АТСС» – для учета и хранения заготовок, полуфабрикатов и инструмента в таре, приспособлений-спутников, пустой тары, паллет (станков), а также для автоматической доставки их по запросам или командам со склада на рабочие места и наоборот;

- «ТПП» – для автоматизации проектирования технологических процессов (ТП), инструментальных наладок и оснастки, расчета и редактирования управляющих программ технологического оборудования, формирование массивов информации для подсистемы «Управление»;

- «Инструмент» – для регламентированного обеспечения обработки инструментом и оснасткой (комплектация, сборка-разборка, настройка, паспортизация, сортировка, заточка, учет наработки и т. д.);

- «Контроль» – для обеспечения требуемого уровня качества деталей путем контроля параметров заготовок и деталей на всех стадиях их изготовления, контроля инструментов и приспособлений, диагностики состояния оборудования;

- «СОЖ» – для централизованного снабжения ГПС смазочно-охлаждающей жидкостью и моющим раствором требуемого состава и количества, а также смыва стружки из зоны резания;

- «УОП» – для сбора и удаления стружки от рабочих мест и с участков с разделением отходов по видам и маркам материала, а также их предварительной переработки;

- «ТОР» – для организации и проведения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта оборудования ГПС;

- «ХОБ» – для обеспечения ГПС вспомогательными материалами, уборки и ремонта помещений.

На рис. 3.6, 3.7 и 3.8 показаны примеры функциональной структуры ГПС на уровнях модуля, участка и цеха, раскрывающие разнообразие связей между подсистемами.

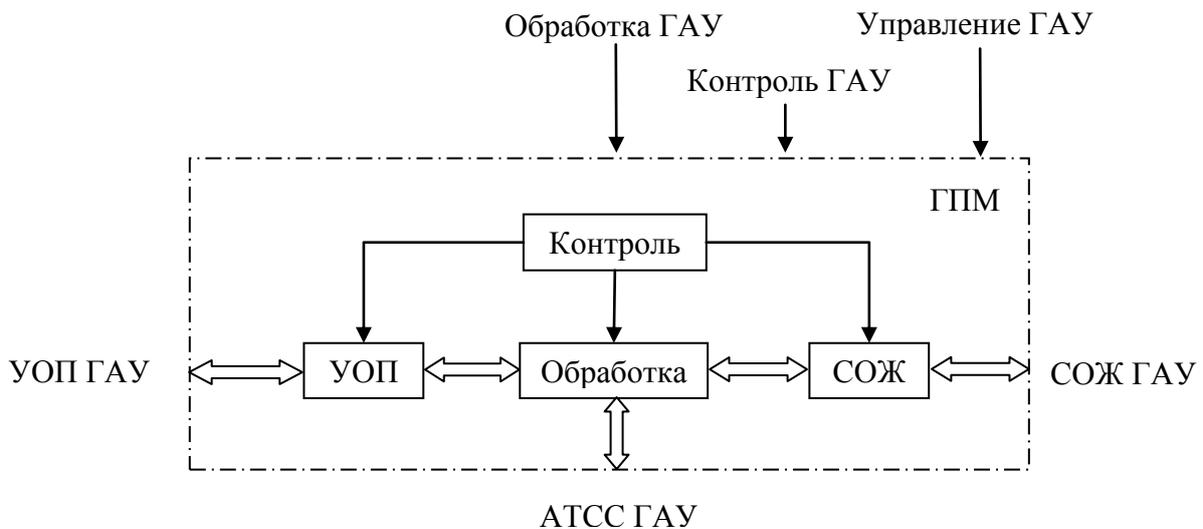


Рис. 3.6. Функциональная структура ГПМ:
 ↔ – основные материальные потоки;
 ← – основные каналы связи

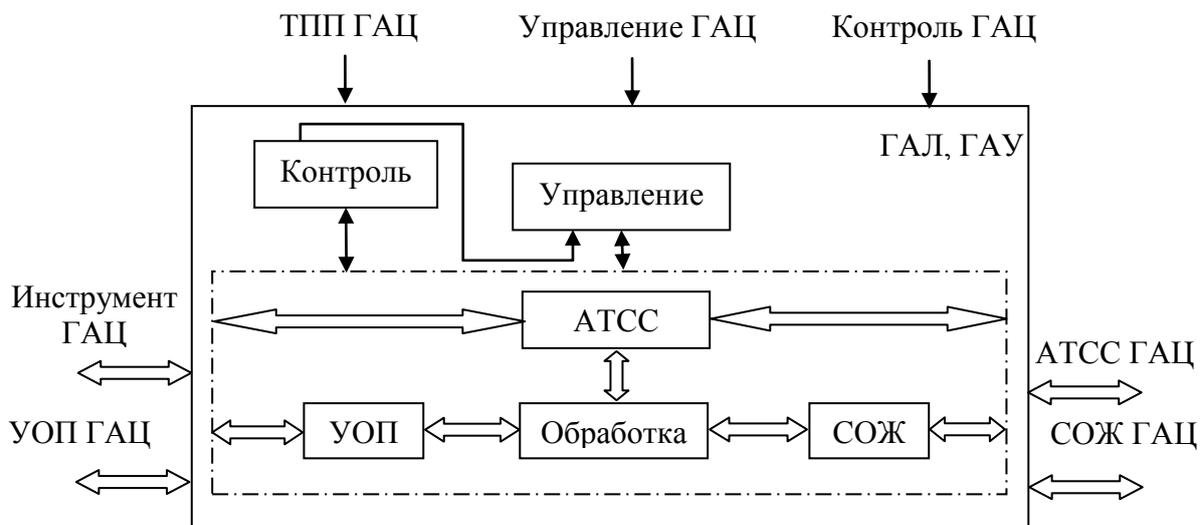


Рис. 3.7. Функциональная структура ГАУ

состоит из станка и различных дополнительных устройств – контроля, автоматической загрузки, удаления отходов и т. д.).

Разработка элементной структуры ГПС заключается в комплектовании элементов, определении взаимосвязей, структур и массивов ПО. Элементную структуру ГПС можно представить детально, расчленив каждое техническое устройство на отдельные элементы – систему управления (СУ), ПО, исполнительные механизмы, электрический привод и т. д. Окончательно элементная структура ГПС выявляется после конструкторской проработки на стадии технического проекта. Пример элементной структуры ГАУ приведен на рис. 3.9.

Определение функциональной и элементной структур ГПС дает основание для разработки ее организационной структуры. С точки зрения организационной структуры ГПС состоит из производственных подразделений и служб, реализующих функциональное назначение ГПС и ее подсистем.

Организационные подсистемы могут содержать несколько функциональных подсистем, совпадать по назначению с функциональной подсистемой или реализовать только часть ее. Так, например, организационная структура ГАЦ (рис. 3.10) кроме ГАУ может содержать ряд обеспечивающих подразделений: группу расчета и отладки УП, инструментально-раздаточную кладовую, группу сборки и измерений инструмента, приспособлений и др.

Определение функциональной, элементной и организационной структур является важнейшей задачей проектирования ГПС и предопределяет дальнейший ход и состав работ.

3.1.4. Примеры ГПС

Составная часть ГПС – РТК. Они состоят, как правило, из станков с автоматической сменой инструмента, автоматизированных транспортных систем подачи (промышленных роботов) заготовок на станки, удаления изготовленных деталей со станка на склад, а также подачи инструмента со склада на станок и возвращения обратно. Все управление осуществляется от центральной ЭВМ. При этом станок легко переналаживается на выпуск новой продукции.

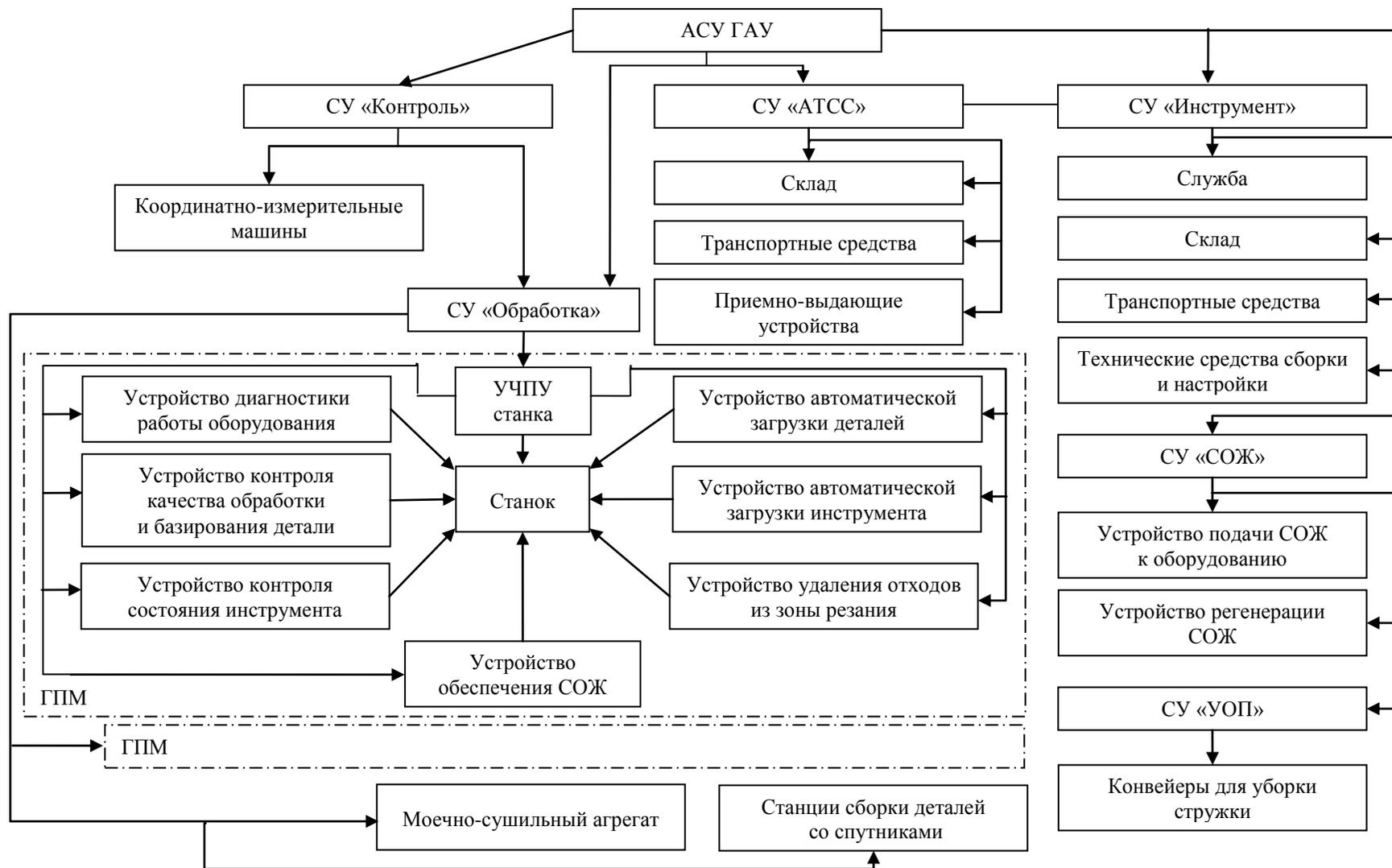


Рис. 3.9. Элементная структура ГАУ

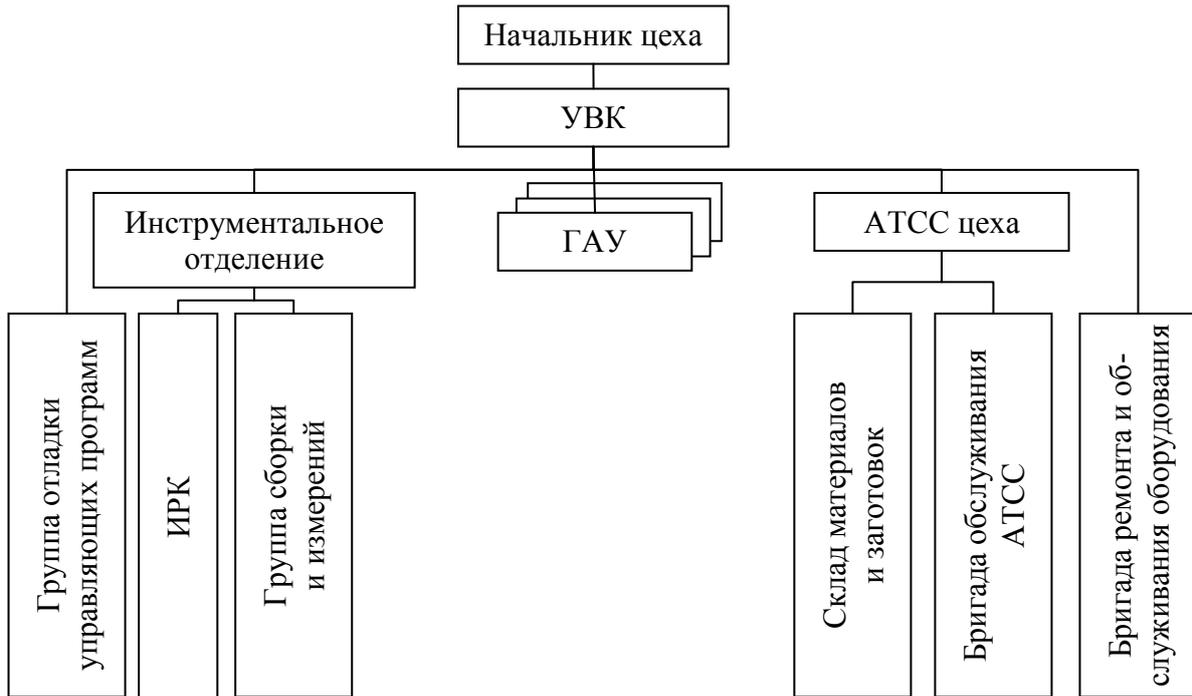


Рис. 3.10. Организационная структура ГАЦ

Для перевода станка на изготовление детали похожей конструкции, но других конфигураций и размеров надо лишь заменить программу обработки.

Отпадает необходимость в переналадке станка, замене режущего инструмента и приспособлений и многих других операциях, неизбежных в обычном производстве. Важно и то, что контроль размеров заготовки осуществляется не после обработки, а непосредственно в ходе самого процесса. Специальное устройство сигнализирует об отклонениях размеров и тем самым исключает возможность изготовления бракованных деталей. Имеется также устройство, контролирующее состояние режущих инструментов в процессе обработки; затупленный инструмент автоматически заменяется.

При проектировании РТК на базе токарных станков с ЧПУ для обработки заготовок типа тел вращения транспортирование деталей обычно производится без спутников. При этом упрощается складирование заготовок и деталей, требуется меньшая производственная площадь.

На рис. 3.11 показан роботизированный технологический комплекс 1720ПФ30. Он предназначен для токарной обработки

заготовок – деталей с прямолинейными и криволинейными профилями, включая нарезание резьбы.

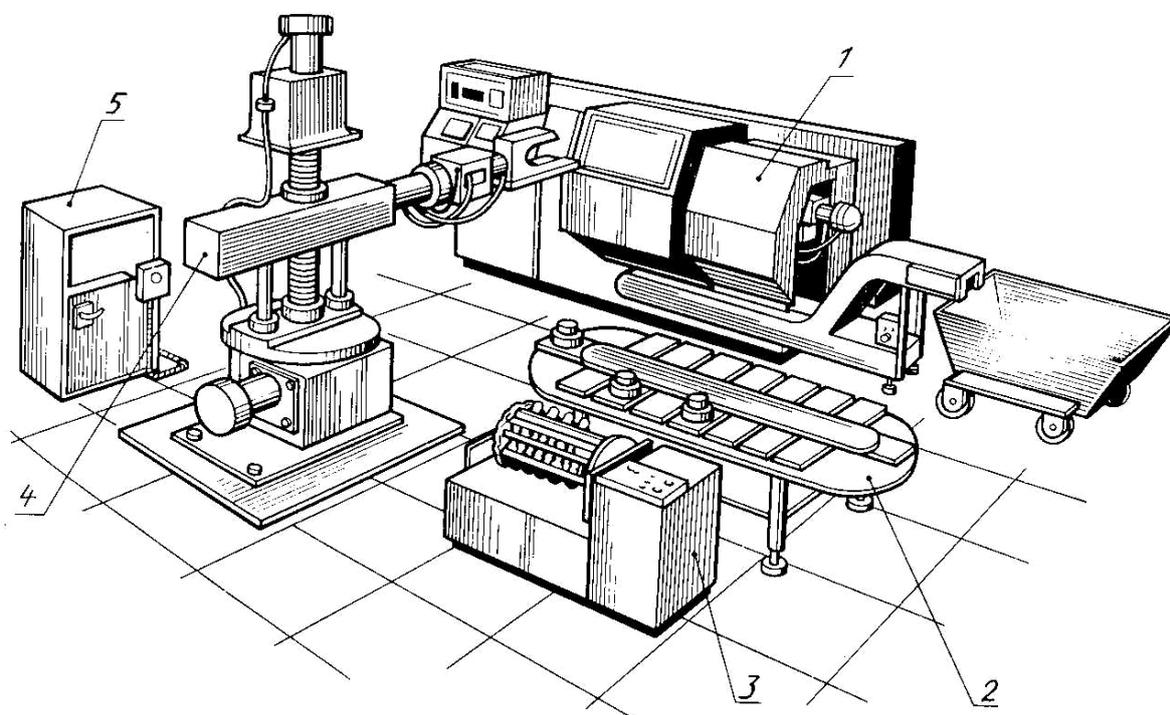


Рис. 3.11. Роботизированный технологический комплекс 1720ПФ30

Комплекс состоит из токарного патронно-центрового полуавтомата 1, промышленного робота 4, пластинчатого тактового восьмипозиционного стола 2, работающего в шаговом или непрерывном цикле. В автоматическом режиме стол управляется от системы ЧПУ робота. На каждую позицию стола можно установить несколько заготовок. Имеются также система управления 5 и устройство 3 для выполнения вспомогательных операций.

При включении станка в работу робот захватывает из гнезда стола-накопителя 2 заготовку и переносит ее в патрон шпинделя станка 1. После зажима заготовки кулачками патрона и отвода захвата робота в позицию ожидания выполняется обработка заготовки по числовой программе. После завершения обработки включается в работу робот 4, его захват вводится в зону обработки, схват берет заготовку, разжимается патрон, заготовка выводится из патрона, транспортируется к накопителю и устанавливается в свободное гнездо стола 2. Схват разжимается, рабочий ор-

ган робота отводится в позицию ожидания, а накопитель перемещается на шаг. Затем цикл повторяется.

В промышленности применяют также РТК, выполненные на базе зубообрабатывающих станков со специализированным роботом-автоматом и накопителем заготовок. На рис. 3.12 показан гибкий зубообрабатывающий РТК для нарезания зубчатых колес. Он обеспечивает автоматическую переналадку с изготовления зубчатых колес одного наименования на изготовление зубчатых колес другого наименования с автоматической сменой инструмента, заготовки и приспособлений.

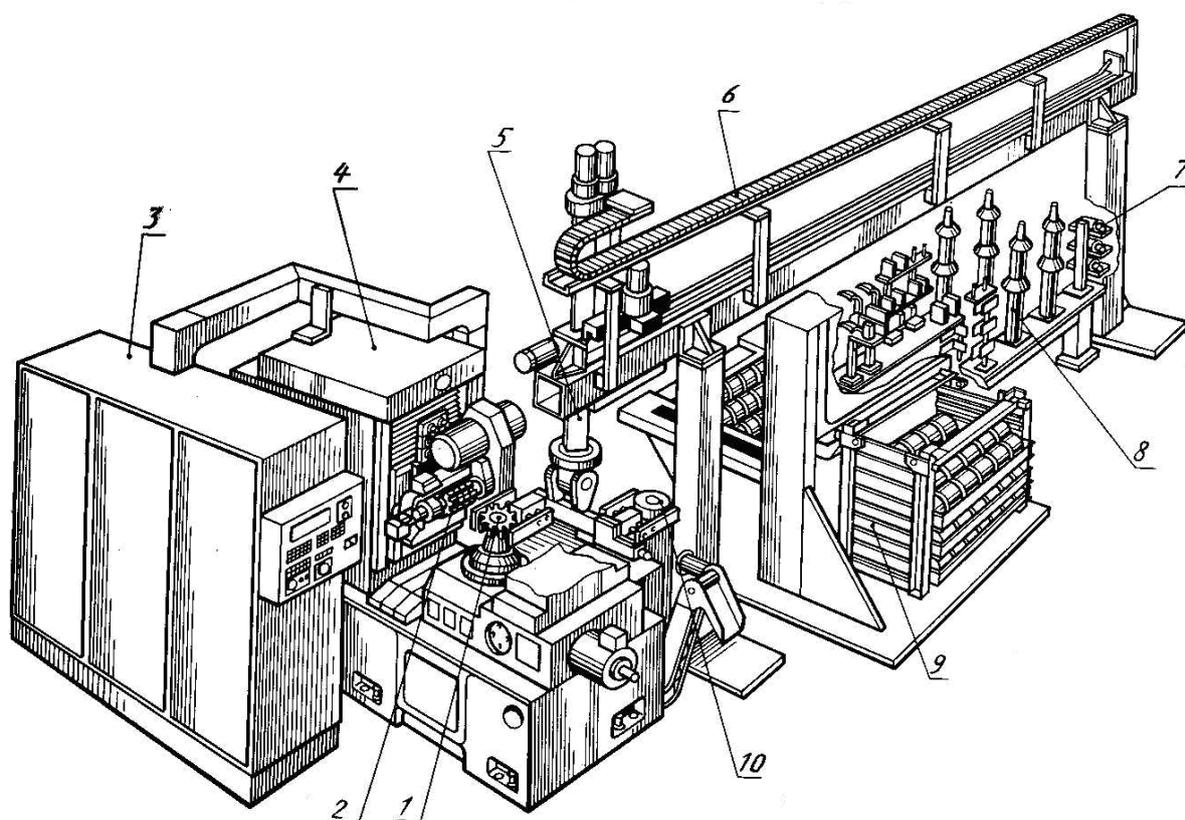


Рис. 3.12. Гибкий зубообрабатывающий РТК

В состав РТК входит зубофрезерный станок 4 с ЧПУ, полностью управляемый от ЭВМ 3, порталный загрузочно-разгрузочный механизм 6 и робот 5, который снимает нарезанную фрезой 2 деталь 1 и устанавливает заготовку 10. Загрузочный механизм 6 транспортирует инструмент из магазина 7, приспособления из магазина 8 и заготовки из магазина 9. Объем партии обрабатываемых заготовок 1–20 шт. Такой РТК позволяет

сократить вспомогательное время с 90 до 5 мин. РТК может работать три смены без обслуживания оператором. Несколько РТК, объединенных транспортно-складской системой и автоматизированной системой управления, образуют гибкую автоматизированную линию или гибкий автоматизированный участок. На основе таких линий работают автоматизированные цехи.

На рис. 3.13 показана гибкая автоматизированная линия «Талка-500», предназначенная для комплексной обработки заготовок корпусных деталей с максимальными размерами 500×500×500 мм в условиях мелкосерийного производства. Она состоит из четырех агрегатов 5 «Модуль 500», автоматизированной транспортной системы 6, автоматизированного склада 3, отделений 2 и 4 подготовки приспособлений-спутников и инструментальных комплектов, центра 1 автоматизированной технологической подготовки и управляюще-вычислительного комплекса 7. Агрегат «Модуль 500» представляет собой автономную ячейку. Он создан на базе многоцелевого станка ИР500МФ4, но отличается от последнего наличием восьмиместного линейного накопителя деталей, установленных в приспособлениях-спутниках, и устройством автоматической смены приспособлений-спутников.

Агрегат выполняет сверление, зенкерование, развертывание и растачивание отверстий, фрезерование плоскостей и сложных контуров с линейной и круговой интерполяцией, нарезание резьб метчиками и резцами. Накопитель деталей позволяет легко встраивать агрегат в гибкую автоматизированную линию и работать по принципу безлюдной технологии в течение одной смены.

Транспортная система линии состоит из тележки-манипулятора, станций загрузки-разгрузки приспособлений-спутников и комплектов инструментов. Тележка-манипулятор грузоподъемностью 1,5 т перемещается по рельсовому пути со скоростью 40 м/мин. Она перевозит заготовки, установленные на двух приспособлениях-спутниках, от станции загрузки до многоместного накопителя агрегата, комплекты инструментов от станции загрузки до накопителя-агрегата, а также детали от накопителя до станции загрузки или разгрузки, использованные комплекты инструментов на станции разгрузки и пустые приспособления-спутники со станции разгрузки на станцию загрузки. Время смены приспособления спутника 45 с. Управление транспор-

тирующей системой выполняется с помощью программируемого командоаппарата.

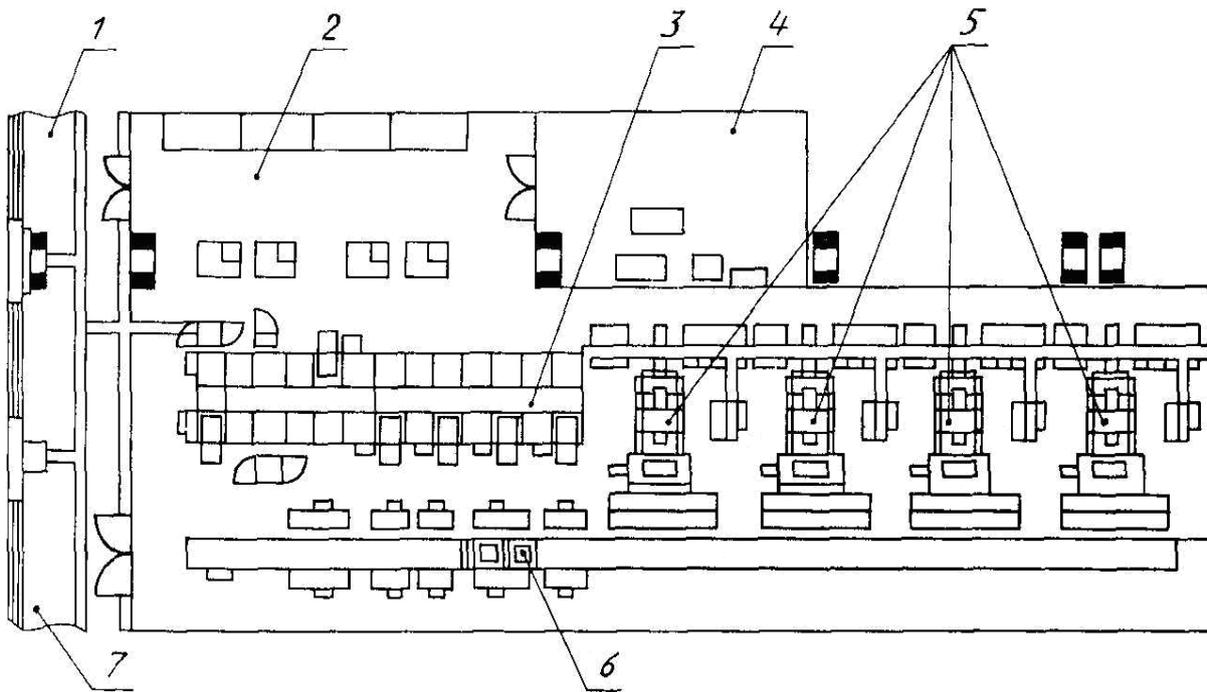


Рис. 3.13. Гибкая автоматизированная линия

Автоматизированный склад имеет 182 ячейки, которые обслуживает кран-штабелер грузоподъемностью 5 т. Скорость перемещения крана-штабелера 75 и 15 м/мин соответственно по горизонтали и вертикали.

Отделение подготовки приспособлений-спутников по заданию управляюще-вычислительного комплекса налаживает приспособление-спутник к определенному времени. Собранные приспособления-спутники направляются на автоматизированный склад.

Отделение подготовки комплектов инструментов также по заданию управляюще-вычислительного комплекса готовит к определенному сроку комплекты инструментов на деталиеоперацию. Система сборно-разборного инструмента позволяет подготовить инструмент для обработки практически любой заготовки.

Центр автоматизированной технологической подготовки управляющих программ включает в себя малую ЭВМ с математическим обеспечением. С помощью этой ЭВМ подготавливают-

ся управляющие программы для всего оборудования с ЧПУ на предприятии. В системе управления используется геометрический технологический язык. Программа вводится в память управляюще-вычислительного комплекса и может быть транслирована в систему типа CNC агрегата к определенному времени.

Применение системы «Талка-500» позволяет в несколько раз снизить численность рабочих и повысить производительность труда более чем на 50 %.

ГПС со складами-накопителями спутников с заготовками и спутников с магазинами инструментов позволяют реализовать гибко перестраиваемую технологию обработки при широкой номенклатуре деталей. При разветвленной системе диагностики неисправностей и качества обработки решаются также задачи безлюдной технологии, поскольку за оператором сохраняются лишь функции наблюдения за работой оборудования.

На рис. 3.14 представлена схема гибкой производственной системы со складами-накопителями спутников с заготовками и инструментами для индивидуальной подачи на станки. ГПС предназначена для комплексной механической обработки корпусных заготовок 70 наименований размерами 250×250×250 мм. ГПС включает восемь станков, в том числе четыре многоцелевых пятикоординатных станка 3 с ЧПУ 4 и один пятикоординатный станок с ЧПУ 5 для глубокого сверления.

Подача заготовок на станки ГПС выполняется автоматически из стеллажа-накопителя спутников 13 посредством штабелера 7 автоматизированной транспортно-складской системы и загрузчиков 8 при станках ГПС. Штабелер 12 осуществляет подачу деталей на спутниках из стеллажа-накопителя спутников на позицию разгрузки 10 и на позиции контроля 9.

Подача инструмента в магазины станков из стационарного склада 1 и вывод из спутников инструмента, сломанного или ненужного для заданной программы обработки, выполняются автоматически роботами-автооператорами 2 системы инструментального обеспечения. В результате время перехода на обработку заготовок различных наименований составляет около 25 с.

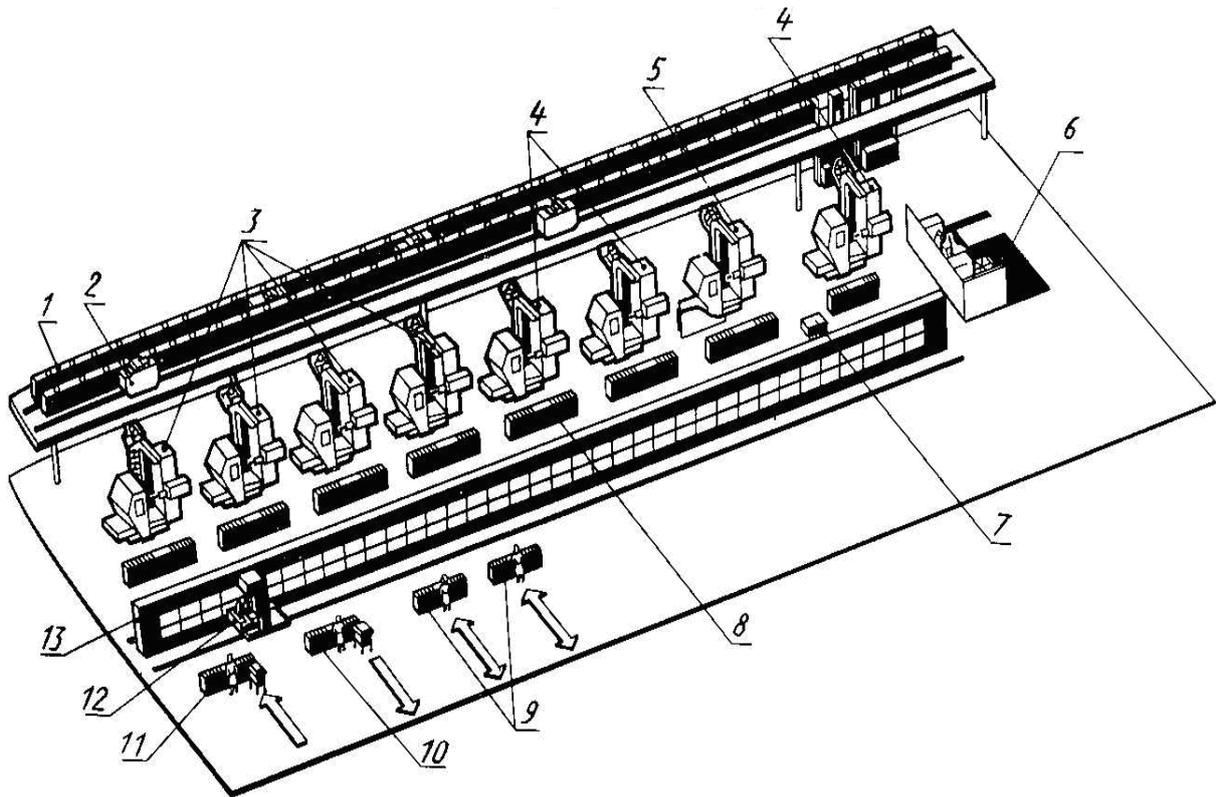


Рис. 3.14. Гибкая автоматизированная система АЛП-3-2

Работой станков ГПС, системой инструментального обеспечения и автоматизированной транспортно-складской системой управляет вычислительный комплекс, расположенный в отдельном помещении. Комплекс укомплектован отделением наладки инструмента *б* вне станков и измерительными машинами для контроля обработанных деталей.

В состав рассматриваемой ГПС также входит автоматизированный склад заготовок с накопителем и отделением комплектации заготовок. Автоматизация всех работ, связанных с механической обработкой корпусных заготовок в мелко- и среднесерийном производстве, достигает уровня автоматизации массового производства на традиционных автоматических линиях. Применение ГПС позволяет: снизить себестоимость выпускаемой продукции в 3–5 раз; повысить качество деталей; высвободить до 90 высококвалифицированных рабочих-станочников; повысить в 2–3 раза коэффициент использования оборудования с ЧПУ; сократить производственный цикл механической обработки в 3–8 раз.

3.1.5. Основные технико-экономические характеристики ГПС

К основным технико-экономическим характеристикам ГПС относят: степень автоматизации, степень гибкости, уровень интеграции, производительность и надежность, компактность, точность обработки и др. Рассмотрим некоторые из них подробнее.

Степень автоматизации. Варианты построения ГПС определяются количеством автоматически реализуемых функций. Насчитывается пятнадцать функций ГПС механообработки – управление последовательностью работ оборудования, оперативное планирование, разработка УП для станков с ЧПУ, диагностика, управление транспортом, загрузка-выгрузка деталей и т. д. Число возможных сочетаний и, следовательно, количество вариантов степени автоматизации ГПС достигает нескольких тысяч, что затрудняет обоснованный выбор степени автоматизации и его технико-экономическое обоснование.

Чаще применяется другой подход, основанный на определении размера – системы. Обычно выделяют следующие варианты: отдельные станки с ЧПУ, автоматизированные модули с различным комплексом технических средств, ГПС.

Степень гибкости. Гибкость производственных систем является комплексным понятием и определяет способность системы к переналадке при изменении программы по объему и (или) номенклатуре.

При создании ГПС предусматривают только экономически оправданную степень гибкости, которая характеризуется глубиной, временем и стоимостью переналадки.

Глубину переналадки несложно оценить при изменении объема выпуска в процентах по отношению к текущему объему производства. Для ряда характеристик детали (размеры, их соотношение, точность, шероховатость) в этом случае можно найти количественные оценки глубины переналадки при изменении номенклатуры. Для других характеристик (форма, термообработка и пр.) необходимо разработать качественные оценки.

Время переналадки в общем случае определяется суммой всех временных затрат на различных стадиях проектирования

и изготовления изделий. Для конкретной операции это подготовительно-заключительное время. Структура $T_{п.з}$ для ГПС меняется:

$$T_{п.з} = T_{ор} + T_{тр} + T_{озн} + T_{подг} + T_{прог} + T_{нал} + T_{д} + T_{ус}, \quad (3.1)$$

где временные составляющие соответственно: $T_{ор}$ – ориентирование деталей; $T_{тр}$ – транспортирование деталей на модуль; $T_{озн}$ – ознакомление с технической документацией; $T_{подг}$ – подготовка инструмента, приспособлений, сменных станков; $T_{прог}$ – перепрограммирование станка, робота; $T_{нал}$ – наладка модуля; $T_{д}$ – обработка пробной детали; $T_{ус}$ – установка и снятие сменного технологического оснащения.

Основной прием сокращения $T_{п.з}$ – параллельное проведение ряда работ. Тогда минимально возможное время переналадки состоит из $T_{нал} + T_{д}$. Использование того или иного варианта запараллеливания работ предъявляет требования к станочному модулю и системе управления. Например, совмещение $T_{тр}$ со временем обработки возможно при наличии накопителя и вызова транспортного средства до окончания обработки предшествующей партии.

В настоящее время наиболее часто применяется вариант, при котором $T_{ор}$, $T_{тр}$, $T_{озн}$, $T_{подг}$ совмещены, а $T_{ус}$ и $T_{прог}$ не совмещены с обработкой предшествующей партии деталей.

Для обеспечения гибкости необходим запас производственной мощности, который можно разделить на внутренний и внешний ресурс. Внутренние ресурсы (резервы по мощности оборудования; сверхурочные работы, изменение режимов обработки, изменение партии деталей) обеспечивают оперативную переналадку, но при меньшей глубине.

Точность обработки. Известные технологические приемы: многопроходная обработка, стабилизация свойств заготовок, выбор соответствующих режимов резания и т. п. – в условиях ГПС

оказываются эффективными при требованиях по точности на уровне квалитетов $h8 \div h9$. При ужесточении этих требований существенно возрастает роль составляющих погрешностей обработки, обусловленных ошибками начальной настройки инструмента, тепловыми деформациями системы СПИД, ошибками базирования инструмента при автоматической смене, погрешностью позиционирования и некоторыми другими факторами, действие которых не может быть скомпенсировано отмеченными выше приемами.

Поэтому при точной обработке необходимо корректировать положение инструмента по результатам измерений геометрических параметров обрабатываемой детали и инструмента.

Наиболее распространенная схема измерений – на станке вне процесса резания. Используемые датчики размера детали и инструмента регистрируют либо отклонение действительного положения поверхности от запрограммированного (датчик отклонения), либо разность координат условной базы и измеряемой поверхности (датчик касания).

Для повышения точности обработки используют и обычные методы, основанные на снижении элементарных составляющих погрешностей [20].

Применение макропроцессоров в СЧПУ позволяет реализовать функции управления приводами подачи станка программными средствами и компенсировать погрешности с помощью постоянно действующих программ коррекции.

3.2. Технологические основы создания ГПС

3.2.1. Принципы классификации и группирования деталей в условиях ГПС

Выбор состава металлорежущего оборудования ГПС в основном обусловлен конструктивно-технологическими особенностями группы деталей, обрабатываемых на этой ГПС. Практически все детали можно разбить на следующие классы:

1. Детали типа валов с соотношением геометрических размеров $L > 2D$ (валы, оси, пальцы и т. д.), где L – длина детали, D – диаметр детали.

2. Детали типа дисков с соотношением $L \leq 2D$ (фланцы, диски, кольца, шестерни и т. д.).

3. Корпусные детали коробчатой формы с соотношением геометрических параметров $L \geq B \leq H$, где B – ширина детали, H – высота детали (корпуса механизмов, опоры, рамы, коробки и т. д.).

4. Плоские детали с соотношением $L > B > H$ (плиты, крышки, планки и т. п.).

5. Детали типа рычагов, вилок, шатунов, кулис и т. п.

После классификации деталей необходимо провести группирование деталей для выявления групп изделий, обладающих общностью конструктивно-технологических признаков для совместной обработки на ГПС.

Детали, объединяемые в одну группу, должны обеспечивать:

- а) конструктивно-технологическую общность:
 - габаритов деталей;
 - геометрической формы поверхностей, подлежащих обработке;
 - точности и шероховатости обрабатываемых поверхностей;
 - материала обрабатываемых заготовок;
 - методов получения заготовок;
- б) возможность комплексно-механической обработки группы деталей на конкретной ГПС или на одном участке (в цехе);
- в) возможность максимальной концентрации операций;
- г) возможность выполнения технологически сходных операций на одном оборудовании одной модели;
- д) возможность совместной обработки по общности приспособлений и типоразмерам инструмента;
- е) аналогичность базовых поверхностей;
- ж) экономическая целесообразность групповой обработки деталей в условиях ГПС.

3.2.2. Требования к технологичности конструкций деталей

Основной задачей при анализе технологичности конструкции обрабатываемых деталей является снижение их металлоемкости и трудоемкости изготовления, возможность перевода деталей на обработку по «безлюдной» технологии при минимальной себестоимости изготовления и без ущерба их служебного назначения.

1. Конструкция детали должна учитывать особенности ее обработки на ГПС, в том числе:

а) возможность полной обработки детали с минимальным числом перестановок и максимальной концентрацией операций обработки детали с нескольких сторон на одном станке за одну установку;

б) особенности механической обработки на станке с ЧПУ с максимально возможной номенклатурой режущих инструментов и приспособлений при групповой обработке всей номенклатуры деталей, входящих в группу, обрабатываемую на одной ГПС;

в) особенности программирования станков с ЧПУ.

2. Требования, учитывающие особенности программирования:

а) размеры до обрабатываемых поверхностей и координаты отверстий следует задавать от технологических баз;

б) для обрабатываемых поверхностей сложного профиля следует указывать координаты опорных точек дуг окружности;

в) криволинейные контуры не должны иметь резких или острых переходов от одного участка профиля к другому. Радиусы переходов по всему контуру детали должны быть одного размера;

г) в сложных деталях со многими обрабатываемыми поверхностями рекомендуется обрабатываемые поверхности, а также стороны обработки нумеровать на проекциях и сечениях.

3. Основные рекомендации по повышению технологичности корпусных и плоских деталей.

Конфигурация, размеры и взаимное расположение поверхностей детали должны обеспечивать: возможность базирования на приспособлениях-спутниках и обработки всех или большинства поверхностей с поворотом вокруг одной-двух осей без изме-

нения положения детали в приспособлении и положения приспособления на станке; достаточную жесткость при закреплении.

Для минимизации номенклатуры потребных режущих инструментов и технологической оснастки рекомендуется максимально унифицировать формы, размеры одноименных поверхностей (плоскостей, отверстий) и требования по точности и качеству их обработки не только в одном наименовании детали, но и в пределах всей группы в частности; следует унифицировать (в одной детали и в группе деталей) номенклатуру отверстий особенно высокоточных и крепежных (резьбовых под цилиндрический и конический штифты и пальцы и т. п.), требующих для обработки нескольких инструментов, согласовывать с ними диаметры обрабатываемых свободных отверстий.

Дополнительные требования к деталям, имеющим отверстия:

- не допускается пересечение отверстий, имеющих выход на литейные скосы и переходы во избежание поломок инструментов;
- не допускается односторонний, несимметричный выход инструмента на наклонные поверхности и радиусные приливы;
- рекомендуется обработка растачиваемых и резьбовых отверстий на проход, глубина обработки должна, как правило, соответствовать возможностям стандартного инструмента;
- в глухих высокоточных отверстиях необходимо указывать глубину посадки;
- глубину глухих резьбовых отверстий следует назначать с учетом длины нарезаемой резьбы, длины заборной части метчика и величины нестабильности осевого положения метчика после его останова;
- основные, особенно высокоточные отверстия, рекомендуется располагать на внешних стенках;
- величина углов расположения осей обрабатываемых отверстий к торцовой плоскости должна быть кратной дискретности задания угла поворота стола станка;
- не допускается наличие обратных цековок на внутренних станках.

Дополнительные требования к деталям с плавкими поверхностями:

- обрабатываемые поверхности должны иметь правильную геометрическую форму без наклонных поверхностей, с максимально допустимыми радиусами переходов;
- рекомендуется обеспечить занижение на 5–6 мм внутренних необрабатываемых поверхностей, ребер-перегородок в деталях по отношению к торцовым обрабатываемым поверхностям;
- в деталях, наружные поверхности которых обрабатываются и сопрягаются с аналогичными поверхностями других деталей (плиты, крышки и т. п.), следует предусматривать выступающие над наружными поверхностями платики шириной до 10 мм и высотой 3–5 мм по всему сопрягаемому контуру;
- приливы типов платиков, бобышек, буртов целесообразно располагать так, чтобы поверхность разъема формы проходила по приливам или поверхностям, к которым они подлиты;
- на наружных стенках вместо выступов в виде бобышек и приливов рекомендуется выполнять цековки.

4) Основные рекомендации по повышению технологичности деталей типа тел вращения.

В конструкциях, размерах и взаимном расположении поверхностей деталей типа тел вращения рекомендуется в условиях ГПС:

- максимально унифицировать конструктивные элементы деталей (фаски, шпоночные и поперечные канавки, отверстия, шлицы и т. п.);
- исключать резьбовые поверхности в центровых отверстиях валов;
- исключать диаметры больших фланцев или буртов;
- обеспечивать возможность ориентирования заготовки в каждой исходной позиции для ее захвата и удержания роботом.

3.2.3. Особенности проектирования ТП в условиях ГПС

Базирование заготовок. В условиях ГПС при проектировании технологического маршрута обработки требуется тщательная проработка вопроса базирования.

Концентрация операций на станках с ЧПУ позволяет значительно уменьшить суммарную погрешность базирования. Однако при этом к базированию предъявляется ряд специфических требований, определяемых условиями обработки. В зависимости от конструкции детали, способа получения заготовки, структуры операций базовыми поверхностями могут быть обработанные или необработанные поверхности.

В корпусных деталях с обработанными базовыми поверхностями за технологические базы могут быть приняты, как правило, три плоскости или плоскость и два отверстия.

Базирование заготовок по трем плоскостям является наиболее простым и надежным, обеспечивающим высокую точность.

Базирование по плоскости и двум отверстиям характеризуется меньшей точностью и рекомендуется при невысоких требованиях к точности обработки и невозможности обработки с одной установки при базировании по трем плоскостям. Точность базовых отверстий заготовок должна быть не грубее 7 качества.

Для деталей типа дисков за технологические базы может быть принято обработанное или необработанное центральное отверстие. Для жестких валов массой до 100 кг за технологические базы принимают обработанные центровые отверстия и один из торцов.

В условиях ГПС к базированию заготовок предъявляют ряд дополнительных требований:

а) обрабатываемые поверхности заготовок должны быть ориентированы так, чтобы их расчетные координаты были связаны с координатной системой станка;

б) при установке на необработанные литые поверхности и допусках на базовые размеры заготовки более 1 мм базирующие элементы должны быть регулируемы;

в) предпочтительнее базировать заготовку по поверхностям, которые не имеют жестких допусков на размер, и обрабатываемым плоскостям или отверстиям, а в случае необходимости переустановки заготовки базировать ее по поверхностям, обработанным на предыдущей операции.

Рекомендации по построению ТП механической обработки:

а) при построении маршрутного ТП рекомендуется:

- максимально концентрировать (при обработке на ГАУ) переходы в одной операции (включая обработку детали с максимально возможного числа сторон);

- в случае обработки группы деталей на ГАЛ степень концентрации переходов в одну операцию на каждом станке и количество операций определяются конкретно в зависимости от программы выпуска деталей, габаритов и сложности этих деталей и т. п.;

б) заготовки для обработки на ГПС, полученные методом литья в землю, ковкой или горячей штамповкой, должны подвергаться входному контролю;

в) при формировании операций рекомендуется соблюдать последовательность:

- для каждой элементарной поверхности детали определяется технологическая схема обработки. Например, при обработке в корпусных и плоских деталях отверстий диаметром 10–15 мм по качеству точности Н7 с шероховатостью Ra 1,25–2,5 и допуском на межцентровое расстояние 0,05–0,3 мм рекомендуется следующая схема: центрование, сверление, растачивание, развертывание черновое, развертывание чистовое;

- для каждого из переходов обработки в соответствии с технологической схемой выбирается режущий инструмент;

- из полученного набора инструментов исключаются повторяющиеся инструменты, объединяются инструменты одного назначения и близких размеров, объединяются технологические переходы, выполняемые на данной операции одним инструментом.

Предварительно выбранное число инструментов должно сверяться с емкостью инструментальных механизмов. При этом инструменты, применяемые для снятия корки и неравномерного припуска, рекомендуется выделять отдельно от аналогичных инструментов, предназначенных для получистовой и чистовой обработки;

г) последовательность выполнения переходов в операции выбирается в зависимости от назначения переходов; количества переходов, выполняемых одним инструментом; требуемой точности взаимного расположения поверхностей детали; точности

позиционирования узлов станка по координатам; количества одинаковых или одновременно обрабатываемых поверхностей деталей (например, резьбовых отверстий), расположенных на одной плоскости или на нескольких плоскостях детали; времени перерывов в резании, связанных с поворотом стола и сменой инструмента (при обработке на станках типа «обрабатывающий центр») и др.;

д) для исключения преждевременного выхода из строя режущих инструментов при их приработке (вследствие микротрещин, некачественной термообработки, сборки и т. п.) рекомендуется каждый инструмент (в том числе инструменты-дублиеры) подвергать предварительной проверке резанием в течение не менее 2-3 минут. Каждый инструмент должен проходить предварительный контроль геометрии и характеристик режущей кромки;

е) при обработке на ГПС деталей с достаточно большой суммарной годовой производственной программой (определяется экономическими расчетами по приведенным затратам) рекомендуется следующая методика выбора режущего инструмента:

- для изменяющихся переходов следует выбирать унифицированный инструмент, позволяющий обработать все детали группы;

- для постоянного несовмещенного перехода целесообразно применять унифицированный инструмент, форма и размеры которого максимально приближены к форме и размерам обрабатываемой поверхности;

- для постоянного совмещенного группового перехода следует применять специальный режущий инструмент.

Определение отдельных элементов ТП:

а) режимы резания и нормы износа режущего инструмента рекомендуется выбирать по общемашиностроительным нормативам для различных групп станков с ЧПУ;

б) в зависимости от характеристик деталей и от программы их выпуска применяют переналаживание или специализированные приспособления. Специализированные приспособления рекомендуется применять только в тех случаях, когда не удастся применять переналаживаемую оснастку в крупносерийном и массовом производстве, для деталей особо сложной формы, нежест-

ких или крупных размеров (свыше 800×800×800 мм). При обработке призматических деталей на ГПС в мелкосерийном производстве, по конструктивным характеристикам не требующих особых установочных элементов, рекомендуется применять систему универсально-сборочной переналаживаемой оснастки (УСПО);

в) приспособления для крепления деталей типа тел вращения поставляются в комплекте с ГПМ в номенклатуре и в количествах, оговоренных и обоснованных в проекте и при заказе ГПМ.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПС

4.1. Методика проектирования

Проектирование ГПС осуществляется тремя основными способами:

- разработкой оригинальных проектов организации производства с использованием типовых элементов ГПС и ПО;
- привязкой типовых проектов ГПС к условиям конкретного производства;
- разработкой оригинальных проектов организации производства с использованием специально конструируемых технических средств и ПО.

В любом случае конструированию или выбору элементов ГПС предшествует анализ изделий и условий производства, перспектив их развития, определение конкретных целей комплексной автоматизации производства, разработка рациональных вариантов состава, структуры и компоновки, технических требований к технологии и организации, то есть весь комплекс работ, называемый организационно-технологическим проектированием.

Проектирование ГПС представляет собой многоэтапный процесс, основными стадиями которого являются: техническое задание (ТЗ); техническое предложение; эскизный, технический и рабочий проекты.

Сложность проблемы проектирования состоит в многовариантности ее решений. Поэтому все большее распространение по-

лучают методы автоматизированного проектирования, основанные на математическом моделировании ГПС.

Основой для проектирования ГПС является ТЗ на систему в целом, главной задачей которого является разработка и формализация системной модели с точки зрения выполнения ею служебного назначения. Под служебным назначением ГПС будем понимать изготовление определенной номенклатуры изделий с заданной производительностью требуемого качества при минимальных затратах производства.

Системная модель строится по заданным ТП с учетом организации и факторов, влияющих на производственный процесс. Анализ системной модели дает основание для формализации всех связей между элементами ГПС, необходимых для составления математической модели. На основе данных модели решается задача о выборе одного из трех способов проектирования, при необходимости корректируется ТЗ.

Далее составляется ТЗ на функциональные подсистемы ГПС (технологическое оборудование, транспортно-накопительную систему, систему автоматического контроля и т. д.). ТЗ должны содержать служебное назначение, принцип действия, техническую характеристику, показатели качества и специальные технические условия. На этом этапе разрабатываются математические модели подсистем. Анализ данных моделирования служит для корректировки ТЗ на проектирование.

Проектирование подсистем состоит в основном из разделения их на функциональные элементы и определения их параметров. Элементами, например, АТСС являются автоматические тележки, паллеты, устройства загрузки-выгрузки и т. д. Результат данного этапа работ – ТЗ на элементы ГПС.

Проектирование элементов должно начинаться с поиска унифицированных элементов и элементов-прототипов требуемого служебного назначения. При этом выполняются те же процедуры, что и на предыдущих этапах.

Полученные данные предыдущих этапов требуют обязательной проверки, так как задача проектирования делится на все более мелкие части. Для этого разрабатывается комплексная модель функционирования проектируемой ГПС в целом. По резуль-

татам моделирования при необходимости корректируются или пересматриваются ранее принятые решения.

4.2. Выбор технических средств

Комплект станков является главной составляющей производства, прямо определяющей технико-экономические и эксплуатационные показатели ГПС. В комплект станков могут входить станки с ЧПУ и ГПМ.

Технологическое оборудование для ГПС подбирается исходя из особенностей обработки деталей на конкретном предприятии, с учетом способов получения заготовок, их размеров, материалов и формы обрабатываемых деталей, требуемых точности и качества поверхностей, размеров партии запуска и годовых программ.

Встраиваемые в ГПС станки должны отвечать следующим основным требованиям: иметь электродвигатель привода главного движения большой мощности с бесступенчатым регулированием его скорости в широком диапазоне; иметь несущие части повышенной жесткости; компоновка узлов станка должна обеспечивать герметизацию рабочей зоны, свободный отвод стружки и СОЖ; рабочие органы должны иметь высокие скорости холостых ходов; наличие требуемого комплекта инструмента, сменяемого автоматически; должны быть оснащены механизированными быстропереналаживаемыми или быстросменными приспособлениями для закрепления деталей в широком диапазоне размеров; должна быть обеспечена надежная работа всех систем и механизмов в результате тщательной обработки их конструкции и высокого качества изготовления; должно быть обеспечено удобство обслуживания и максимальное использование малогабаритных устройств (ЧПУ, электрооборудование, электроавтоматика).

Важнейшим требованием, предъявляемым к станкам, встраиваемым в ГПС, является использование станков одинакового технологического назначения, что позволяет обеспечивать более полную загрузку станков по времени.

Степень автоматизации должна определяться из конкретных производственных условий:

- в единичном и мелкосерийном производстве ГПС состоят из полуавтоматов с ЧПУ с ручной или механизированной загрузкой и автоматизированной доставкой заготовок непосредственно к рабочим местам вместе с требующимся режущим инструментом и оснасткой. В этом случае один оператор обслуживает два-четыре полуавтомата. Системы программно-математического обеспечения ТПП наиболее развиты и эффективны. Автоматизация таких операций, как контроль состояния режущего инструмента и его замена, измерение обрабатываемых деталей, ввод коррекции в УЧПУ, переналадка оборудования, технически и экономически нецелесообразна;

- в серийном производстве ГПС целесообразно комплектовать из ГПМ, в том числе автоматически переналаживаемых, оснащенных ПР, накопителями заготовок и обработанных деталей, средствами контроля и диагностики производственного процесса. Высокая стоимость таких ГПС компенсируется возможностью работы в автоматическом режиме в вечернюю и ночную смены

с высокой производительностью;

- в крупносерийном производстве целесообразно использовать специальные ГПМ, состоящие из многоинструментальных и многопозиционных станков, управляемых от УЧПУ или централизованно и обслуживаемых ПР, которые образуют ГАЛ с организацией транспортно-технологического потока от станка к станку. Автоматизация переналадки станка не дает в этом случае положительного эффекта, так как эти операции выполняются редко.

Инструментальное оснащение ГПС является самостоятельной проблемой и требует решения задач оптимальной организации инструментального хозяйства – подбора номенклатуры инструмента, его хранения, идентификации, автоматизации смены, размерной привязки, контроля состояния и т. д.

Для фрезерных многоцелевых станков применяются инструментальные магазины большой емкости с автоматическими манипуляторами, сменные магазины, дополнительные магазины, обеспечивающие переналадку основных, большие магазины, обслуживающие несколько станков. Для увеличения гибкости ин-

струментального оснащения и сокращения типоразмеров инструментов применяются модульные инструментальные наладки для вращающихся инструментов.

Инструментальное оснащение станков ГОС для обработки тел вращения развивается по двум путям:

- замена инструментальных блоков при общем количестве блоков в магазине не более 20 шт.;
- замена резцовых вставок при их общем количестве в барабане до 240 шт., что позволяет обеспечить большой запас инструментов-дублеров.

Общее направление развития инструментообеспечения в ГПС ориентируется на применение блочных инструментальных наладок, автоматизацию смены как вращающегося, так и неподвижного инструмента, что позволяет объединить как токарную, так и фрезерную обработку, автоматического измерения, контроля состояния и идентификацию инструмента.

Система автоматического контроля является звеном важнейшим в ГПС, поскольку именно она, в конечном счете, определяет возможность безлюдного производственного процесса. Эта система решает следующие задачи:

- получение информации о свойствах, техническом состоянии, пространственном расположении контролируемых объектов, а также о состоянии технической среды;
- сравнение фактических значений параметров с заданными;
- передача информации о рассогласованиях для принятия решений на различных уровнях управления;
- получение информации об исполнении функции.

Для измерения вне станка широко используются координатно-измерительные машины (КИМ), которые могут входить в состав ГПС либо располагаться отдельно, но управляться единой ЭВМ верхнего уровня. КИМ, применяемые в ГПС, оснащаются приспособлениями для загрузки, закрепления и разгрузки деталей в автоматическом режиме.

Автоматизированная транспортно-складская система. Являясь одной из основных подсистем ГПС, АТСС в значительной степени определяет компоновку, функциональные возмож-

ности всей производственной системы, а также надежность ее работы.

Классификация технических средств АТСС представлена на рис. 4.1.

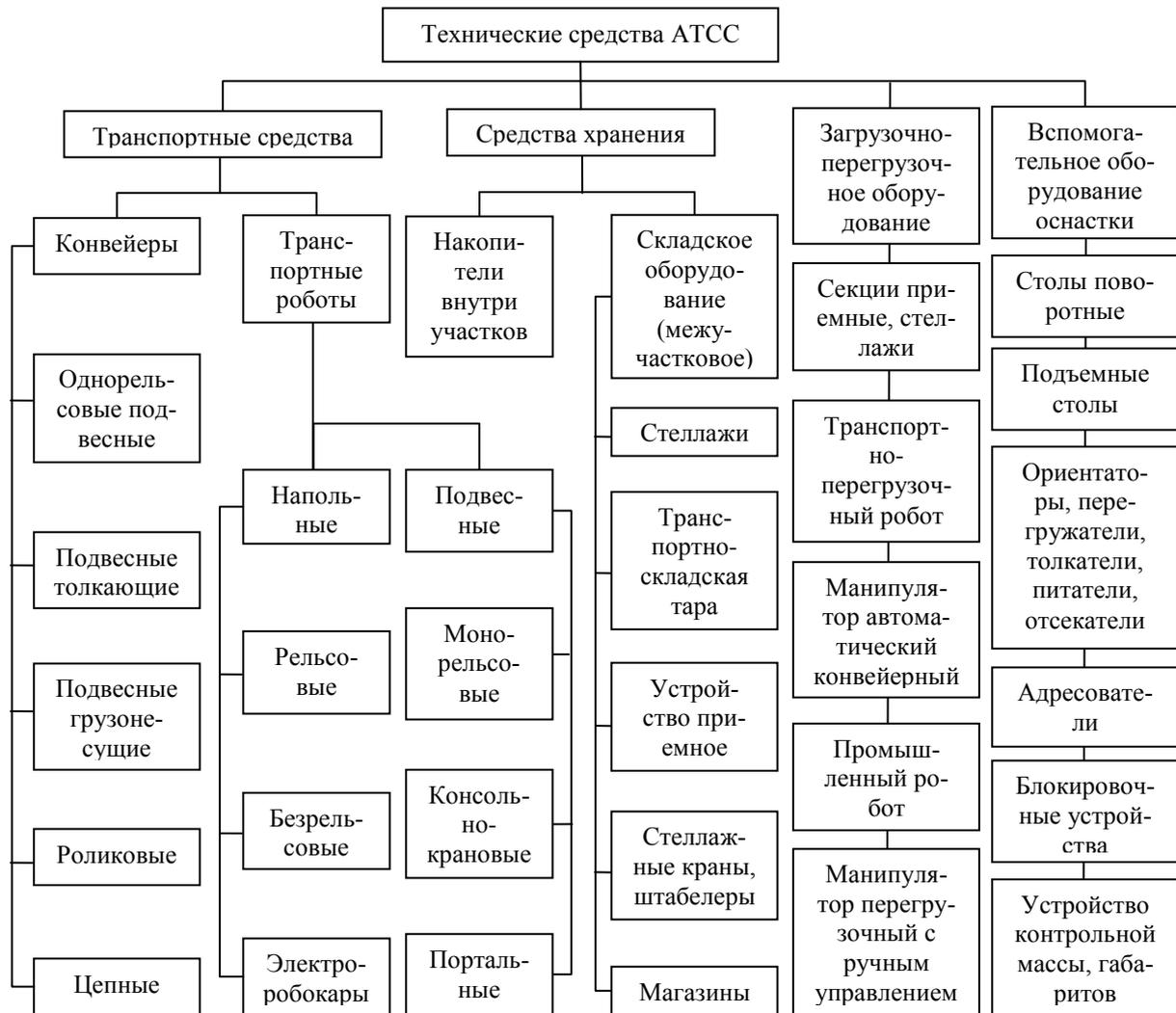


Рис. 4.1. Классификация технических средств АТСС

Под транспортными средствами, входящими в состав АТСС, понимается транспорт, функционально взаимосвязанный с основным и вспомогательным оборудованием ГПС и обеспечивающий перемещение заготовок, обрабатываемых изделий, режущих инструментов, сменных агрегатов к узлам, необходимых для осуществления ТП в ГПС в автоматическом или автоматизированном режиме.

В последнее время все большее распространение получают электророботы. Эти тележки обладают большой универсальностью, простотой изменения транспортно-технологических маршрутов, возможностью ручного управления в экстремальных условиях и не требуют технологических путей (токопроводящие низкочастотные кабели укладываются ниже уровня пола).

Основная задача накопительных систем – обеспечить хранение у станков (или на участке) необходимого количества заготовок, режущего и вспомогательного инструмента, технологической оснастки, сменных узлов и агрегатов станков и других элементов материального потока, обеспечивающего нормальное функционирование ГПС.

На практике получили распространение комбинированные накопительные системы, обеспечивающие как централизованное (в общем складе ГПС), так и децентрализованное (непосредственно у станков) хранение.

Корпусные детали, изготавливаемые с применением приспособлений-спутников, хранятся в сборе с ними в многоярусных магазинах.

Более сложны магазины для хранения деталей типа тел вращения. Такие магазины снабжены сменными или регулируемые поддонами, в которых на унифицированных элементах (призмах, втулках, патронах и т. д.) находятся заготовки. Обычно поддоны хранятся стопками (штабелями), поддоны могут оснащаться приводом для их выдвижения.

Наибольшее распространение получили следующие виды магазинов с передвижными поддонами: магазины, обеспечивающие поштучное хранение поддонов, не укладываемых в штабель; магазины, где поддоны хранятся в штабелях (перемещение поддонов осуществляется штабелями, которые доставляется в подготовительную позицию рядом со станком для загрузки-выгрузки); магазины передвижного типа, которые сами перемещаются к станку (заготовки хранятся в поддонах, выдаваемых поштучно).

В качестве загрузочно-перегрузочного оборудования наибольшее распространение получили ПР, оснащенные ЧПУ и сменными захватными устройствами. Наиболее эффективно их использование в условиях многономенклатурного производства,

характеризуемого частой сменой выпускаемых изделий, изменением ТП и необходимостью переналадки оборудования.

4.3. Компоновка ГПС

Компоновка ГПС определяется уровнем ее организационной структуры, степенью автоматизации и специализации технологических задач, типами изделий, серийностью их изготовления, частотой смены продукции и т. д. В то же время создание ГПС невозможно без учета производственных условий и частичной реорганизации производственной системы более высокого уровня, включающей ГПС.

Во многом размещение технологического оборудования в ГПС определяется типом транспортно-складской системы, с помощью которой регулируют потоки заготовок, инструментов, приспособлений, тары и деталей. Все многообразие планировок оборудования укладывается в основном в три различные схемы планировок (рис. 4.2).

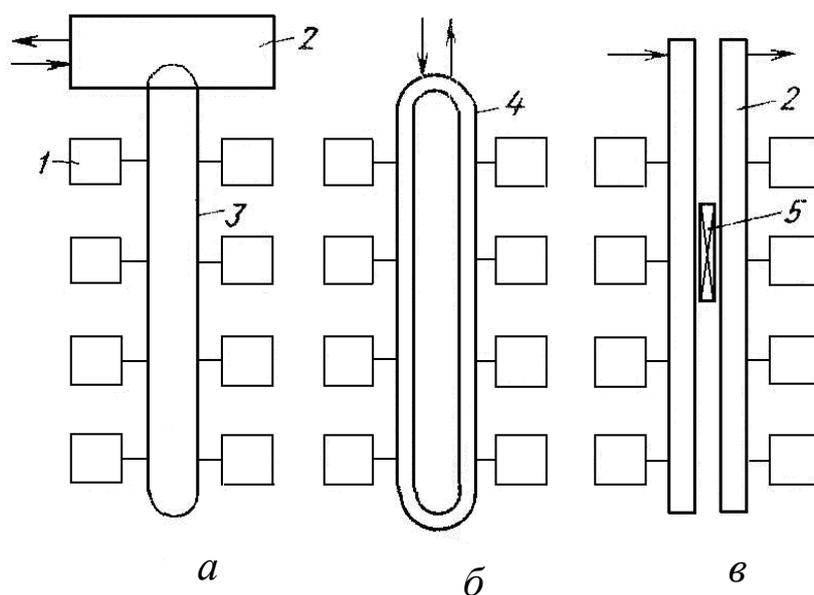


Рис. 4.2. Компоновки ГПС: *а* – с централизованным складом; *б* – с накопителем в составе транспортной системы; *в* – с транспортным устройством в составе склада; 1 – станочный модуль; 2 – склад; 3 – транспортная система; 4 – транспортер-накопитель; 5 – робот-штабелер склада

Компоновка с централизованным складом (рис. 4.2, *а*). Со склада заготовки в таре или на паллетах передаются к станочным модулям транспортной системой. Заготовки, обработанные на одном станке, передают на следующий станок или возвращают на склад, где они хранятся, пока не освободится занятый станок. Транспортная система может быть линейного типа или замкнутая. Эта схема очень универсальна, обеспечивает возможность ее наращивания в определенных пределах.

Компоновка со складом-накопителем в составе транспортной системы (рис. 4.2, *б*). Роль склада выполняет транспортная система (роликовый конвейер замкнутого типа). Загрузку и выгрузку транспортной системы обычно производят на одном месте. Подобная планировка характерна для ГПС средне- и крупносерийного производства с четко выраженной последовательностью и определенной синхронизацией по времени выполняемых операций. Как реализацию этого принципа, можно рассматривать станочные модули на базе многоцелевых станков для изготовления корпусных деталей с многопозиционными накопителями.

Компоновка с перемещением деталей транспортным средством в составе склада (рис. 4.2, *в*). В этом случае ГПС непосредственно примыкают к складу, что значительно упрощает доставку заготовок и их автоматическую загрузку. Этот вариант характеризуется простотой загрузки, перемещения и хранения заготовок, но возможности расширения ГПС и замены оборудования при модернизации ограничены. В этом отношении вариант *а* является предпочтительным.

ГПС помимо транспортно-складской системы в своем составе имеют и другие системы обеспечения функционирования: системы инструментального обеспечения, автоматического контроля, загрузки заготовок на приспособления-спутники и др. Это оборудование размещают в зоне транспортной системы или автоматизированного склада.

5. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГПС

Под управлением ГПС понимается комплекс мероприятий, обеспечивающих повышение эффективности производства в со-

ответствии с выбранным критерием (критериями) оптимальности при заданных технологических, экономических и других производственных ограничениях. Комплекс мероприятий состоит из сбора, обработки и анализа информации о состоянии элементов производственной системы с использованием средств контрольно-измерительной и вычислительной техники и осуществления на основе этой информации автоматического регулирования и переналадки ТП.

Основными критериями управления являются: повышение производительности труда, улучшение качества продукции, экономия материальных ресурсов, снижение себестоимости.

С точки зрения теории информации, управление является информационным процессом, который реализуется в ГПС. Основу процесса управления составляет переработка (преобразование) информации, которая выполняется по следующей схеме: сбор, преобразование и накопление информации => выработка или принятие управляющих воздействий => преобразование и выдача управляющих воздействий объекту управления. В данной схеме выделяется два компонента: система управления и объект управления. В общем виде структура процесса управления представлена на рис. 5.1.

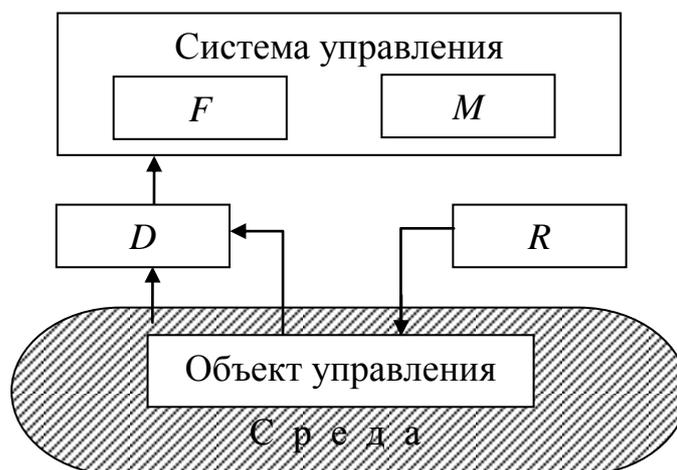


Рис. 5.1. Обобщенная структура процесса управления:

F – механизм порождения управляющих воздействий;
 M – модель знаний об объекте управления и среде, в которой он функционирует; D – входной преобразователь информации об объекте управления и среде; R – выходной преобразователь управляющих решений

Отличие среды от объекта управления состоит в том, что СУ на среду непосредственно не воздействует, то есть не может качественно изменять состояние среды.

По структуре СУ ГПС относятся к многоуровневым иерархическим системам. Эволюция технологических ячеек (рис. 5.2) привела к изменению СУ.

Так если на первом этапе развития решались только вопросы локального управления технологическим оборудованием, на четвертом этапе – группового управления, то на пятом этапе решаются вопросы интегрированного управления с увязкой локального и группового управления оборудованием, с управлением автоматизированной транспортной системой и автоматизированным складом.

На рис. 5.3 приведена схема управления ГПС с выделением трех уровней управления. Межуровневые границы управления довольно подвижны из-за перераспределения функций между уровнями в зависимости от задач управления конкретными ГПС. Поэтому мы будем рассматривать распределение функций управления между уровнями с учетом отечественного и зарубежного опыта создания и эксплуатации СУ ГПС [20].

На верхнем уровне управления ГПС решаются следующие задачи: оперативно-календарного планирования ГПС и связи с другими подсистемами оперативного планирования; автоматизированного проектирования УП технологического оборудования нижнего уровня в процессе переналадки ГПС при смене номенклатуры изделий (подсистема САПР); автоматизированного проектирования инструмента и оснастки (подсистема САПР); проектирования ТП с использованием банков данных по технологическому оборудованию и инструменту подсистемы САПР и автоматизированной подсистемы подготовки производства; обеспечения контроля качества и надежности продукции (подсистема управления качеством); обеспечения управления производством в целом (подсистема управления производством).

На среднем уровне функции управления разбиваются на информационные и управляющие. Соответственно выделяются информационные задачи и задачи управления.

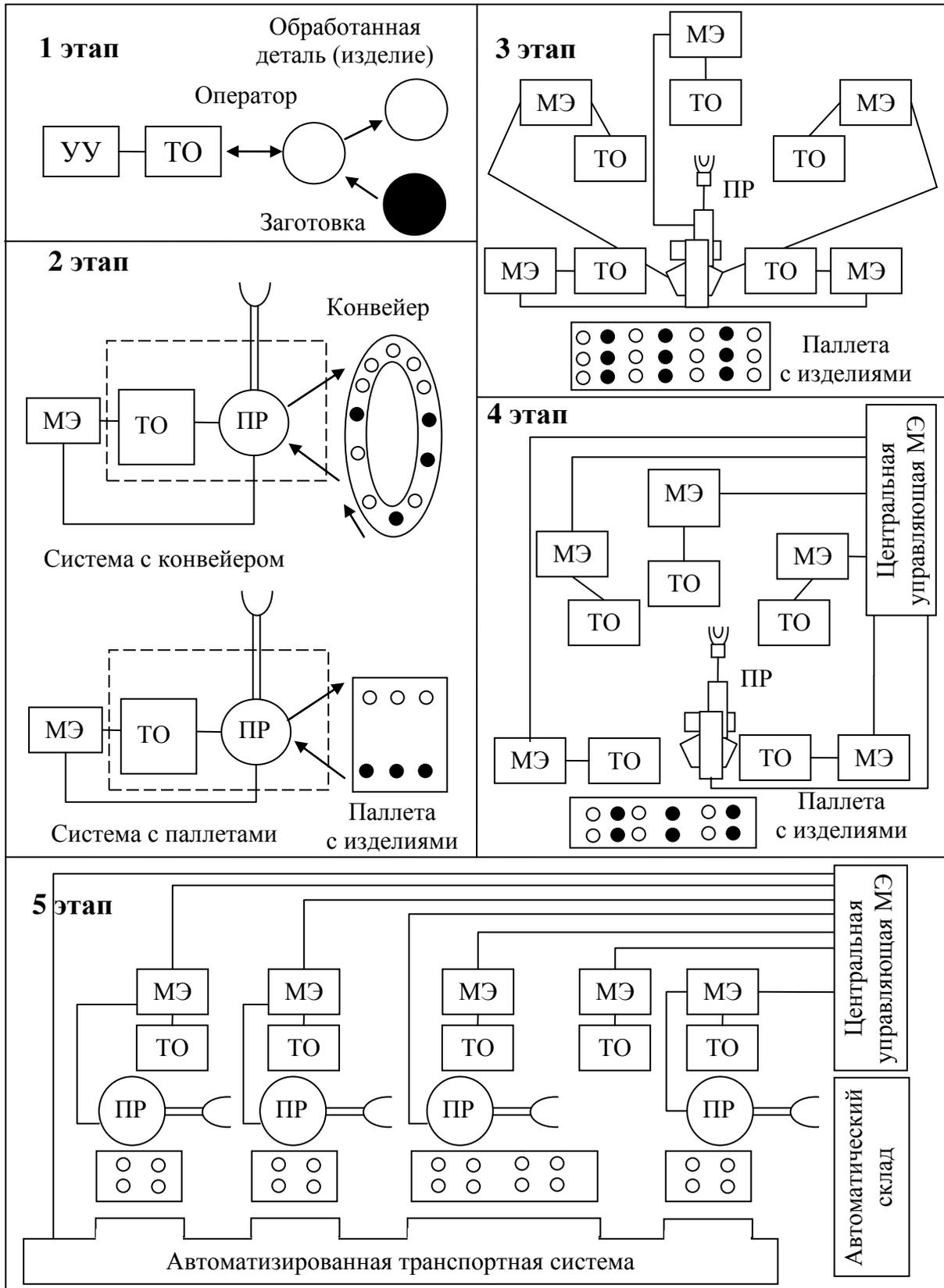


Рис. 5.2. Эволюционное развитие технологических ячеек с последующим их обслуживанием:

УУ – устройство управления; ТО – технологическое оборудование; МЭ – микроЭВМ; ПР – промышленный робот

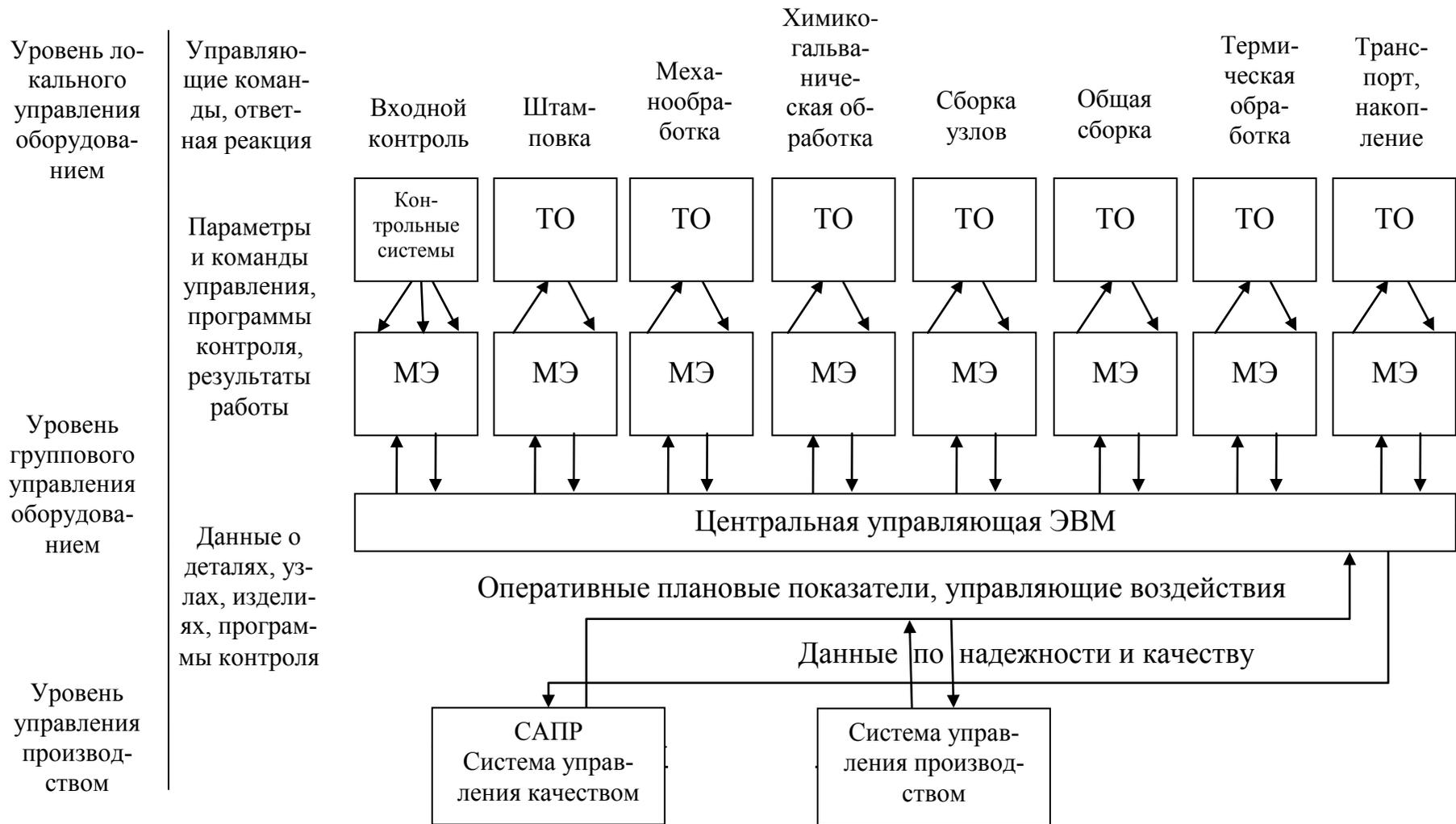


Рис. 5.3. Обобщенная схема управления ГПС

Информационные задачи: централизованный контроль за состоянием технологического оборудования, транспортных средств, движением материальных потоков и измерением технологических параметров.

К задачам управления относятся:

- групповое управление компонентами, входящими в состав моделей ГПС;
- передача УП в СУ компонентами нижнего уровня ГПС;
- анализ результатов контроля нижнего уровня и выработка оптимальных решений об изменении производственного процесса при отклонении технологических параметров или отказе оборудования;
- учет количества изготовленных изделий.

С верхнего уровня на средний передается информация о плане производства, оптимальных технологических параметрах и т. п. Со среднего уровня на верхний поступает информация о фактическом ходе производства, состоянии оборудования и материальных потоков.

На нижнем уровне осуществляется управление технологическим оборудованием, ПР, автоматизированным складом заготовок и инструмента, транспортно-накопительными средствами, а также проводится первичный контроль ТП, обрабатываемых заготовок и диагностирование состояния оборудования.

Со среднего уровня на нижний поступает информация о начале работ, типе обрабатываемого изделия, обратно передается информация об окончании обработки, произошедших сбоях и отказах.

Гибкая переналадка производства в ГПС при изменении изготавливаемой номенклатуры изделий осуществляется с помощью подсистем верхнего уровня. На верхнем уровне управления создаются условия для переналадки ГПС, то есть в ограниченном интервале времени проводится ТПП, которая направлена на изменение ПО управления на нижнем уровне без изменения состава оборудования.

Типовой состав СУ ГПС, который обеспечивает автоматизированное функционирование ГПС, приведен на рис. 5.4, где АСУП – автоматизированная система управления производ-

ством; АСУОТ – автоматизированная система организационно-технологического управления; АСУТП – автоматизированная система управления технологическим процессом; АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства; САПР – система автоматизированного проектирования.

В дальнейшем мы будем рассматривать автоматизированную форму организации СУ – АСУ ГПС.

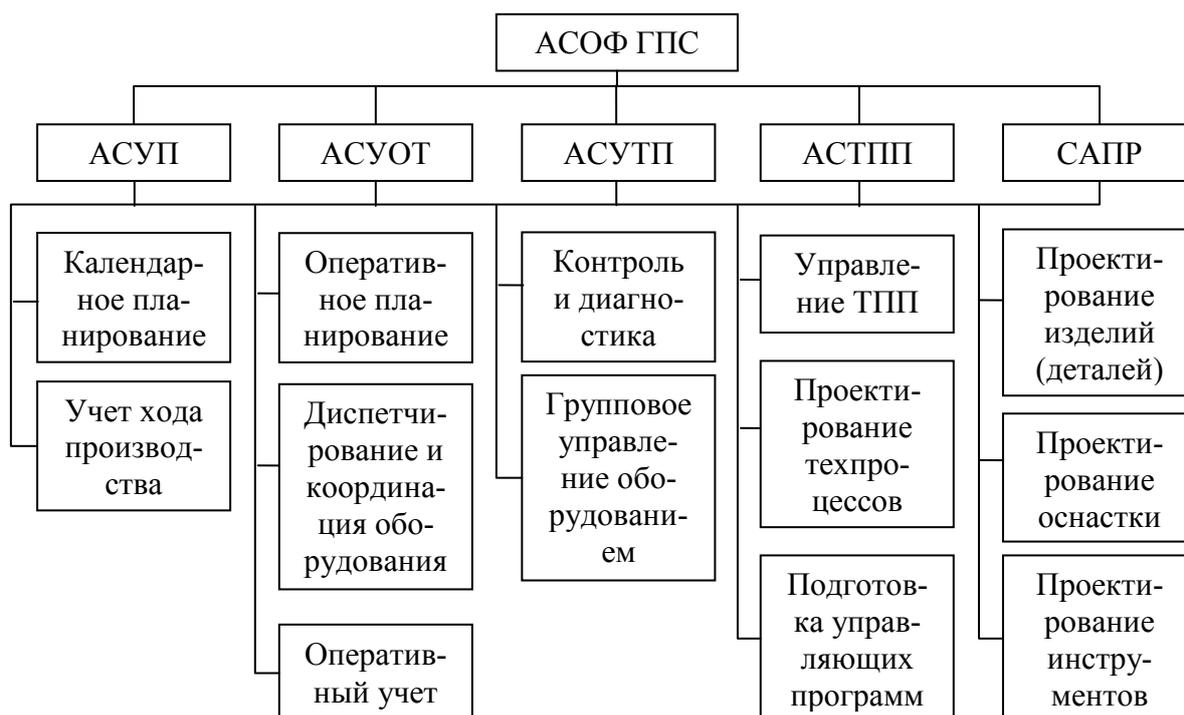


Рис. 5.4. Автоматизированные системы обеспечения функционирования ГПС

6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГПС

Экономическая эффективность ГПС определяется «стратегическими» и «тактическими» преимуществами гибкого производства.

К «стратегическим» преимуществам относятся:

- сокращение цикла подготовки производства – до 2–3 раз;
- сокращение потребных капиталовложений до 1,5–2 раз при переходе на выпуск новых изделий;

- устранение противоречий между мелкосерийностью выпуска объектов производства и крупными масштабами самого производства;

- замена управления производством и оборудованием человеком и (или) при помощи программного управления на более сложные, но более оперативные системы оптимального управления на базе ЭВМ;

- повышение информативности системы и исключение ошибок при управлении.

К «тактическим» преимуществам относятся (по сравнению с универсальным оборудованием):

- повышение производительности труда – 2–4 раза;
- повышение производительности ГПМ на базе токарных станков с ЧПУ – 2–2,5 раза;
- повышение производительности труда ГПМ на базе ОЦ – 4–6 раз;
- увеличение коэффициента сменности – до 2,5–1,8;
- увеличение коэффициента загрузки оборудования – до 0,75–0,9;
- высвобождение численности – до 50–80 %;
- сокращение единиц технологического оборудования – до 2–3 раз;
- сокращение производственных площадей – 1,3–1,5 раза;
- сокращение производственного цикла – до 2–5 раз;
- повышение качества продукции;
- повышение культуры производства, содержание труда.

7. СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИПС

7.1. Системный подход при проектировании ИПК

Отмеченные выше особенности процесса проектирования ИПК и ГАП приводят к необходимости решения задач системного характера при проектировании ИУО (информационно-управляющего оборудования) технологического комплекса, а также общих для этих двух компонентов ИПК системных задач.

Применительно к технологическому проектированию необходимо:

- выявить области производства, в которых наиболее целесообразно внедрять ИПК и ГАП;
- разработать глобальную стратегию автоматизации производственных процессов на предприятии на базе модульного подхода;
- определить стратегию ликвидации узких мест;
- проанализировать номенклатуру изделий на предприятии с учетом тенденций ее изменения в будущем;
- определить оптимальную степень автоматизации производственных процессов на предприятии;
- руководствоваться при проектировании ГАП принципами соответствия характеристик технологического и информационно-управляющего оборудования.

При проектировании ИПК в первую очередь должны быть решены следующие задачи:

- функциональная, техническая (аппаратная), информационная (интеграция информационного обеспечения систем автоматизации) и программная интеграция (согласование программных средств) систем автоматизации;
- определение характеристик электронно-вычислительного оборудования с позиций их оптимизации, наиболее целесообразного использования вычислительных мощностей, распределения ресурсов и т. д.

К числу системных задач, общих для обоих подпроцессов проектирования ИПК, следует отнести:

- выявление глобальной стратегии проектирования;
- определение точек перечисления подпроцессов, в которых производится согласование результатов технологического и информационного проектирования;
- определение экономической эффективности решений;
- организация внедрения ИПК и ГАП в народное хозяйство; организационное управление исследованиями и разработками в условиях крупных промышленных регионов;
- определение уровня образования и подготовки кадров для разработки, создания, внедрения и эксплуатации ИПК и ГАП.

Особо следует сказать о проблеме поиска организационных форм внедрения самих ИПК и ГАП и систем их автоматизированного проектирования.

В условиях сегодняшнего дня при внедрении ИПК и ГАП необходимо преодолевать целый ряд трудностей научного, технического, методического и организационного характера. Главные из них:

1. Трудности научно-методического плана обусловлены отсутствием решения и методических проработок ряда ключевых задач. Наиболее существенные системные задачи перечислены выше. В числе других задач отметим следующие: создание научных основ построения элементов ИПК и ГАП; банков данных по основным видам производств; разработка и внедрение информационно-вычислительных сетей; разработка общего системного и прикладного программного обеспечения; решение проблемы повышения надежности оборудования.

2. Проблемы технического характера связаны с необходимостью освоения в производстве целого ряда не производимого в стране технологического и информационно-управляющего оборудования, комплектующих изделий, со строительством новых промышленных объектов и т. д.

3. Трудности организационного характера связаны прежде всего с решением задач разработки и создания недостающих средств информационного, аппаратного и программного обеспечения систем автоматизации и обуславливают необходимость в широкой межотраслевой кооперации при проведении работ по проектированию, созданию и внедрению ИПК и ГАП, в создании специализированных предприятий по производству аппаратного и программного обеспечения, решению вопросов ресурсного обеспечения, организации подготовки кадров.

7.2. Принципы построения КИПС

Можно выделить следующие основные принципы, заложенные в создание ИПК:

1. Интеграция. В общем плане принцип интеграции рассматривался в разделе 1. Он находит свое отражение и в способе организации деятельности предприятия. Основой его является

производственный цикл, который обеспечивается производственными подразделениями (рис. 7.1), а системы автоматизации составляют основу автоматизации труда в подразделениях.

2. Гибкость. Это способность как отдельных составляющих, так и всего комплекса к перестройке. Она проявляется и в возможности широкого маневрирования при определенной последовательности обработки (АТСС) для обеспечения максимальной загрузки оборудования и минимального производственного цикла (рис. 7.1).

3. Модульность. Использование групповой технологии позволяет создавать автоматические обрабатывающие ячейки (АОЯ). В типичном случае АОЯ состоит из одного или нескольких станков с ЧПУ, вспомогательного оборудования, подсистем контроля, уборки отходов и пр. Пример АОЯ приведен на рис. 7.2.

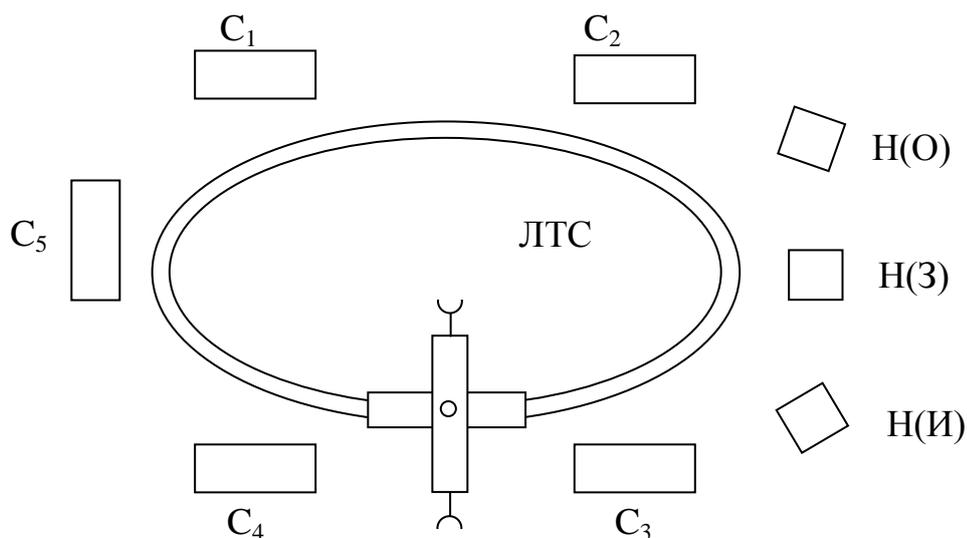


Рис. 7.2. Пример конфигурации автоматической обрабатывающей ячейки:

C_1 – C_5 – станки; Н(О) – накопитель отходов; Н(З) – накопитель заготовок; Н(И) – накопитель инструмента; ЛТС – локальная транспортная система

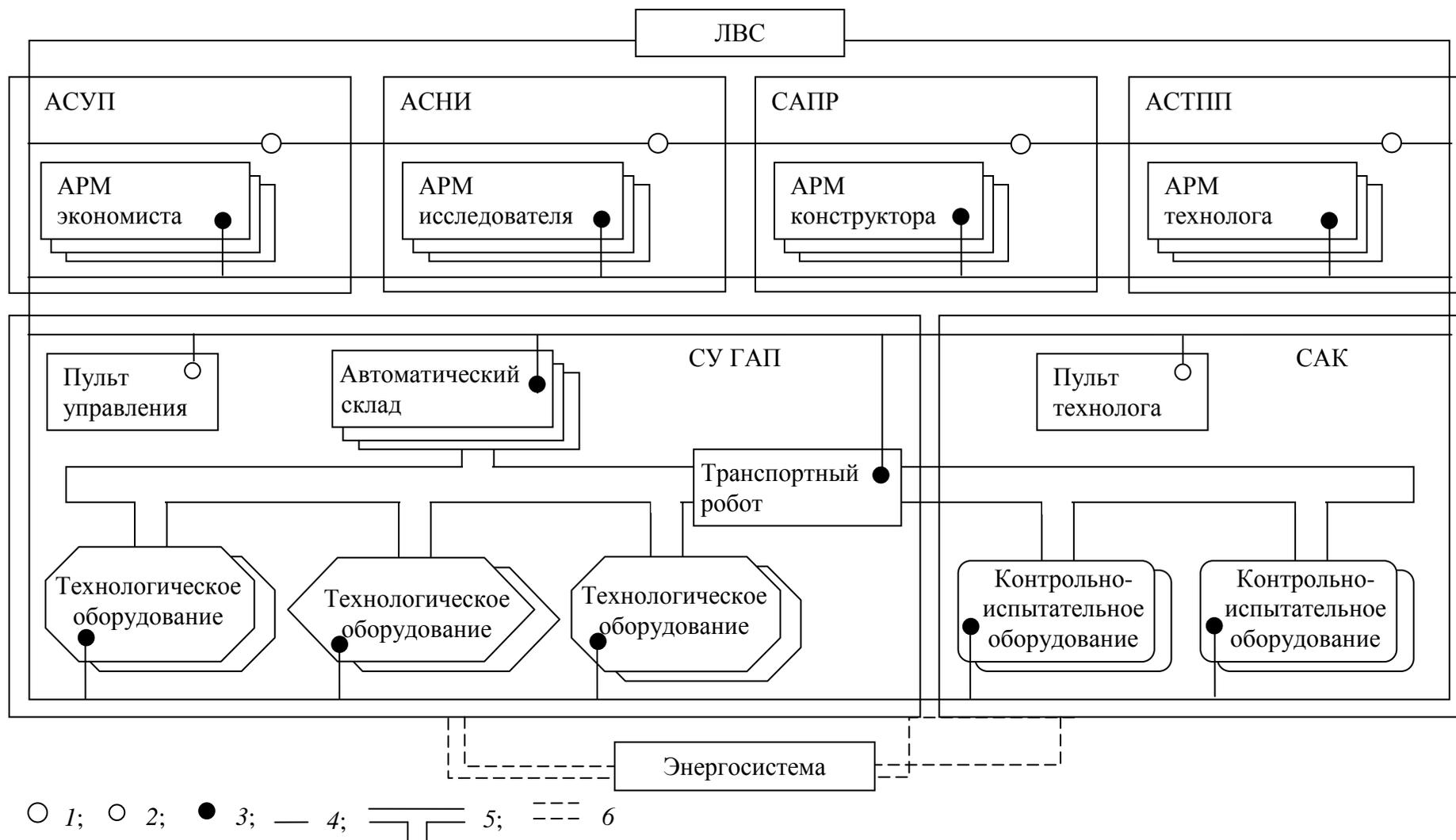


Рис. 7.1. Интегрированный производственный комплекс:
 1 – большие ЭВМ; 2 – малые ЭВМ; 3 – микроЭВМ и встроенные микропроцессоры;
 4 – информационно-вычислительная сеть; 5 – транспортная сеть; 6 – энергосеть

Принцип модульности заключается в использовании при создании ГАП и ИПК типовых ячеек для обработки, транспортировки, складирования, типовых конфигураций АРМ, типовых программных модулей и пр. Появляется возможность создания конкретных ГАП из типовых модулей поэтапно, сравнительно легко расширяя его. В мировой практике используется достаточно много типовых модулей (на основе станков с ЧПУ и ОЦ, складские и транспортные ячейки с унифицированными поддонами и контейнерами, двухуровневые системы управления оборудованием и др. (рис. 7.3)).

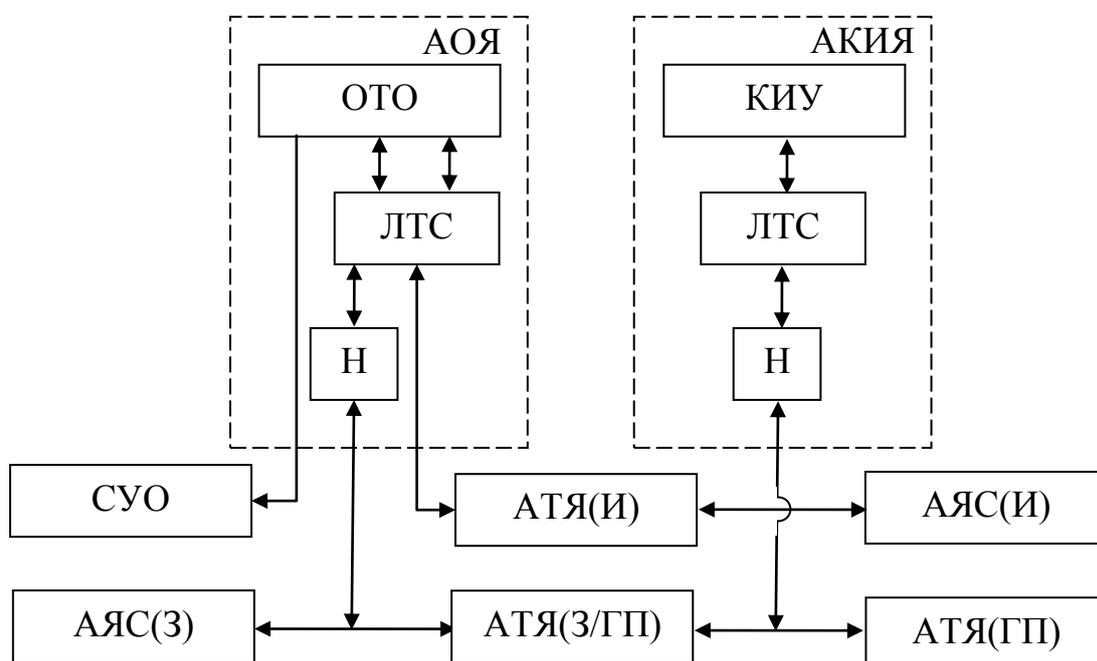


Рис. 7.3. Структура связей специализированных автоматических ячеек в ГПС:

АКИЯ, АТЯ, АЯС – автоматические контрольно-измерительная, транспортная, складская ячейки; ОТО – основное технологическое оборудование; КИУ – контрольно-измерительная установка; Н – накопитель; СУО – система удаления отходов; З, ГП, И – заготовки, готовая продукция, инструмент

Важное требование к модулю – расширение его функциональных возможностей: большое число операций по обработке, автоматическая загрузка, контроль, диагностика, подналадка.

Принцип модульности широко применяется и в программном обеспечении. Применение принципа модульности к самому ИПК приводит либо к мультипроцессорным интегрированным системам автоматизации, либо к схемам с локальными вычислительными системами (ЛВС).

4. Системность. КИПС представляет собой сложную систему, процесс его создания и внедрения должен базироваться на совокупности целого ряда методов, применимых к различным по типу и природе процессам. Для обеспечения целостности всего процесса необходимо:

- учитывать место каждой подсистемы или подпроцесса в общей структуре процесса;
- рассмотрение наиболее важных характеристик подсистем;
- построение иерархии системы в целом;
- учет свойств и возмущений окружающей среды.

7.3. Задачи системного проектирования КИПС

Основной целью проектирования любой технической системы является определение качественного и количественного состава составляющего ее оборудования и компоновки его в пространстве.

В КИПС входит технологическое, информационно-управляющее, электронно-вычислительное оборудование, что предполагает существование двух отдельных подпроцессов проектирования – технологического и информационного, связанных между собой на отдельных этапах проектирования всего КИПС.

Существенной чертой проектирования КИПС является определение состава как технологического, так и информационно-управляющего оборудования. Системный подход диктует следующую схему проектирования КИПС (рис. 7.4).

По исходным данным о концепции, номенклатуре, объеме выпуска, ресурсах проектируется технологическая часть ГАП. Эта же информация служит основой и для выбора информационно-управляющего оборудования ИПК. Выбор оборудования для СУ ГАП определяется уже как архитектурой систем АСНИ/САПР/АСТПП, так и составом оборудования ГАП.



Рис. 7.4. Укрупненная схема проектирования КИПС

В свою очередь состав и компоновка оборудования ГАП существенно зависит от типов устройств ЧПУ и ЭВМ верхнего уровня, т. е. от АСТПП. Обычно приходится рассматривать несколько вариантов того и другого оборудования. Многовариантность свойственна и ТП, а значит и выбору станочного оборудования. Транспортно-складские системы также допускают вариации как по составу, так и по количеству их элементов. Если добавить такие факторы, как срок службы и стоимость, то неоптимальный выбор оборудования приведет к большим убыткам. Поэтому очень актуальна задача разработки структуры самого процесса проектирования ИПК, так как решение самих задач оптимизации по этапам – это уже тактика, и накоплен определенный опыт их решения. Например, в курсе АПП рассматривалась методика проектирования оптимальной структуры ГПС по уровню автоматизации.

7.4. Структура процесса проектирования КИПС

Процесс проектирования ИПК может быть представлен следующей схемой (рис. 7.5).

Рассмотрим кратко содержание процедур представленного алгоритма.

Формулировка исходных данных. Осуществляется на основе результатов традиционного предпроектного общего обследования, детального обследования по выделенному кругу задач,

формулировки требований на проектирование АСУП, АСНИ, САПР, АСТПП, ГАП.

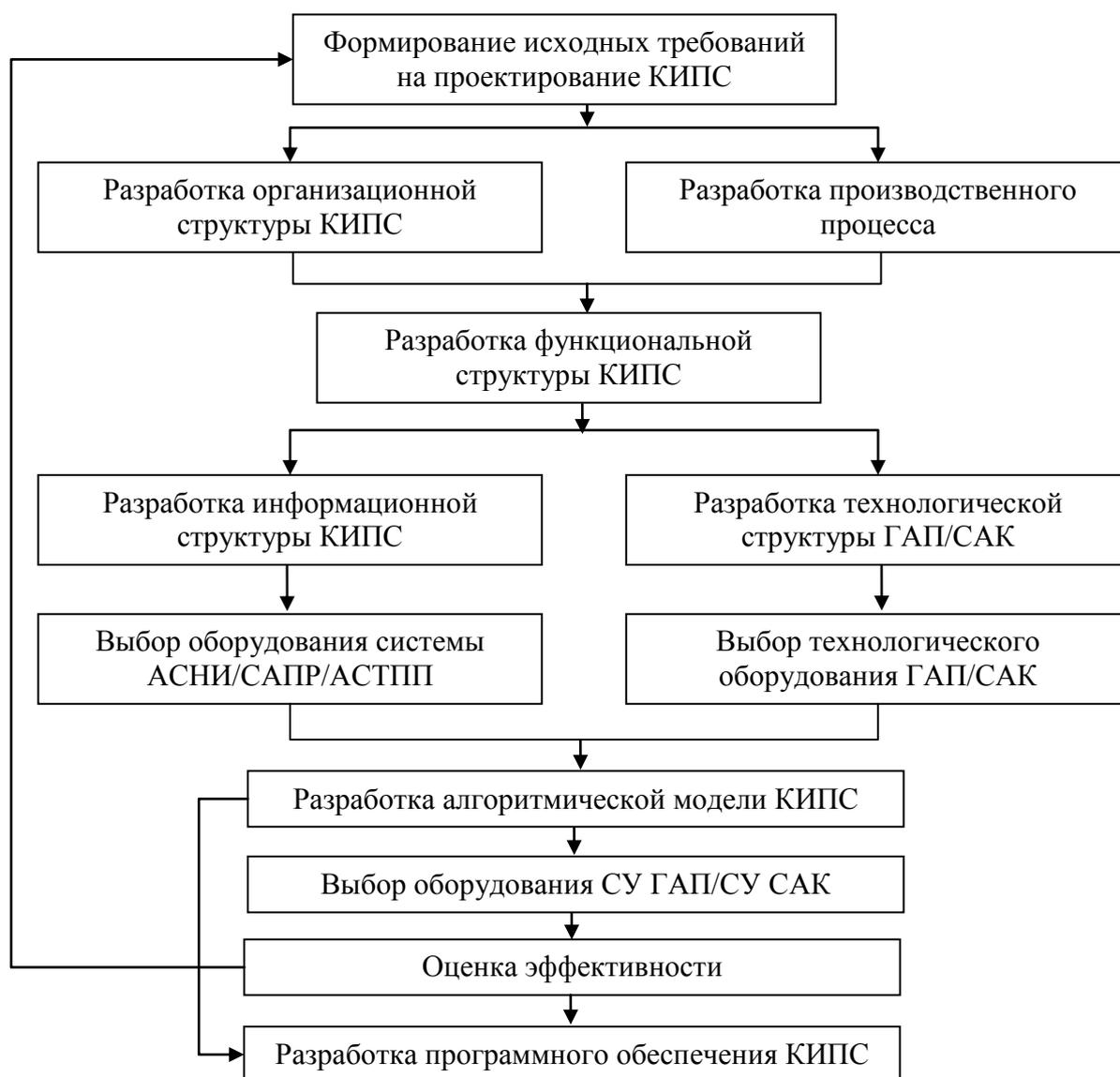


Рис. 7.5. Алгоритм системотехнического синтеза КИПС

Разработка организационной структуры. Здесь разрабатывается укрупненная схема организационной структуры КИПС, отражающая состав, иерархию и взаимосвязь его подсистем.

Разработка технологического процесса. Здесь определяются основные характеристики ТП: последовательность операций, тип оборудования и оснастки, инструмент и др. Эти данные являются основой для разработки функциональной и технологической структур.

Разработка функциональной структуры. Главная задача здесь – выделение информационных и материальных потоков в системе. Целесообразно разбить КИПС на подсистемы, соответствующие производству и проектированию. Необходимо определить иерархию систем управления: первый уровень – системы управления технологическими агрегатами, второй – управление АОЯ, третий – ГАП, четвертый – предприятием. Иерархия систем управления отражена в следовании уровней снизу вверх (информационные потоки обозначены одинарной линией). Материальные потоки (заготовки, инструмент, оснастка) движутся в соответствии с технологией (двойная линия). Результат работы оформляется в виде таблицы «Элемент – функция» (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Элемент – функция

Элемент	Потоки материалов	Потоки информации
Транспортный робот	Прием заготовок от складского робота	Получение команд от СУ транспортом на прием заготовок.....

Разработка технологической структуры. Проводится на основе анализа данных табл. 7.1. Формируется граф, узлы которого – производственное оборудование, ребра – межоперационная транспортировка. По графу разрабатывается таблица перемещений «Узел графа – характеристика элемента». В этой таблице каждому узлу графа (оборудованию) ставится в соответствие набор функций по транспортировке с характеристикой основных параметров (координаты начального и конечного положения, временные характеристики, характеристики перемещаемого объекта, скорость, точность позиционирования и др.). Указанный набор характеристик является основой для выбора транспортного оборудования. Это одна из главных целей этапа.

Разработка информационной структуры. Аналогично разработке технологической структуры, но над информационными потоками. Строится информационный граф и таблица «Элемент графа – функция элемента». Форма аналогична. В таблице для каждого узла графа указываются такие характеристики каж-

дой связи, как ее содержание, форма представления информации, объем, периодичность, максимальная скорость передачи, приоритет, протокол передачи и т. д.

Разработка алгоритмической модели. Требования к алгоритмической модели складываются из условий преобразования входных потоков информации в выходные для каждого узла графа и условия модульности, суть которого в том, что общий алгоритм функционирования ГАП есть набор алгоритмических модулей, независимых друг от друга. Итоговый документ – блок-схема алгоритма или его описание на языке высокого уровня.

Выбор состава технологического и информационного оборудования. Требования к технологическому оборудованию, сформулированные на этапе разработки технологической структуры, позволяют составить таблицу оборудования (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Выбор оборудования

Перемещение	Объект	Суммарные технические требования	Тип оборудования	Технические характеристики
....
2–5	Заготовка XX	Перемещение 200 мм. Время перемещения 10 с. Скорость 20 м/с. Масса 200 кг. Точность $\pm 0,2$ мм	Автоматический манипулятор, тип YY	Грузоподъемность 300 кг. Скорость 30 м/с. Точность позиционирования $\pm 0,1$ мм
....

Аналогично по характеристикам информационных потоков формулируются требования к информационному оборудованию, системам обработки и передачи информации. Общий список оборудования может быть очень большим, но, например, на участке уже есть некоторое оборудование. Рассматривается рентабельность его применения. Это значительно снижает число рассматриваемых вариантов.

Оценка эффективности. Этот этап необходим для получения представления о степени рациональности проведения проце-

дуры построения КИПС. Существующие методики не учитывают многие преимущества КИПС и ГАП, поэтому могут дать лишь приближенное представление. Например, в курсе АПП рассматривалась методика оценки целесообразности создания ГАП на начальном этапе работ.

7.5. Организация и функциональная структура КИПС

Разработке функциональной структуры КИПС предшествует этап разработки организационной структуры в силу того, что организация функционирования КИПС связана с определением взаимосвязи и взаимодействия людских и материальных ресурсов на предприятии, имеющих отношение к процессу «проектирование – производство», реализуемому производственным комплексом. Назначение производственной структуры состоит в том, чтобы по исходным требованиям производства продукции определить элементы организации этого взаимодействия.

Организационная структура КИПС должна быть согласована со структурой движения информационных и материальных потоков в КИПС, то есть с функциональной структурой комплекса. Другими словами, взаимосвязь подразделений предприятия должна строиться с учетом обеспечения движения потока материалов (заготовок, инструментов, оснастки и т. д.) вдоль составляющих производственного цикла и сопутствующей этому потоку контрольной управляющей информации. Основой для разработки организационной структуры КИПС является схема взаимодействия элементов производственного цикла с системами и подразделениями его обеспечения. Для разработки организационных структур требуется изменить взгляд на их построение в целом. Новое в организации производственного процесса существенно уменьшает эффективность существующего принципа построения организационных структур – централизованного обеспечения подсистем и подразделений информацией и ресурсами. Усиливается значение организации структур отдельных элементов производственного цикла специальных групп, ориентированных на изготовление определенного вида продукции или производство определенного вида управленческих или проектно-конструкторских работ. Особую роль, по-видимому, будут играть в будущем так называемые гиб-

кие организационные структуры, основанные на использовании специального рода интерфейсов, позволяющих одному подразделению взаимодействовать с другим на основе изменяемой структуры взаимосвязей.

К настоящему времени общие черты схемы взаимодействия и иерархии подразделений в КИПС можно считать известными, однако только в пределах относительно небольших масштабов внедрения КИПС на предприятии. В целом же требуются новые подходы к проблеме разработки организационной структуры ИГЖ с учетом всего комплекса исследовательских, проектно-конструкторских, технологических и производственных задач.

Проектирование организационной структуры ИГЖ – это фактически создание автоматизированной системы организационного управления (АСОУ) комплексом. Такая АСОУ должна обеспечивать гибкость по отношению к изменениям структуры производственного цикла и его компонентов. Это сводится к необходимости ослаблять жесткость организационной структуры и образовывать новые активные связи между подразделениями в соответствии с требованием функциональной интеграции задач, обусловленной новой схемой производственного цикла. АСОУ с указанным свойством принято называть гибким.

Функциональная структура КИПС отражает состав и взаимодействие АСУП, АСНИ, САПР, АСТПП, ГАП, САК, а также их крупных подсистем в конкретной для данной производственной ситуации форме. Основные проблемы, которые необходимо решить при системном проектировании КИПС, связаны с обеспечением интеграции его подсистем.

Функциональная интеграция осуществляется на уровне задач, формируемых на основании представлений о технологии проектирования и производства заданного продукта и о сложившейся на предприятии организационной системе. Задаются исходный ресурс (данные) и концепция (вход задачи), конечный продукт (выход задачи), метод преобразования входа в выход.

Процесс интеграции подсистем, составляющий важнейшую часть проектирования функциональной структуры КИПС, основан на анализе структуры данных, используемых при решении задач сквозной автоматизации процесса в комплексе АСНИ / САПР /

АСТПП / СУ ГАП, и создании интегрированной базы данных КИПС.

7.6. Информационное обеспечение КИПС

Под информационным обеспечением (ИО) КИПС понимается совокупность методов и средств организации, поддержки, хранения и пополнения информации, необходимой для обеспечения эффективной работы КИПС и составляющих его систем автоматизации (АСУП/АСНИ/САПР/АСТПП/СУ ГАП/САК).

В структуре ИО КИПС, как и любой автоматизированной системы, целесообразно выделять две составляющие: внесистемное ИО и внутрисистемное ИО, которые не могут рассматриваться обособленно, поскольку во многом взаимоопределяют и дополняют друг друга.

Организация внесистемного ИО предполагает формализацию описания всей используемой для обеспечения деятельности КИПС информации, то есть создание единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных машинно-ориентированных форм документации, их заполнения, хранения, представления и внесения дополнений и изменений.

В соответствии с приведенным определением внесистемное ИО КИПС включает:

- систему классификации и кодирования информации на всех стадиях цикла «исследования – проектирование – подготовка производства – производство», автоматизируемых в КИПС;
- систему управленческой, конструкторской, технологической и производственной нормативно-технической и справочной (нормативно-справочной) документации;
- систему оперативной (плановой и отчетной) документации;
- систему организации, ведения, хранения, накопления, обработки нормативно-справочной документации, внесения в нее дополнений и изменений (нормативные, методические и инструктивные материалы).

Внутрисистемное ИО КИПС представляет собой совокупность данных, языковых средств их описания, методов организации, хранения, накопления и доступа к информации в вычислительных системах, задействованных в КИПС, и обеспечивает представление всех данных, необходимых в процессе управления интегрированным производственным комплексом, организацию информационного сопряжения АСУП/АСНИ/САПР/АСТПП/СУ ГАП/САК и эффективное взаимодействие ЭВМ и операторов КИПС.

Исходя из приведенного определения внутрисистемное информационное обеспечение КИПС составляют:

- совокупность специальным образом организованных данных, характеризующих все аспекты деятельности КИПС и входящих в него систем автоматизации (такую совокупность данных принято называть информационной базой) КИПС;
- комплекс программных средств, обеспечивающих организацию, хранение, обработку, корректировку, доступ и представление данных, информационное сопряжение систем автоматизации, составляющих КИПС, и эффективное взаимодействие операторов КИПС и вычислительных систем.

Итак, ИО – важнейшая составная часть КИПС. Организация ИО играет большую роль в комплексировании систем автоматизированного проектирования, технологической подготовке производства и управления, определяя основу интеграции этих систем в КИПС. Следует, однако, подчеркнуть самостоятельную роль информационного обеспечения и создаваемых баз данных в задачах, связанных с разработкой и внедрением КИПС. База данных представляет собой важнейший элемент системы автоматизированного проектирования КИПС. Кроме того, базы данных, а также основанные на них системы поддержки решений и экспертные системы составляют важнейшую часть автоматизированных систем организационного управления (АСОУ), в частности организационного управления исследованиями и разработками КИПС.

Структуру ИО КИПС можно представить схемой, приведенной на рис. 7.6.



Рис. 7.6. Структурная схема информационного обеспечения КИПС

При проектировании ИО КИПС должны выполняться следующие основные требования:

- полнота отображения состояний КИПС и достоверность информации, используемой для решения задач применительно к АСУП/АСНИ/САПР/АСТПП/СУ ГАП/САК и управления КИПС в целом;
- эффективность методов и средств сбора, хранения, накопления, обновления, поиска и представления данных;
- многократное и многоцелевое использование данных при решении задач применительно к КИПС при их однократных регистрации и вводе;
- комфортность доступа к данным, составляющим информационную базу КИПС;
- минимизация дублирования данных в ИБ КИПС;
- организация четкой системы санкционирования доступа к данным;
- открытость ИО КИПС, то есть возможность его расширения и развития, использования новых средств организации

данных, новой информационной технологии создания систем представления и пополнения данных и знаний для повышения эффективности реализации входящих в КИПС систем автоматизации;

- гибкость ИО КИПС, то есть способность ИО обеспечивать требуемую оперативную адаптацию систем автоматизации производства, предусмотренную в данном КИПС.

Автоматизация проектирования ИО обусловлена высокой трудоемкостью этого процесса, связанного с обработкой матриц большой размерности, необходимостью формирования и выдачи весьма значительного объема документации, с принятием решений в не полностью формализуемых условиях и т. п. В настоящее время разработан ряд методик и систем, в той или иной степени позволяющих автоматизировать процесс проектирования ИО, в основном на этапе организации баз данных.

Учитывая специфику рассматриваемого процесса, можно утверждать, что наиболее перспективным направлением автоматизации проектирования ИО КИПС является создание диалоговых систем проектирования, включающих в свой состав развитый банк данных по всем этапам проектирования как внутрисистемного, так и внесистемного ИО КИПС, и составляющих его систем автоматизации, интерфейса пользователя, обеспечивающего возможность работы с диалоговой системой на профессионально-ограниченном естественном языке, подсистемы поддержки принимаемых решений. Дальнейшее развитие таких систем может быть осуществлено при использовании методов новой информационной технологии не только для построения интерфейса пользователя, но и для создания подсистем поддержки решений – проектирования баз знаний по основным разделам рассматриваемой предметной области, систем логического вывода и пополнения знаний, то есть создания экспертных систем.

Применение методов новой информационной технологии позволит перейти от проектирования системы ИО КИПС к созданию системы гибкой информационной поддержки эффективной работы интегрированного производственного комплекса, обеспечивающей оперативную модификацию соответствующих компонентов информационной базы КИПС при изменении номенклату-

ры выпуска продукции, введении новых технологических элементов и других допустимых для конкретного КИПС нововведениях.

Диалоговую систему проектирования ИО целесообразно строить как функциональную подсистему САПР КИПС. Такой подход обеспечит преемственность и согласованность решений, принимаемых на различных стадиях разработки проекта, возможность учета требований всех групп специалистов, участвующих в создании КИПС, и будущих пользователей КИПС и его подсистем. При этом возможно построение системы автоматизированного проектирования и подсистемы проектирования ИО КИПС как системы, распределенной на информационно-вычислительной сети, причем распределенность может быть характерна не только для данных и знаний, но и для конечной системы (пользователи и рабочие станции) и самих управляющих систем.

7.7. Аппаратное обеспечение КИПС

Быстрое развитие микроэлектроники в последние годы существенно изменило критерии выбора средств вычислительной техники при решении задач проектирования производства и обеспечило возможность создания интегрированных производственных комплексов, когда на небольшой территории в пределах одного учреждения или предприятия сосредотачиваются несколько мощных ЭВМ, большое число мини- и микроЭВМ, работающих как единая вычислительная система. Целесообразность создания таких комплексов определяется возможностью разделения их общих ресурсов (например, дисковой памяти большой емкости) исходя из экономических соображений или по причинам, вызванным особенностями компоновки аппаратных систем комплекса, например в целях приближения средств микровычислительной техники к местам, где непосредственно производится сбор данных и требуется получение результатов их обработки. Для осуществления такой возможности необходима новая технология в вычислительной технике, которая позволила бы конечному пользователю решать возникающие перед ним задачи и объединять в любых сочетаниях средства вычислительной техники в системы. Основой такой новой технологии служат локальные вычислительные сети. Главными целями при разработке ЛВС являются возможность

эксплуатации совместимых интерфейсов и протоколов, обеспечение рентабельности новой технологии на длительную перспективу – для ее использования в течение 15–20 лет, а главной задачей разработки ЛВС – определение ее архитектурных решений. Как следует из названия, ЛВС – это вычислительная сеть, ограниченная географическим масштабом. ЛВС создают возможности для применения стандартных решений, минуя повторные разработки. ЛВС обладают сходством с модульными конструкциями, но возможности их гораздо шире, чем заложенные разработчиками, вследствие того, что пользователи, которых намного больше, чем разработчиков ЛВС, вносят свою выдумку в решения. Использование ЛВС позволяет существенно сократить продолжительность объединения аппаратных средств в системы, легко осуществлять их модификации при изменении условий применения или расширения их функциональных возможностей.

ЛВС обеспечивает соединение большого числа оборудования разной мощности и отличающихся друг от друга устройств при помощи линии передачи данных. Характерной чертой ЛВС в интегрированных производственных комплексах должно быть отсутствие критических устройств, выход из строя которых мог бы существенно повлиять на надежность работы или временные характеристики вычислительной сети; ЛВС должна функционировать автономно и независимо от операционных систем и аппаратных средств какой-либо конкретной рабочей станции или компьютера, подключенных к сети. Последнее требование наиболее важно для КИПС, поскольку обеспечивается возможность функционирования ЛВС как самостоятельной подсистемы вне зависимости от работоспособности других компонентов КИПС, что существенно повышает стабильность временных характеристик ЛВС, надежность сети и КИПС в целом.

7.8. Программное обеспечение КИПС

Программные средства КИПС разделяются на основные (непосредственно используемые в ходе реализации производственного процесса) и вспомогательные (инструментальные, моделирующие, текстовые, справочные). Совокупность программ,

ответственных за контроль ресурсов, принято называть операционной системой.

Вариант программной системы (ПРС) для каждого из управляющих (вычислительных) устройств, входящих в состав КИПС, должен генерироваться с учетом конкретной конфигурации аппаратных средств и конкретной технологической обстановки. При генерации должны быть, в частности, учтены спецификации кинематических схем, особенности привода и измерительных систем, управляемого оборудования, спецификации протоколов взаимодействия с окружающим технологическим оборудованием при выполнении элементарных технологических операций и т. п. Последовательность элементарных операций, составляющих цикл обработки детали (заготовки) на одной технологической позиции, принято представлять в виде текста на специальном языке, называемом «языком управляющих программ». Выполнение конкретной производственной операции оборудованием автоматизированного участка осуществляется в ходе интерпретации конкретной управляющей программы (УП); в свою очередь, интерпретация УП производится управляющим устройством, связанным с рассматриваемым оборудованием.

Операционные системы как средство разработки, отладки и выполнения пользовательских задач различного назначения являются неотъемлемой частью программного обеспечения КИПС. Они могут быть использованы на всех уровнях цепи АСУП/САПР/АСТПП/СУ ГАП. Условно можно выделить три типа операционных систем: универсальные многопользовательские системы разделения времени, универсальные системы реального времени и встроенные или специализированные системы реального времени. Возможности использования различных типов операционных систем (ОС) в подсистемах КИПС схематично показаны на рис. 7.7.

Из ОС приведены: Unix – система разделения времени; ДОС РВ – система реального времени; МОС РВ – система реального времени для микроЭВМ; СУ ГО – система управления группами оборудования; СУ ТО – система управления техническим оборудованием.

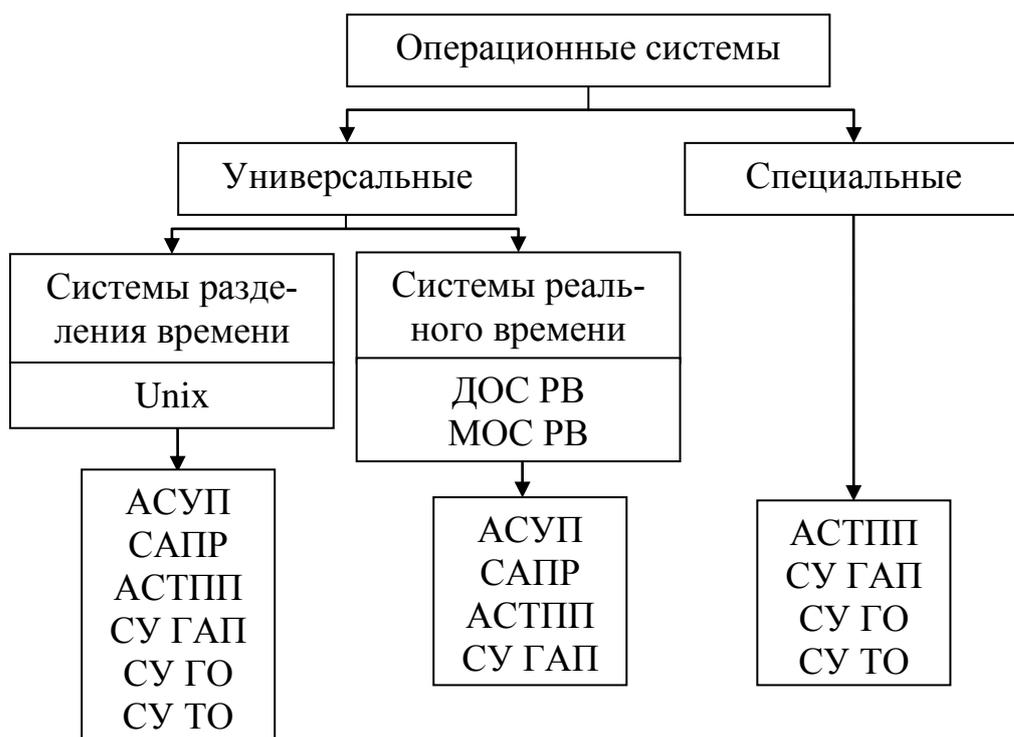


Рис. 7.7. Применение различных типов ОС в подсистемах КИПС

Согласно прогнозам по развитию вычислительных систем, наиболее интенсивный рост в ближайшее время будет наблюдаться в области локальных сетей. Одиночные компоненты, даже такие как персональные ЭВМ, не позволяют достичь такой эффективности использования вычислительной техники, какую дают локальные сети (ЛС).

Объединение вычислительных компонентов в КИПС может быть реализовано с использованием среды передачи, аппаратных и программных средств ЛС. По мере наращивания промышленного выпуска устройств и линий связи ЛС можно ожидать создания КИПС с единой архитектурой, базирующейся на стандартах ЛС.

Однако в настоящий момент отдается предпочтение структурам КИПС, реализуемым с использованием традиционных средств передачи данных в глобальных сетях, между ЭВМ и низкоскоростными внешними устройствами. В их состав входят: N-канальные устройства связи, каждый канал которых независим от других и имеет свои регистры связи с ЭВМ; мультиплексоры, последовательные каналы которых независимы (обращение к каналу производится по его адресу через регистры, общие для всех каналов); модемы, предназначенные для преобразования данных

и их передачи на значительные расстояния, преимущественно по телефонным каналам связи.

Вычислительные устройства, используемые в КИПС, предъявляют требования оперативного, в то же время простого и эффективного управления числовым процессом. При этом управляющие воздействия на систему определяются динамикой ее функционирования и текущим состоянием информационных процессов. Проблема эффективного диалогового управления и оперативного отображения состояния вычислительного процесса является достаточно сложной и требует разработки дополнительных функциональных устройств. Отладка цифровых вычислительных устройств, используемых в КИПС, представляет достаточно сложную задачу, которая обычно решается с помощью таких традиционных средств отладки, как осциллографы, логические анализаторы и др.

Отладка микропроцессорных устройств с гибким программным управлением является особенно сложной задачей, так как помимо аппаратной части приходится отлаживать неразрывно связанные с ней программные компоненты.

Данную проблему необходимо решать новыми методами с использованием более интеллектуальных устройств, обеспечивающих расширенный набор мониторинговых и отладочных функций. Наиболее удобным устройством такого рода является персональная ЭВМ, оснащенная различными интерфейсами, дисплеем с возможностью оперативного отображения символьной (и, желательно, графической) информации, дисковой системой и устройством печати. Как показывает опыт, на базе персональной ЭВМ в короткие сроки можно создавать комплексные мониторинговые системы для управления и отладки, структура которых определяется текущими потребностями, конфигурацией системы, этапами разработки и отладки. Использование персональной ЭВМ в качестве ядра мониторинговой системы позволяет в несколько раз уменьшить сложность обнаружения ошибок, использовать новые методы диагностики и автоматизировать процессы управления и отладки.

Наличие надежного высокоскоростного интерфейса позволяет использовать персональную ЭВМ в качестве интеллектуального терминала или системного пульта, обеспечивающего эффективное и надежное управление. Развитая файловая система способна

обеспечивать функции хранения и документирования результатов отладки, текстовых последовательностей, программ, а также может выполнять функции внешней памяти отлаживаемой системы. В этом случае упрощается генерация программных кодов, что делает возможным использование новых методов разработки и отладки встроенного аппаратно-программного обеспечения. Общая структура мониторной системы показана на рис. 7.8.

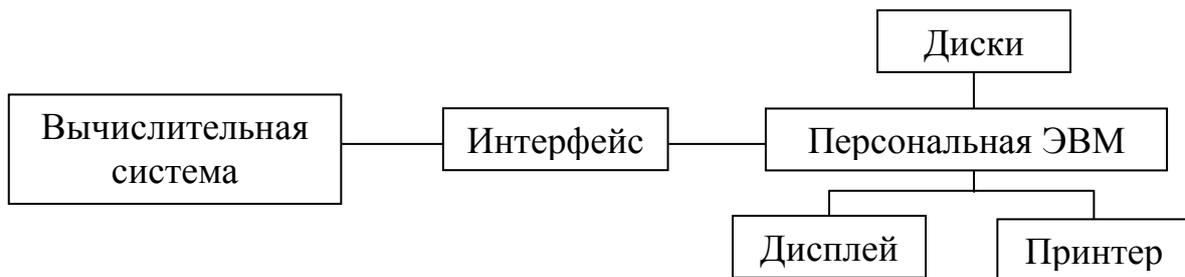


Рис. 7.8. Общая структура мониторной системы

Предложенная методика позволяет в два-три раза сократить время разработки встроенного аппаратно-программного обеспечения КИПС. Указанные принципы реализации мониторных систем на базе персональных ЭВМ обеспечивают создание широкого класса отладочных и управляющих комплексов. Использование методов диалогов высокого уровня существенно упрощает настройку и эксплуатацию системы, а также позволяет использовать эффективные способы разработки и отладки встроенного программного обеспечения. Эти принципы позволяют проводить поэтапную модернизацию производства и постепенную замену старых подсистем или даже отдельных интерфейсов и контроллеров, повышая тем самым эксплуатационные качества системы.

7.9. Моделирование при проектировании КИПС

В связи с необходимостью тщательного планирования будущего или реконструируемого производства, снижения стоимости технологического и информационно-управляющего оборудования при проектировании КИПС требуется провести анализ большого количества альтернатив построения систем и конкретных их вариантов. При проектировании КИПС требуется исследовать вариан-

ты технологических комплексов и информационно-управляющих систем в динамике. Единственным средством такого исследования является ЭВМ, позволяющая воспроизвести основные черты реального поведения элементов КИПС и всей системы, вычислить требуемые динамические характеристики, а также решить целый ряд задач оптимизации.

Использование машинных моделей – существенная черта системного подхода к проектированию КИПС, поскольку лишь с помощью ЭВМ можно исследовать характер и параметры взаимодействия элементов системы, оценить взаимодействие подсистем и качество функционирования всего комплекса.

Основные задачи моделирования при проектировании КИПС и его элементов можно сформулировать следующим образом:

1. Описание поведения КИПС и его элементов (задача идентификации);
2. Прогнозирование поведения системы;
3. Оценка качества функционирования.

Решение первой задачи проиллюстрировано на рис. 7.9, где показан случай так называемой параметрической идентификации, когда тип и структура модели, исходя из каких-то соображений, уже выбраны и уточняются лишь параметры математической модели системы или ее элемента.

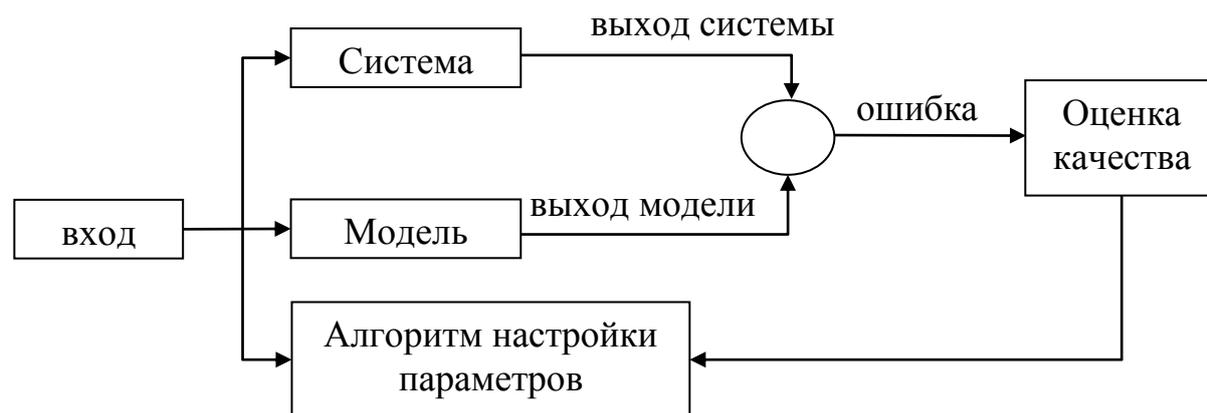


Рис. 7.9. Схема процесса идентификации КИПС

Целью решения задачи идентификации является получение машинной модели поведения системы, соответствующей некото-

рому ее аналитическому описанию. Целесообразность такого подхода очевидна для сложных случаев, когда исследование модели без привлечения ЭВМ невозможно. Особую актуальность такой метод приобретает благодаря все более расширяющимся возможностям символьных вычислений на ЭВМ. В задачах проектирования КИПС математические модели используются в основном для синтеза систем управления. Прогнозирование поведения системы и оценка качества ее функционирования – вторая и третья задача – могут осуществляться только на основе специальных машинных экспериментов, когда в ЭВМ имитируются события, которые при известных предположениях могут происходить в реальной производственной системе.

Требования, предъявляемые к системе имитационного моделирования (СИМ) КИПС:

1. Модель должна отражать все изменения в структуре, качественном составе и характеристиках оборудования системы.

2. Модель должна обеспечить возможность анализа динамики КИПС в широком диапазоне изменения режимов работы оборудования и структуры технологического комплекса.

3. Модель должна обеспечить возможность оценки качества функционирования КИПС.

4. Модель должна служить средством оценки влияния характеристик оборудования и материалов (в том числе инструмента и оснастки) на качество ее функционирования.

С точки зрения пользователя система имитационного моделирования должна быть: простой в эксплуатации, ориентированной на класс задач пользователя, гибкой в смысле простоты подхода к решению задач анализа модификаций и вариантов системы, допускающей расширение и усложнение в ходе эволюции моделируемой системы.

8. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

В традиционном производстве этапы проектирования и производства автономны, что неизбежно предполагает увеличение общих сроков технической подготовки производства, дублирова-

ние работы технолога и конструктора [19, 21]. В ИПК устанавливается прямая связь между процессами конструирования и изготовления с помощью системы информационного обеспечения (СИО). На этапе проектирования создается большая часть информации, которая затем используется в производстве для разработки технологии, планов оперативно-календарного управления и собственно управления технологическим оборудованием.

СИО позволяет обеспечить единство конструкторско-технологической информации в информационном пространстве ИПК и включает:

- систему классификации на всех этапах производственного цикла;
- систему управленческой, конструкторской, технологической и производственной нормативно-технической и справочной документации;
- систему организации, ведения, хранения, накопления и обработки нормативно-справочной документации, внесения в нее дополнений и изменений;
- комплекс программных средств, обеспечивающих организацию, хранение, обработку, корректировку, доступ и представление данных, информационное сопряжение систем автоматизации, составляющих ИПК (АСНИ/САПР/АСТПП/СУТП/САК), и эффективное взаимодействие операторов и вычислительных систем.

СИО представляет собой интегрированную систему, единую для САПР и автоматизированной системы управления производственным процессом. На рис. 8.1 показана структура связей СИО с процессами проектирования и производства.

Под информационным обеспечением (ИО) ИПК понимается совокупность методов и средств организации, поддержки, хранения и пополнения информации, необходимой для работы ИПК и составляющих его систем автоматизации.

В структуре СИО можно выделить две составляющие: базу данных (БД) и базу знаний (БЗ). БД включает в себя фактографические, количественные данные, которые характеризуют предметную область, а также правила вывода, посредством которых система управления базами данных (СУБД) обеспечивает вывод

данных, хранящихся в БД. БЗ представляет собой совокупность данных – фактов, метаданных (описаний закономерностей, которым подчинены данные), а также правил вывода, посредством которых система управления базами знаний (СУБЗ) обеспечивает вывод одних данных и метаданных на основе других. СУБЗ представляет собой специальную программную систему. БЗ отражает систему понятий, их связей и зависимостей предметной области и служит для машинного вывода новой информации на основе известных факторов, имеющихся в БД. СУБЗ является развитием СУБД и обладает более мощными обслуживающими процедурами.

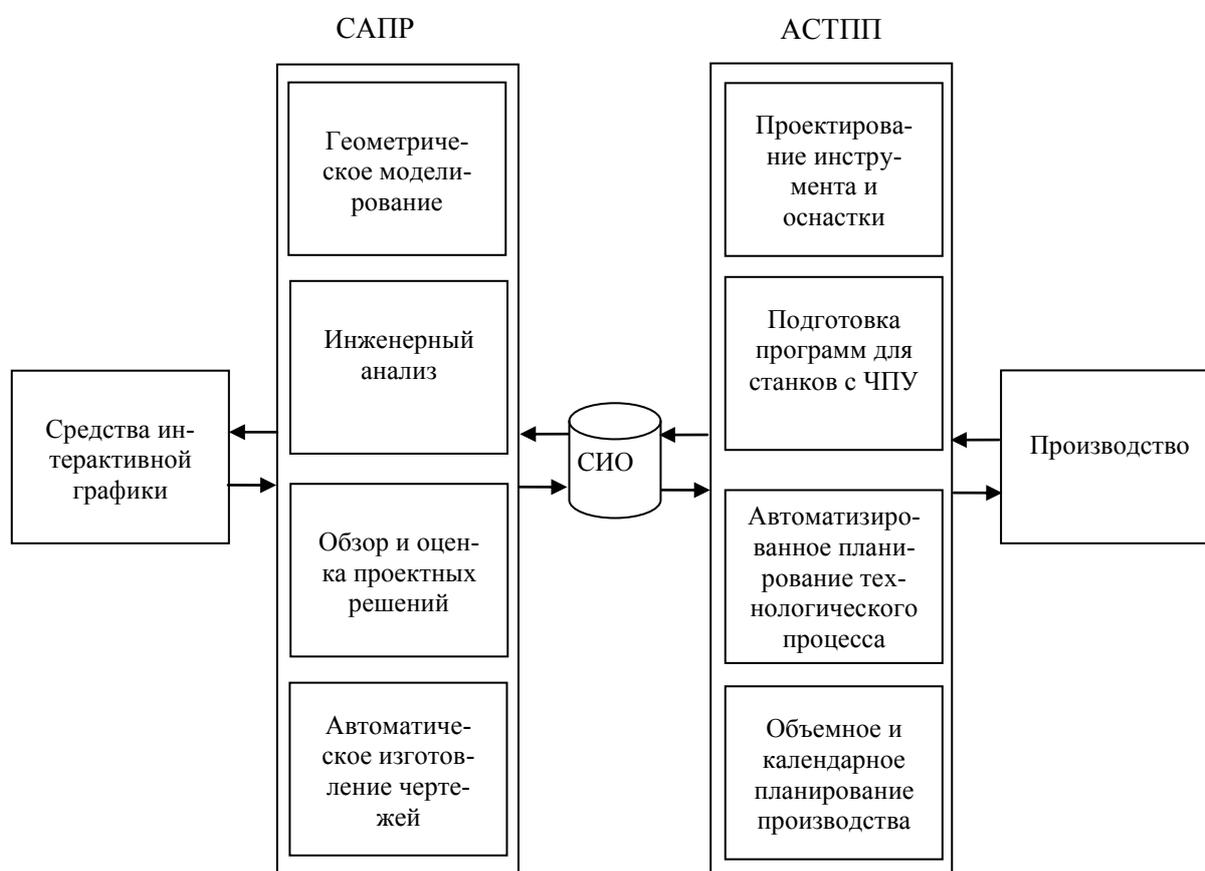


Рис. 8.1. Структура связей СИО с процессами проектирования и производства

БЗ не заменяет и не отвергает БД. Они являются разными уровнями представления информации, которая хранится в СИО.

В системе информационного обеспечения ИПК БД включает в себя две составляющие: базу данных об изделии (БДИ) и базу

данных о технологической среде производственного процесса (БДТ). С БДИ связаны процессы на всех стадиях жизненного цикла изделия (ЖЦ), в то время как БДТ информационно связано с технологической и организационно-экономической подготовкой производства и собственно процессом изготовления (рис. 8.2).

При создании любого нового изделия и ТПП средствами конструкторских и технологических САПР (САЕ/CAD/CAM) в интегрированной информационной среде (ИИС) создаются соответствующие информационные объекты (ИО), описывающие структуру изделия, его состав и все входящие компоненты: детали, сборочные узлы, агрегаты, комплектующие, материалы и т. д.

Каждый ИО обладает атрибутами, описывающими свойства физического объекта, технические требования и условия, геометрические (размерные) параметры, массогабаритные показатели, характеристики прочности, надежности, ресурсы, а также другие свойства изделия и его компонентов.

ИО в составе БДИ содержат информацию, требуемую для выпуска и поддержки технической документации.

Каждый ИО идентифицируется уникальным кодом и может быть извлечен из БДИ для выполнения действий с ним. БДИ обеспечивает информационное обслуживание и поддержку деятельности заказчиков изделия, конструкторов и технологов, управленческого персонала, изготовителя изделия, эксплуатационного персонала заказчика и специализированных служб.

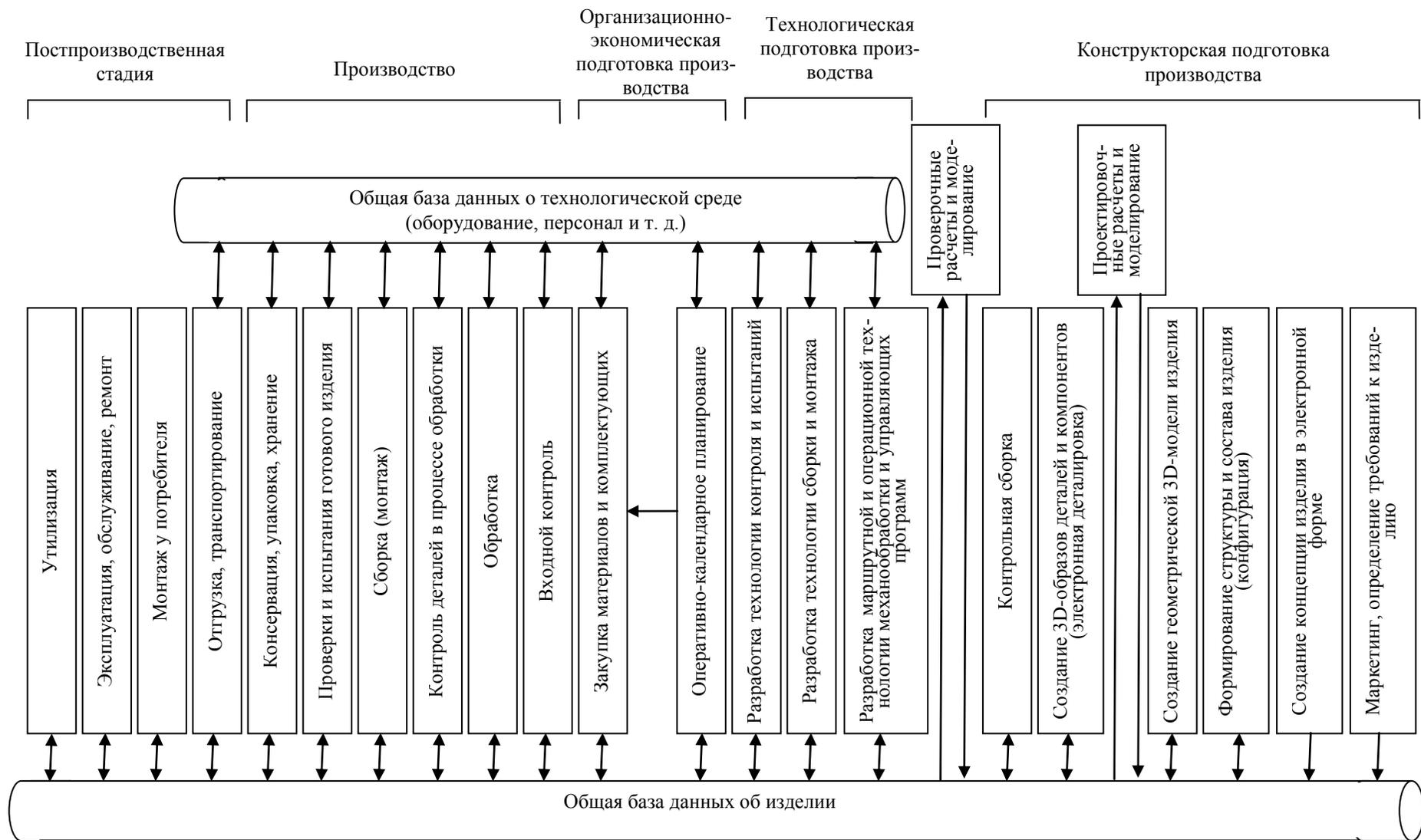


Рис. 8.2. Структура интегрированной информационной среды жизненного цикла изделия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на сложность и высокую стоимость систем автоматизации, эффект от их внедрения весьма велик. Это обуславливается прежде всего тем, что автоматизации поддаются более 50 % конструкторских работ и не менее 75 % по технологической подготовке производства. Что же касается автоматизации производства, то здесь для подавляющего большинства самых распространенных технологий возможности, по-видимому, безграничны.

Особенно эффективно применение КИПС в условиях мелкосерийного и единичного производства при характерных для современного машиностроения тенденциях усложнения конструкций и процессов изготовления изделий, частой сменяемости номенклатуры, сокращении времени их выпуска.

Приходится констатировать, что указанные обстоятельства в конечном счете являются главной причиной недоиспользования ресурсов станочного оборудования из-за сложности оперативного управления производством, больших транспортных издержек, а также недопустимо больших затрат времени на переналадку станков, предъявления повышенных требований к квалификации рабочих.

Как показывают результаты анализа, среднее время нахождения детали на станке составляет лишь 5 % от общего рабочего времени. При этом только 1,5 % времени затрачивается непосредственно на обработку детали, а остальное время – на транспортировку, наладку станка, смену инструмента и т. д. В этих условиях переход к КИПС является главным резервом повышения эффективности производства в современных условиях. Комплексная автоматизация промышленного производства, прежде всего единичного и мелкосерийного, на базе внедрения КИПС позволяет:

- резко (в 7–10 раз) повысить производительность труда;
- сократить длительность производственного цикла;
- повысить технический уровень и качество выпускаемой продукции;
- снизить материало- и энергоемкость продукции;
- увеличить коэффициент сменности оборудования;

- высвободить значительную часть работающих на производстве;
- сократить производственные площади.

Как уже указывалось, комплексный, системный подход к проектированию КИПС выдвигает перед проектировщиками самые различные задачи, начиная от технических и кончая социально-экономическими. При этом одна из важнейших задач встает перед проектировщиками еще до начала работ – обоснование, прежде всего экономическое, целесообразности создания и внедрения КИПС, а также отдельных составляющих КИПС, например САПР или АСТПП.

Социально-экономическая эффективность создания гибких автоматизированных участков, линий, цехов определяется повышением уровня гибкости производства, комплексной автоматизацией производственных процессов и оперативного планирования и управления ими.

В зависимости от типа производства и заменяемой базовой техники соотношение между факторами, формирующими эффект, будет различно:

1) при замене автоматических линий в условиях массового (со сроком сменяемости 2–4 года) и крупносерийного типов производства повышается гибкость, причем уровень автоматизации практически не меняется;

2) при замене универсального оборудования с программным управлением (ГТУ) в условиях серийного типа производства ускоряется переналадка оборудования (фактор гибкости), проводится автоматизация вспомогательных технологических операций, переходов и автоматизация управления производством, то есть в этих условиях на первый план выходят факторы автоматизации;

3) при замене универсального оборудования с ручным управлением или при автоматизации выполнения ручных операций в условиях мелкосерийного и единичного типов производства автоматизируется производство и управление, причем уровень гибкости фактически не меняется.

Эффект интеграции в этом случае формируется за счет объединения преимуществ автоматизации технологических операций и процессов, транспортных потоков и работы складов, с одной

стороны, и автоматизации планирования и учета производства в АСУ цеха – с другой.

Однако составляющие экономического эффекта в условиях снижения серийности производства будут возрастать. Следует особо отметить, что обеспечение гибкости, пропорциональности и ритмичности всего цикла изготовления в КИПС конкретных изделий, а следовательно, и формирование определенных составляющих экономического эффекта возможно только при комплексной автоматизации заготовительных, обрабатывающих и сборочных операций, транспортировки и складирования, обеспечении процесса материалами, инструментами и приспособлениями, уборке отходов производства. Частичная автоматизация не дает в этом случае значительного эффекта. Это говорит о необходимости проведения последовательных мероприятий по автоматизации всего цикла производства ведущих изделий предприятия.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / под ред. Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова. – Москва : Машиностроение, 1986. – 256 с.

2. Компьютерно-интегрированные производства и CALS-технологии : учеб. пособие / под ред. Б. И. Черпакова. – Москва : ГУП ВИМИ, 1999. – 512 с.

3. Васильев, В. Н. Организация, управление и экономика гибкого интегрированного производства в машиностроении. – Москва : Машиностроение, 1986. – 321 с.

4. Гибкие производственные комплексы / под ред. П. Н. Беянина, В. А. Лещенко. – Москва : Машиностроение, 1984. – 384 с.

5. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы: Серия практических пособий : в 14 кн. / под ред. Б. И. Черпакова. – Москва : Машиностроение, 1989.

6. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 1979. – 26 с.

7. Инжекционные микропроцессоры в управлении промышленным оборудованием / О. Т. Хвощ, В. Б. Смолов, А. И. Белоус. – Ленинград : Машиностроение ; Ленингр. отд-ние, 1985. – 182 с.

8. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрофанов, В. В. Павлов, А. В. Рыбаков. – Москва : Наука, 2003. – 292 с.

9. Козырев, Ю. Г. Промышленные роботы : справочник. – 2-е изд. – Москва : Машиностроение, 1988. – 392 с.

10. Когут, А. Е. Эффективность повышения качества продукции в машиностроении. – Ленинград : Машиностроение, 1974. – 240 с.

11. Математическое моделирование организационно-производственных структур ГПС (обзорная информация / ВНИИТЭМР. Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. Информационное обеспечение ЦКП. Вып. 1) / Э. А. Третьяков, С. П. Гринева, Ю. А. Еленева. – Москва, 1986. – 88 с.

12. Микромашинные комплексы систем коллективного пользования / Ю. А. Кривоногов [и др.]. – Киев : Техника, 1986. – 151 с.

13. Ниянзин, Н. Г. Системное проектирование ГПС. – Москва : НИИМАШ, 1984. – 53 с.

14. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологий) / И. П. Норенков, П. К. Кузьмин. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.

15. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / под ред. В. Л. Афолина. – Москва : Машиностроение, 2001. – 256 с.

16. Организационно-технологическое проектирование ГПС / под ред. С. П. Митрофанова. – Ленинград : Машиностроение ; Ленингр. отд-ние, 1986. – 294 с.

17. Основы гибких производственных систем / В. Л. Попов, Д. И. Янкелевич, Ю. А. Тютюнников, О. Г. Бирюлин. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 240 с.

18. Павлов, В. В. CALS-технологии в машиностроении (математические модели) / под ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва : ИЦ МГТУ СТАНКИН, 2002. – 328 с.

19. Полетаев, В. А. Компьютерно-интегрированные производственные системы : учеб. пособие / В. А. Полетаев ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2006. – 199 с.

20. Полетаев, В. А. Компьютерно-интегрированные производственные системы : учеб. пособие ; – 2-е изд., доп. и перераб. / В. А. Полетаев ; Кузбас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2012. – 202 с.

21. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / В. А. Полетаев, В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов, И. В. Чичерин. – Москва : Машиностроение, 2011. – 324 с.

22. Проектирование машиностроительного производства / В. П. Вороненко [и др.] ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – Москва : ИЦ МГТУ Станкин ЯНУС-К, 2002. – 348 с.

23. Промышленные роботы в машиностроении. Альбом схем и чертежей / под ред. Ю. М. Соломенцева, К. П. Жукова. – Москва : Машиностроение, 1987. – 140 с.

24. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении. Альбом схем и чертежей / под ред. Ю. М. Соломенцева, К. П. Жукова. – Москва : Машиностроение, 1989. – 192 с.

25. Робототехника и гибкие автоматизированные производства : в 9 кн. Кн. 5. Моделирование робототехнических систем и гибких автоматизированных производств : учеб. пособие для вузов / под ред. И. А. Макарова. – Москва : Высшая школа, 1986. – 175 с.

26. Рыбаков, А. В. Создание автоматизированных систем в машиностроении : учеб. пособие / А. В. Рыбаков, С. А. Евдокимов, Г. А. Мелешина. – Москва : Изд-во МГТУ Станкин, 2001. – 157 с.

27. Системное проектирование интегрированных производственных комплексов / под ред. В. М. Пономарева. – Ленинград : Машиностроение ; Ленингр. отд-ние, 1986. – 319 с.

28. Трухин, В. В. Проектирование гибких производственных систем : учеб. пособие / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – 199 с.

Дополнительная литература

29. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / под ред. А. Г. Косиловой, Г. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1986. – 656 с.

30. Телешевский, В. И. Принципы построения компьютеризированных систем обеспечения качества // Автоматизация и проектирование. – 1999. – № 1. – С. 21–27.

31. Тенденции развития гибких производственных систем в машиностроении (зарубежный опыт) (обзорная информация / ВНИИТЭМР. Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Сер. ЦКП. Вып. 2) / В. Н. Васильев [и др.]. – Москва, 1986. – 49 с.

32. ГОСТ 26228–85. Термины и определения. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 36 с.

33. Технологические основы гибких производственных систем : учеб. для вузов / В. А. Медведев [и др.] ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд. – Москва : Высшая школа, 2000. – 255 с.

34. Управление ГПС. Модели и алгоритмы / под общ. ред. С. В. Емельянова. – Москва : Машиностроение, 1987. – 368 с.

35. Сетевое окружение виртуальной производственной корпорации / И. Л. Хайт [и др.] // Труды III международного конгресса «Конструкторско-технологическая информатика – 96». – Москва : МГТУ Станкин, 1996. – С. 146–149.

36. Шептунов, С. А. Жизненный цикл продукции. – Москва : Янус-К, 2003. – 244 с.

37. Полетаев, В. А. Интегрированная система управления качеством изделий машиностроения / В. А. Полетаев, И. В. Чичерин. – Москва : Машиностроение, 2010. – 307 с

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ	10
1.1. Задачи создания КИПС	10
1.2. Автоматизированная поддержка производственного цикла создания изделия машиностроения	14
1.3. Создание единого информационного пространства жизненного цикла изделия	22
2. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА	40
2.1. Автоматизация конструкторского проектирования	40
2.1.1. Краткая история развития САПР	40
2.1.2. Структура процесса проектирования	42
2.1.3. Применение ЭВМ для автоматизации процесса проектирования	43
2.1.4. Программное обеспечение САПР и база данных	46
2.1.4.1. Функции пакета программ машинной графики	47
2.1.4.2. Структура и состав базы данных	48
2.1.5. Каркасное и объемное проектирование	50
2.2. Автоматизация технологической подготовки производства (ТПП)	52
2.2.1. Существующие направления проектирования ТП	53
2.2.2. АСТПП поискового типа	56
2.2.3. АСТПП генерирующего типа	57
2.3. Проблемы внедрения систем автоматизированного проектирования	57
2.4. Факторы, влияющие на выбор системы конструирования и подготовку производства для реализации сквозного проектирования на предприятии	62
2.5. Аналитический обзор систем автоматизированного проектирования, применяемых в машиностроении	72
3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА В КИПС	76
3.1. Принципы построения гибких производственных систем	76

3.1.1. Основные направления автоматизации машиностроительного производства.....	76
3.1.2. Основные понятия гибкого автоматизированного производства	78
3.1.3. Структура и виды обеспечения ГПС	83
3.1.4. Примеры ГПС	89
3.1.5. Основные технико-экономические характеристики ГПС	98
3.2. Технологические основы созданий ГПС	100
3.2.1. Принципы классификации и группирования деталей в условиях ГПС	100
3.2.2. Требования к технологичности конструкций деталей	102
3.2.3. Особенности проектирования ТП в условиях ГПС	104
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПС	108
4.1. Методика проектирования.....	108
4.2. Выбор технических средств	110
4.3. Компоновка ГПС	115
5. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГПС	116
6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГПС	122
7. СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИПС	123
7.1. Системный подход при проектировании ИПК	123
7.2. Принципы построения КИПС	125
7.3. Задачи системного проектирования КИПС	129
7.4. Структура процесса проектирования КИПС	130
7.5. Организация и функциональная структура КИПС	134
7.6. Информационное обеспечение КИПС	136
7.7. Аппаратное обеспечение КИПС	140
7.8. Программное обеспечение КИПС	141
7.9. Моделирование при проектировании КИПС	146
8. ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	152
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	154

Полетаев Вадим Алексеевич

**КОМПЬЮТЕРНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЕ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ**

Учебное пособие

Редактор З. М. Савина

Подписано в печать 15.09.2014. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 12,00
Тираж 50 экз. Заказ .

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28

Издательский центр УИП КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4А