

ГЛАВА 8. ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ РОБОТОТЕХНИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.

8.1. Классификация технологических комплексов с применением роботов.

Задача робототехники наряду с созданием собственно средств робототехники заключается и в создании технических систем и комплексов, основанных на использовании этих средств. Как было отмечено в главе 2 при изложении истории развития робототехники, несмотря на непрерывное расширение сферы применения робототехники основной областью этого применения, по-прежнему, пока остается промышленность, и прежде всего машиностроение и приборостроение. Здесь появились первые роботы и сосредоточено до 80% всего парка роботов в мире. Напомним, что роботы, применяемые в промышленности получили наименование промышленные роботы (ПР). Они подразделяются на технологические, которые выполняют основные технологические операции, и вспомогательные, занятые на вспомогательных операциях по обслуживанию основного технологического оборудования. Технические комплексы с такими роботами называются роботизированными – роботизированные технические комплексы (РТК).

Общий термин «робототехнические системы» (РТС) означает технические системы любого назначения, в которых основные функции выполняют роботы. Рассмотрение применения средств робототехники в промышленности начнем с классификации соответствующих технологических комплексов, сложившейся в машиностроении и приборостроении и основанной на следующих основных признаках:

- тип производственного подразделения;
- степень изменения производства, связанная с применением ПР;
- вид технологического процесса;
- количество выполняемых технологических операций;
- тип и количество используемого основного технологического оборудования;
- тип и количество используемых ПР;
- серийность и номенклатура продукции;
- компоновка комплекса;
- принцип управления комплексом;
- степень участия (функции) человека в комплексе.

В табл. 8.1 представлена общая классификация технологических комплексов применительно к машиностроению, основанная на перечисленных выше признаках. Рассмотрим их основные типы, перечисленные в табл. 8.1.

Таблица 8.1.

Классификационные признаки и соответствующие им основные типы технологических комплексов с роботами.

№ п/п	Признак	Наименование
1.	Тип подразделения	технологическая ячейка участок линия цех
2.	Степень изменения производства, связанная с применением ПР	Для вновь создаваемого производства: с принципиально новой технологией с новым технологическим оборудованием Для модернизируемого производства: с изменением технологии с модернизацией оборудования с созданием новых ПР
3.	Вид технологического процесса	Комплекс: механообработки холодной штамповки ковки литья прессования пластмасс термической обработки сварки транспортный контроля и испытаний и т.д.
4.	Тип и количество технологического оборудования	С выполнением основных технологических операций: технологическим оборудованием ПР их комбинацией
5.	Серийность и номенклатура продукции	С определенным размером выпускаемых партий продукции без переналадки комплекса С определенным перечнем видов (типов) выпускаемой продукции
6.	Компоновка комплекса	С компоновкой: линейной круговой линейно-круговой по площади объемной
7.	Тип управления	С управлением: централизованным децентрализованным комбинированным
8.	Участие человека	С участием человека: в выполнении технологических операций основных вспомогательных основных и вспомогательных

Тип производственного подразделения (табл.8.1,п.1). Здесь классификационным признаком служит количество выполняемых технологических операций. Простейшим типом, который лежит в основе более крупных комплексов, является *технологическая ячейка* (ТЯ). В ней выполняется всего одна основная технологическая операция (помимо вспомогательных). При этом количество единиц технологического оборудования и ПР в составе ТЯ не регламентируется. В частности, в ТЯ может совсем отсутствовать технологическое оборудование помимо ПР, когда основную операцию выполняет ПР, или, наоборот, могут отсутствовать самостоятельные ПР, когда последние объединены с основным технологическим оборудованием.

Следующим более крупным комплексом является *технологический участок* (ТУ). Он характеризуется тем, что здесь выполняется несколько технологических операций, которые объединены технологически, конструктивно (оборудованием) или организационно (управлением). Эти операции могут быть одинаковыми или различными. Если различные операции технологически последовательно связаны, то такой участок представляет собой *технологическую линию* (ТЛ).

Технологический участок не обязательно представляет собой совокупность ТЯ и может не иметь их совсем. Например, такой участок может включать несколько единиц технологического оборудования, обслуживаемых одним ПР (неподвижным с размещением оборудования вокруг ПР или мобильным, перемещающимися вдоль ряда единиц оборудования).

Следующим типом комплекса является цех, состоящий обычно из нескольких участков. Пределом развития роботизированного производства является комплексно роботизированное предприятие.

В состав участков и цехов помимо технологических ячеек обычно входят еще склады, транспорт (в том числе и на базе ПР) и системы контроля качества продукции.

Классификация технологических комплексов по степени изменения производства, связанного с применением ПР (табл.8.1,п.2). Такое изменение, очевидно, будет максимально для создаваемых новых производств, основанных на новых технологиях и минимально для действующего производства, автоматизируемого на базе серийных ПР.

Классификация по виду технологического процесса (табл.8.1,п.3) не исчерпывает перечень последних, а включает только типовые для современного состояния областей применения ПР в машиностроении.

Классификация по типу и количеству используемого основного технологического оборудования (табл.8.1,п.4). Здесь выделены два уже названных выше основных варианта: когда ПР выполняют основные технологические операции (сборку, сварку, окраску и т.д.) или – вспомогательные по обслуживанию основного технологического оборудования.

Серийность и номенклатура продукции (табл.8.1,п.5) определяется в данном случае объемом партий продукции, которые можно изготавливать без переналадки комплекса, а номенклатура – шириной перечня выпускаемых видов (типов) продукции. Оба эти показателя имеют существенное влияние на

эффективность применения ПР. В частности, каждый технологический комплекс характеризуется предельными значениями этих параметров, вне рамок которых данный комплекс оказывается экономически невыгодным вплоть до целесообразности перехода от гибких комплексов к специальным автоматам (при большой серийной и узкой номенклатуре) или даже к использованию рабочих вместо ПР (в противоположном случае предельно единичного производства).

В классификации по типу размещения технологического оборудования и ПР (табл.8.1,п.6) приведены основные (базовые) типы компоновок. При простой линейной компоновке оборудование располагается в один ряд (по линии), а при наиболее сложной объемной компоновке – на нескольких этажах (уровнях).

Классификация по типу управления (табл.8.1,п.7) включает рассмотренные выше централизованное, децентрализованное и комбинированное управления. Централизованное управление осуществляется устройством группового управления. Децентрализованное управление реализуется с помощью совокупности местных устройств управления, связанных друг с другом с целью взаимной координации.

Классификация по степени участия человека (табл.8.1,п.8) включает два случая участия человека в работе: когда человек непосредственно выполняет некоторые технологические операции (основные или вспомогательные) и когда он участвует в управлении комплексом.

8.2. Компоновки технологических комплексов с роботами.

В параграфе 8.1 была дана общая классификация технологических комплексов, где могут быть применены роботы. В отличие от простейших комплексов в виде технологической ячейки роботизированным участкам, линиям и цехам присущи следующие принципиально новые качества. Прежде всего – это необходимость транспортно-складской системы и единой системы управления. Эти системы материально и информационно связывают отдельные технологические ячейки, автоматизированные склады (материалов, заготовок, инструмента, отходов производства, готовой продукции) и другие части комплекса в одну согласованно действующую систему машин. Затем такие комплексы должны включать помимо систем динамического управления непосредственно технологическим оборудованием расположенные над ним уровни иерархии управления, решающие задачи программирования и оперативно-календарного планирования (сменного, суточного, недельного и т.д.).

На рис.8.1 показан пример простой линейной компоновки однопоточной роботизированной технологической линии холодной штамповки с непосредственной связью между составляющими линию ячейками. Здесь отсутствует межоперационная транспортная система, а предметы производства передаются от одной ячейки к другой непосредственно входящими в них вспомогательными ПР. Такие линии с непосредственной жесткой связью между

ячейками просты, однако требуют строго определенного взаимного расположения основного технологического оборудования.

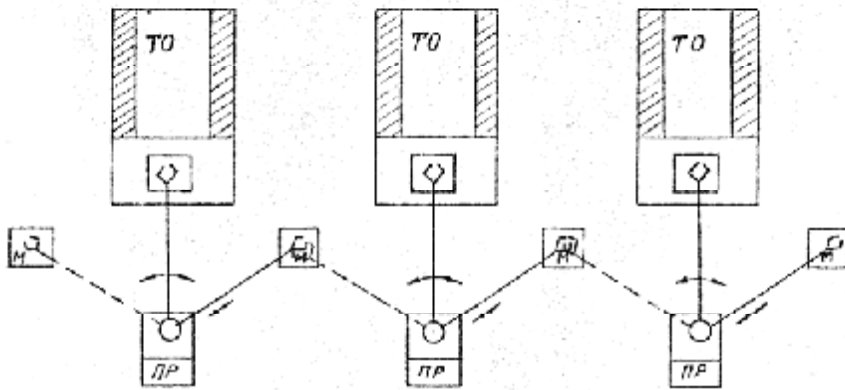


Рис.8.1. Схема однопоточной роботизированной технологической линии холодной штамповки с линейной компоновкой:

ТО – основное технологическое оборудование; ПР – промышленный робот; М – магазин поштучной выдачи заготовок.

На рис.8.2 показан более сложный вариант линейной компоновки однопоточ-

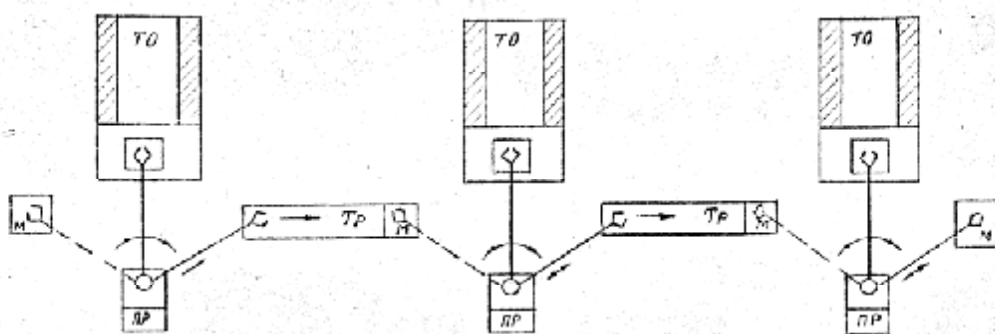


Рис.8.2. Схема однопоточной роботизированной технологической линии холодной штамповки с транспортным устройством:

Тр – транспортное устройство.

ной роботизированной технологической линии тоже холодной штамповки, в которой транспортные связи между составляющими их ячейками осуществляются

с помощью специальных транспортных устройств. Это дает возможность территориально развязать отдельные ячейки и тем самым облегчить компоновку всего комплекса. В качестве транспортного устройства могут быть использованы транспортер, мобильные ПР.

Показанные на рис.8.1 и 8.2 компоновки комплексов характерны для технологических процессов с малым циклом обработки предметов производства на технологическом оборудовании (единицы и десятки секунд), что свойственно, в частности, процессам холодно-листовой штамповки. Для технологических процессов с большей длительностью циклов обработки на технологическом оборудовании часто применяют другой тип построения комплексов с обслуживанием одним ПР нескольких единиц технологического оборудования. На рис.8.3 показан вариант такого комплекса с круговой компоновкой, в котором один ПР обслуживает три металлорежущих станка расположенных вокруг него. Другая

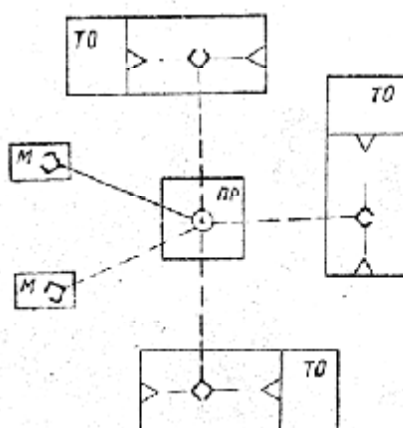


Рис.8.3. Схема роботизированного технологического участка механической обработки с круговой компоновкой.

типовая компоновка линии механообработки с применением подвижного ПР, который может быть напольным или подвесным (перемещающимся, например, по монорельсу), приведена на рис.8.4.

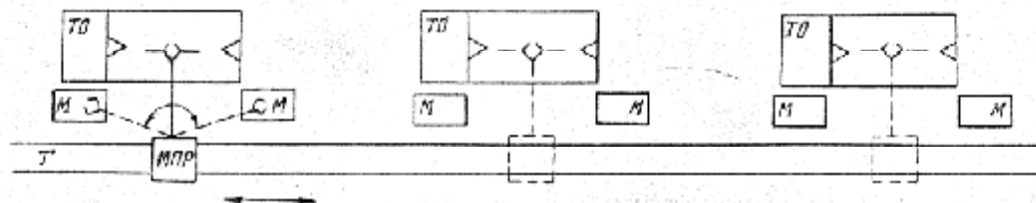


Рис.8.4. Схема роботизированного технологического участка механической обработки с линейной компоновкой, обслуживаемого мобильным промышленным роботом:

МПР – мобильный промышленный робот; Т – трасса промышленного робота.

На рис.8.5 показан пример более сложного роботизированного технологического комплекса для цеха механообработки с линейно-круговой компоновкой. По схеме можно проследить последовательность движения предметов производства.

В приведенных примерах ПР выполняют вспомогательные операции по обслуживанию основного технологического оборудования. На рис.8.6 показана схема сборочной линии с линейной компоновкой, где все основные операции выполняют ПР. Транспортное устройство реализовано в виде шагового конвейера, по которому от одного рабочего места к другому перемещаются кассеты с объектами сборки.

На рис.8.7 представлена схема сборочного цеха, составленного из типовых сборочных линий, показанных на предыдущем рисунке.

На рис. 8.8 изображен типовой робототехнический сборочный участок с круговой компоновкой, характерной для приборостроительной промышленности. Схема дана упрощенно, на ней, в частности, не показаны промежуточные и конечные контрольные операции, обязательные в сборочном производстве.

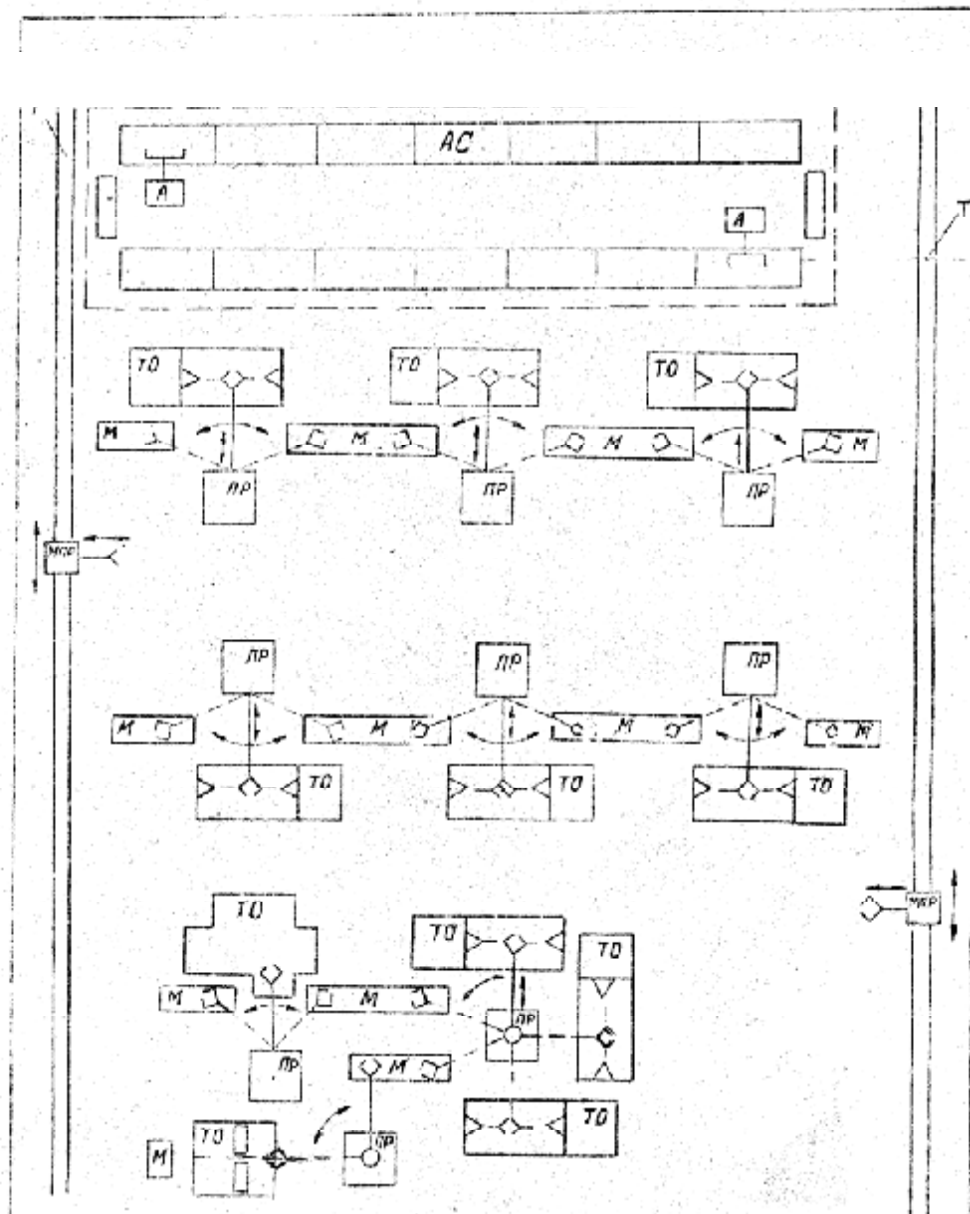


Рис.8.5. Схема роботизированного технологического участка механической обработки с компоновкой по площади:

АС – автоматизированный склад с подвижными автооператорами-штабелерами А; Т – трасса транспортной системы с мобильными промышленными роботами МПР.

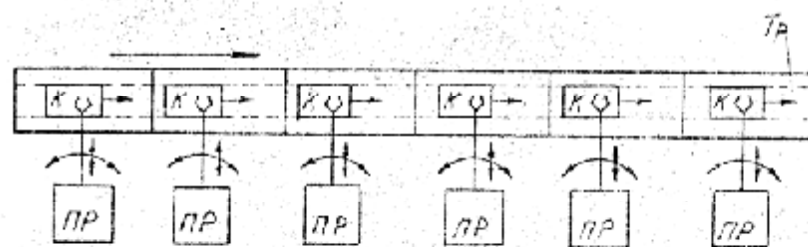


Рис.8.6. Схема сборочной робототехнической линии с линейной компоновкой:

Тр – шаговый транспортер; К – кассеты.

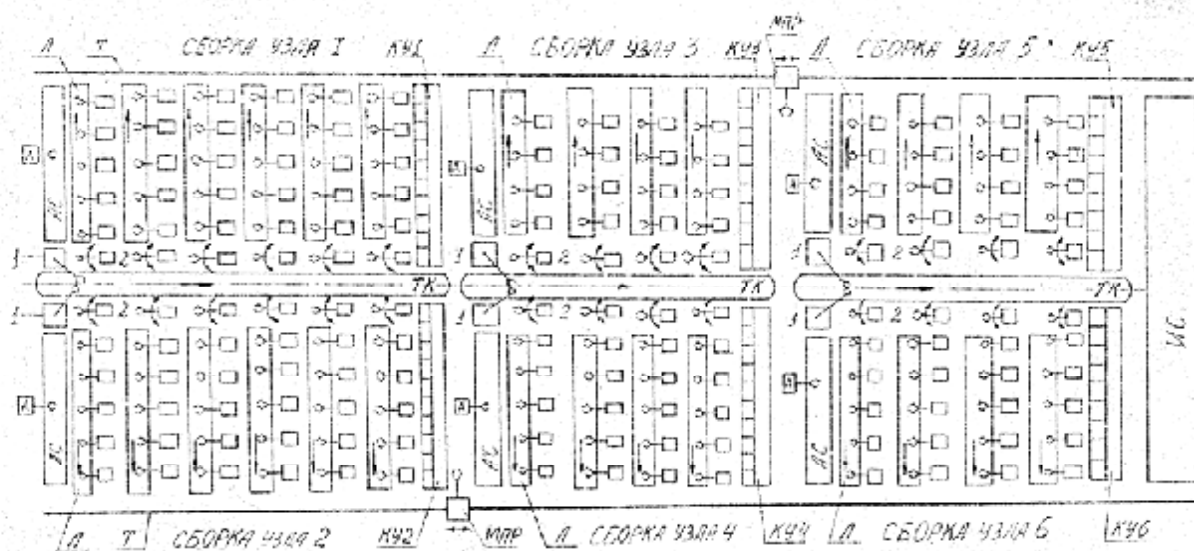


Рис.8.7. Схема сборочного цеха:

Л – робототехническая сборочная линия, КУ1-КУ6 – контроль узлов, АС – автоматизированный склад с автооператором А, ТК – транспортный конвейер, 1 – ПР для взятия кассет со склада и установки их на конвейер, 2 – ПР для взятия кассет с конвейера и передачи на сборку, МПР – мобильный ПР на трассе Т, ИС – испытательная станция.

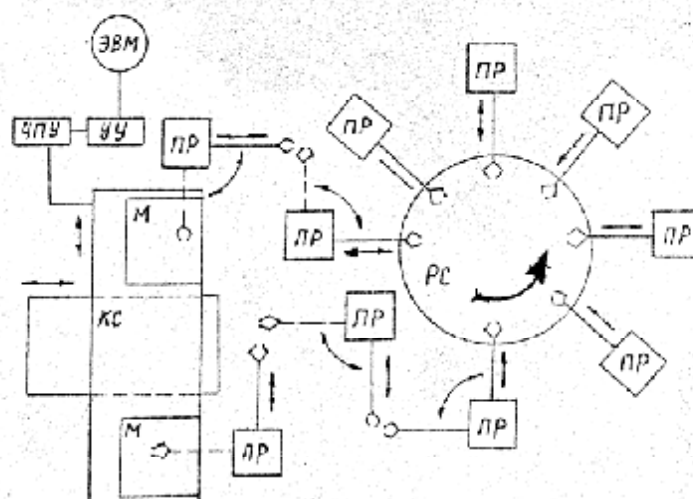


Рис.8.8. Схема робототехнического сборочного участка с круговой компоновкой:

РС – роторный стол, КС – координатный стол, М – магазин, УУ – устройство управления.

8.3. Управление технологическими комплексами.

Все части технологических комплексов объединены общей системой автоматического управления. Эта система является иерархической и включает в общем случае следующие три уровня управления. Первый уровень образуют системы управления отдельными технологическими ячейками и другим работающим в составе комплекса оборудованием. На этом уровне применяют обычно специальные устройства управления типа ЧПУ.

Второй уровень управления – это уровень связывания отдельных частей, включая транспортные системы, в согласованно работающую систему машин. Реализуется этот уровень обычно на стандартных микро-ЭВМ. Помимо координации работы всех составных частей комплекса на этом уровне часто осуществляются контроль технологических режимов и исправности оборудования, синтез управляющих программ для первого уровня, обработка и передача информации между управляемыми частями комплекса и к следующему, третьему уровню управления.

Третий уровень – уровень оперативно-календарного планирования и контроля. Здесь составляется и хранится план производства по объему и номенклатуре на смену, сутки, неделю и т.д., производятся контроль его выполнения, учет и анализ простоев оборудования. В состав этого уровня входят, кроме того, системы технической диагностики оборудования. Реализуется этот уровень на мини-ЭВМ. Все используемые в комплексе ЭВМ объединены в единую локальную информационно-вычислительную сеть.

Перечисленные три уровня управления являются основными и могут дополняться промежуточными уровнями. Так, системы управления отдельными технологическими ячейками в свою очередь могут иметь два уровня управления – уровень управления отдельными единицами входящего в ячейку оборудования и уровень совместного группового управления этим оборудованием в составе ячейки. В крупных комплексах типа цеха, содержащих несколько участков, наряду с системами управления этими участками обычно имеется следующий над ними уровень координации их работы.

8.4. Этапы проектирования технологических комплексов.

В процессе создания технологических комплексов можно выделить три следующих основных этапа: технологический, алгоритмический и технический [16]. На первом этапе осуществляется анализ технологического процесса, в результате чего определяется структура комплекса. На рис. 8.9 показана типовая структура этого этапа. Анализ технологического процесса (ТП) является одним из наиболее ответственных этапов, от качества выполнения которого в значительной степени зависит эффективность разрабатываемого комплекса. В связи с тем, что этот этап включает сравнение большого числа возможных вариантов размещения

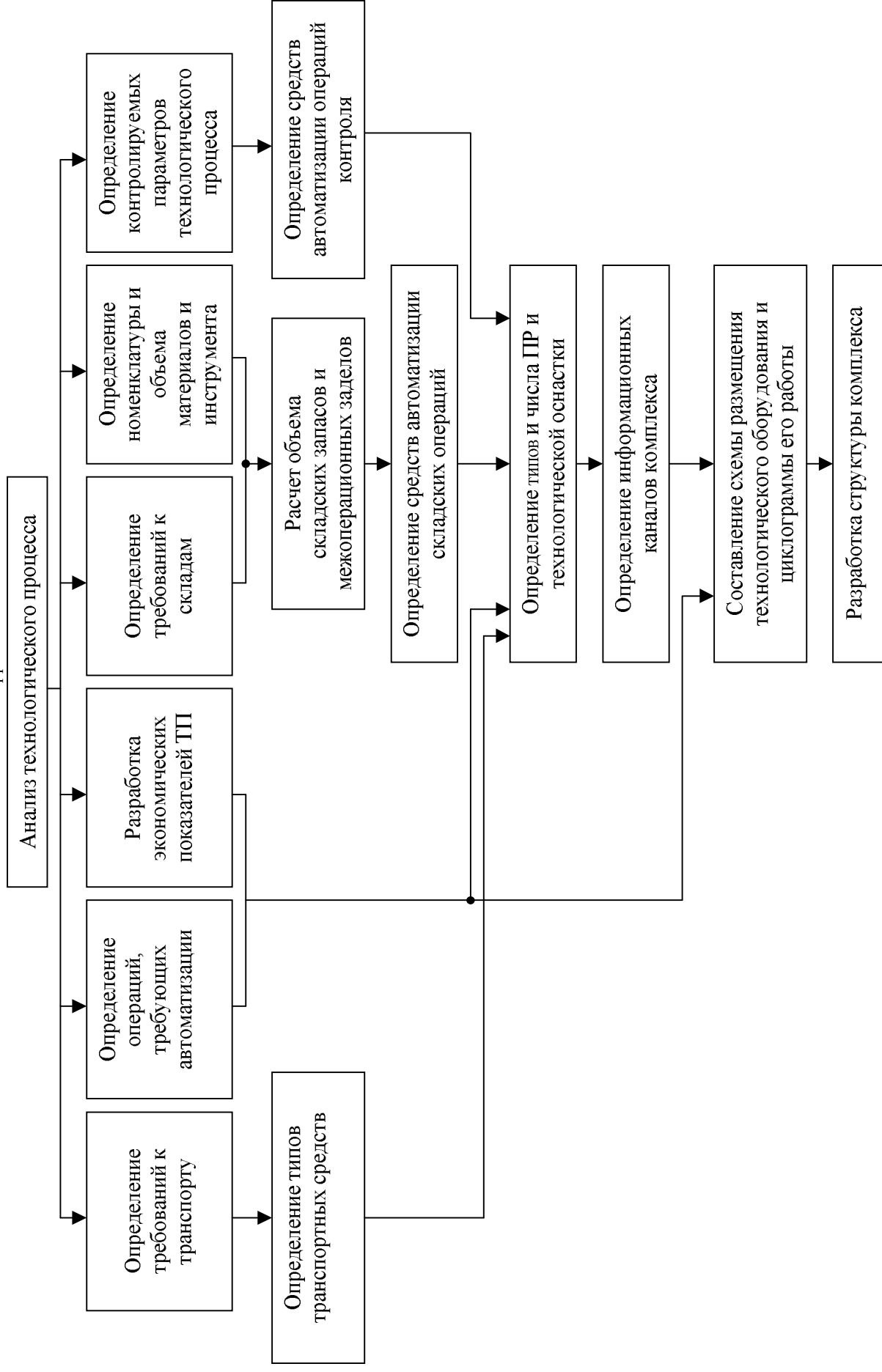


Рис. 8.9. Состав технологического этапа проектирования технологического комплекса.

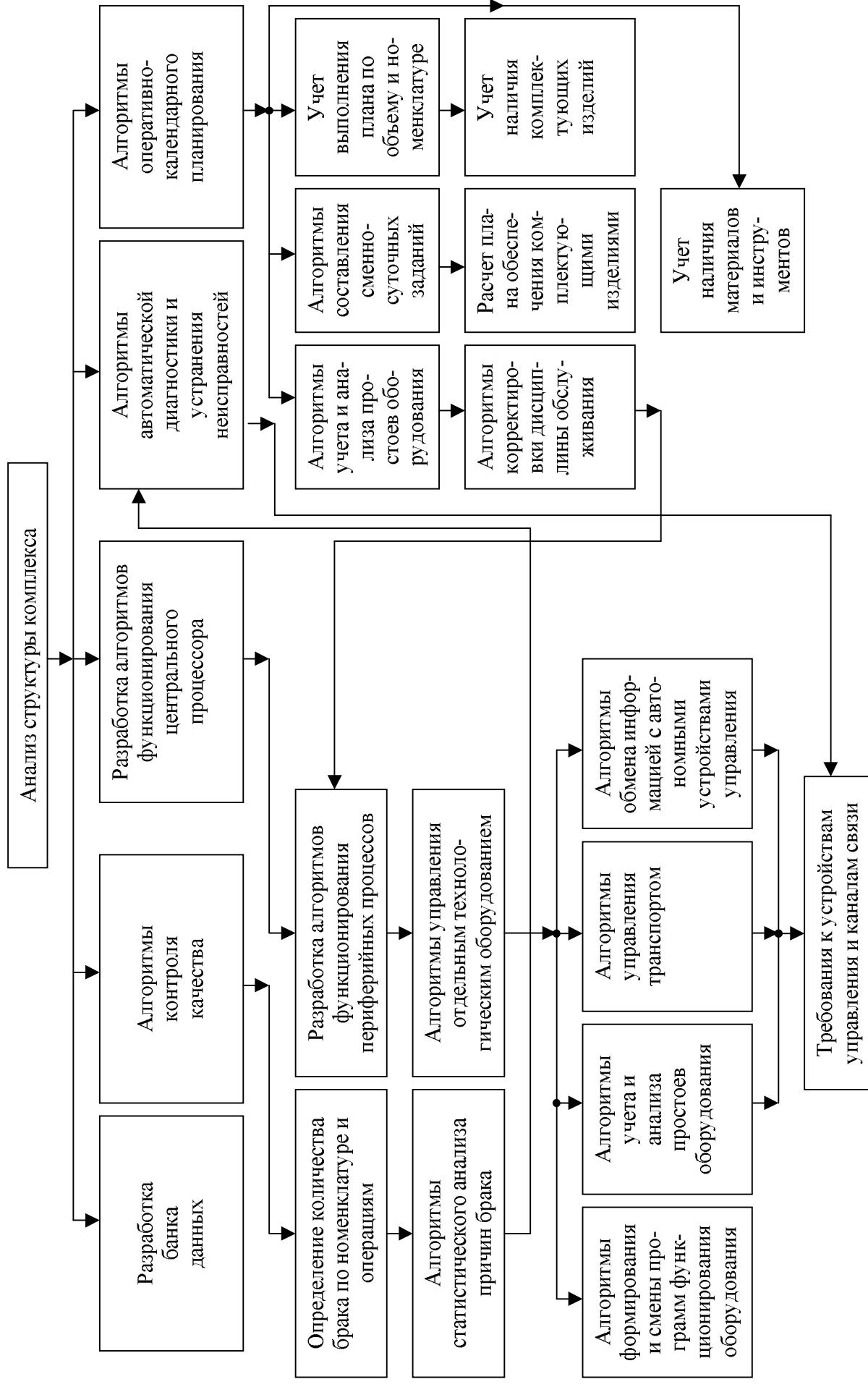


Рис.8.10. Состав алгоритмического этапа проектирования технологического комплекса.

оборудования, транспортных путей и т.п., важным средством его выполнения является компьютеризация.

Результатом следующего алгоритмического этапа разработки является определение алгоритмов функционирования всего комплекса и его частей, требований к устройствам управления, каналам связи и вспомогательному оборудованию. Функционально алгоритмический этап можно представить в виде, приведенном на рис.8.10. На этом этапе происходит также увязка с автоматизированной системой управления предприятием.

На этапе алгоритмического проектирования комплекса необходимо, в частности, учитывать следующие требования:

- наиболее полное и рациональное использование производственных фондов;
- возможность корректировки банка данных в ходе выполнения производственной программы;
- поэтапность ввода технологических комплексов и его частей.

При алгоритмической разработке технологических комплексов важным вопросом является обеспечение требований к надежности комплекса. Выход какого-либо из его устройств не должен влечь за собой остановку всего производственного процесса. Частично для устранения отдельных кратковременных отказов оборудования служат межоперационные заделы, но для полного решения проблемы надежности на стадии алгоритмического проектирования необходимо разрабатывать алгоритмы автоматической диагностики и оперативного устранения неисправностей.

Существенным элементом этого этапа является создание банка данных, содержащего все сведения о типах и характеристиках всего оборудования, устройств управления, каналов связи и т.д. Причем он должен непрерывно корректироваться и расширяться с включением существующих решений по отдельным элементам комплекса и по отдельным технологическим операциям. Банк данных должен включать буфер оперативного управления, через который осуществляется обмен данными с АСУ предприятия, в который заносятся параметры хода производственного процесса.

На рис.8.11 приведена типовая функциональная схема организации управления технологическим комплексом.

Заключительным этапом процесса проектирования технологического комплекса является его техническая реализация. Этот этап включает, в частности, разработку или выбор ПР, их устройств управления, технологической оснастки, транспортных путей и способов транспортировки, каналов связи, устройств информационного обеспечения на основе требований, определенных на предыдущих этапах проектирования.

8.5. Особенности роботизации технологических комплексов в действующих производствах.

Задача комплексной автоматизации и роботизации действующих производств имеет принципиальные особенности, затрудняющие ее решение по сравнению с созданием новых технологических комплексов. В последнем случае создаваемый

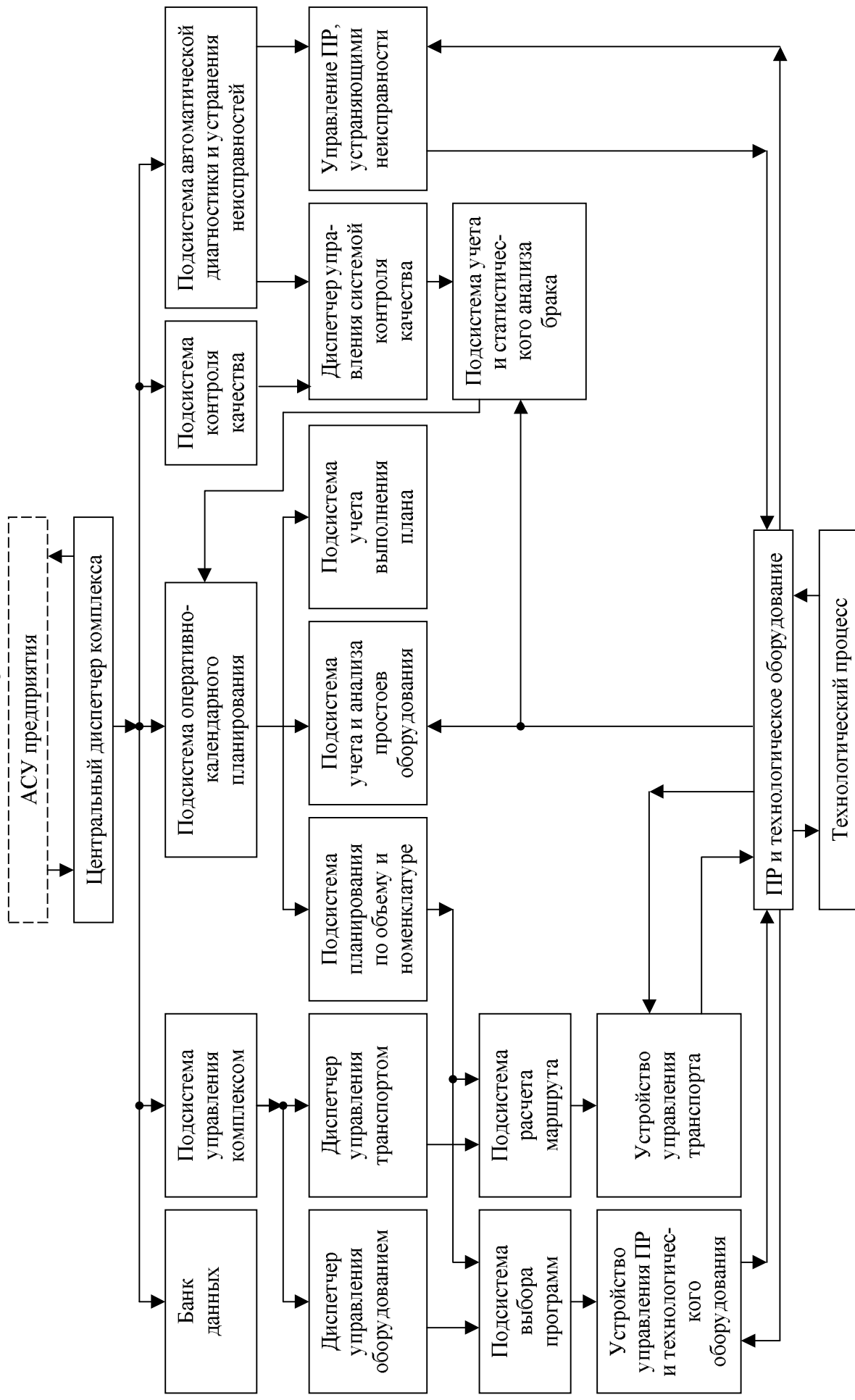


Рис.8.11. Схема управления технологическим комплексом.

комплекс с самого начала проектируют с учетом применения ПР и других средств робототехники, размещения оборудования, возможности использования специализированных ПР и манипуляторов, поставляемых в комплекте с основным оборудованием, сопряжения систем управления всех составных частей и т.д.

При решении этой задачи для действующего производства необходимо учитывать серьезные ограничения, обусловленные тем, что в этом случае речь идет о модернизации в большей или меньшей степени не приспособленного для применения средств робототехники технологических процессов и используемого в нем технологического оборудования. При этом часто не допускается так же длительная остановка производства.

Основными трудностями при решении этой задачи являются:

- необходимость размещения ПР и других средств робототехники на ограниченных площадях действующего технологического комплекса, включая обеспечение транспортных операций;
- необходимость достаточно полного и рационального использования возможностей применения ПР и их устройств управления, что в значительной степени определяет стоимость и эффективность работы всего комплекса, а также удобство его эксплуатации и надежности;
- обеспечение требуемой производительности, т.е., как правило, ее существенного повышения, в том числе за счет соответствующего быстрогодействия ПР.

Существует и ряд других трудностей, связанных с управлением всем комплексом, особенностями конструкции основного оборудования и производимой продукции, однако они имеют меньшее значение.

При решении рассматриваемой задачи первостепенное значение имеет требуемая грузоподъемность ПР и других средств робототехники, поскольку она в основном определяет их размеры, а следовательно, и возможности размещения на рабочем месте вместо высвобождаемых рабочих. В связи с этим при решении вопроса о применении ПР на действующем производстве следует различать следующие три приведенные в табл.8.2 основных случая в зависимости от массы объектов, которыми надлежит манипулировать. Как следует из табл.8.2, наиболее трудным случаем применения ПР и манипуляторов на действующем производстве является работа с изделиями, масса которых измеряется единицами килограммов (примерно до 25 кг), когда для размещения ПР и манипуляторов необходимо больше места, чем требуется для заменяемых ими рабочих.

Основным решением, которое в этом случае приемлемо практически почти всегда, является применение подвесных ПР, в частности с размещением их над основным оборудованием, когда ПР выполняют операции по его обслуживанию. Такое решение получило достаточно широкое распространение, например в механообработке. При этом часто используют мобильные ПР, передвигающиеся над основным оборудованием по рельсовому пути, что дает возможность обслуживать одним ПР несколько станков.

Таблица 8.2.

Особенности применения промышленных роботов (ПР) и манипуляторов (М) в действующем производстве в зависимости от массы объектов манипулирования.

Масса объектов манипулирования	Основная область применения	Занимаемый объем и условия размещения	Типовые решения
Доли килограмма	Приборостроение, легкая промышленность	ПР и М занимают места меньше, чем рабочий, поэтому разместить их на рабочем месте, как правило, несложно.	При использовании ПР для обслуживания основного оборудования ПР или их отдельные модули размещают непосредственно на их оборудовании.
Единицы килограммов	Основная часть машиностроения	ПР и М занимают больше места, чем рабочий. В связи с этим существует проблема их размещения в пределах существующего рабочего места.	Подвесные ПР, в том числе подвижные (на рельсах); модульного построения (с минимальной избыточностью) и вынесенным устройством группового управления.
Десятки килограммов и более	Тяжелое машиностроение, транспорт	ПР и М занимают места не больше, чем рабочий вместе с используемыми им специальными средствами механизации для работы с большими грузами.	ПР модульного построения, сбалансированные манипуляторы.

Наряду с ПР для рассматриваемых целей широкое применения находят сбалансированные манипуляторы с ручным управлением. Размещаясь на вертикальной колонне, они занимают значительно меньше места, чем ПР той же грузоподъемности, благодаря чему их часто можно устанавливать в действующих цехах без перемещения основного оборудования. Кроме того, такие манипуляторы дешевы и просты в управлении. Их применение позволяет существенно облегчить условия труда, повысить производительность, а за счет этого сократить количество рабочих.

8.6. Гибкие производственные системы.

Рассмотрим теперь особенности применения средств робототехники при создании новых комплексно-автоматизированных производств. Их высшей формой являются гибкие автоматизированные производства (ГАП). Такие производства позволяют быстро переходить на выпуск новой продукции, осуществлять ее модернизацию, совершенствовать технологию производства прежде всего путем смены управляющих программ. Создание и внедрение ГАП выходит за рамки робототехники, однако ПР являются важнейшим универсальным компонентом таких производств.

На рис. 8.12 приведен типовой состав ГАП. Как здесь показано, в наиболее полном, завершенном виде такое производство состоит из двух частей:

- гибко автоматизированной собственно производственной части, представленной в верхней части рисунка, которая непосредственно реализует технологический процесс изготовления изделий, и
- автоматизированных систем научных исследований и проектирования подлежащих изготовлению изделий (АСНИ, САПР) и технологической подготовки их производства (АСТПП), реализуемых с помощью показанных в нижней части рисунка автоматизированных рабочих мест (АРМ). Эти части объединены общей системой управления АСУ, которая реализуется локальной компьютерной сетью.

Предел, к которому стремится процесс гибкой автоматизации производства, можно кратко определить так:

- автоматическое производство изделий сколь угодно малыми партиями;
- себестоимость и производительность, близкие к достигнутым в современном массовом производстве;
- практически безлюдное производство – количество работающих по сравнению с существующим меньше на два порядка;
- комплексная автоматизация всех частей производства, включая технологические процессы, подготовку производства, разработку конструкторской документации на выпускаемые изделия, планирование и управление производства в целом.

Таким образом, в максимально полном исполнении ГАП на его вход поступают технические задания на очередное изделие, а на выходе – готовая продукция. При этом весь процесс может происходить непрерывно круглые сутки на основе машинных носителей информации, т.е. без бумажной документации.

В целом понятие гибкость можно определить как возможность быстрой реакции производства на следующие внутренние и внешние «возмущения»:

- задания извне переходить на выпуск новой продукции в пределах заданной номенклатуры должны реализоваться путем смены управляющих программ, а при изменении этой номенклатуры – путем изменения состава используемого технологического оборудования;

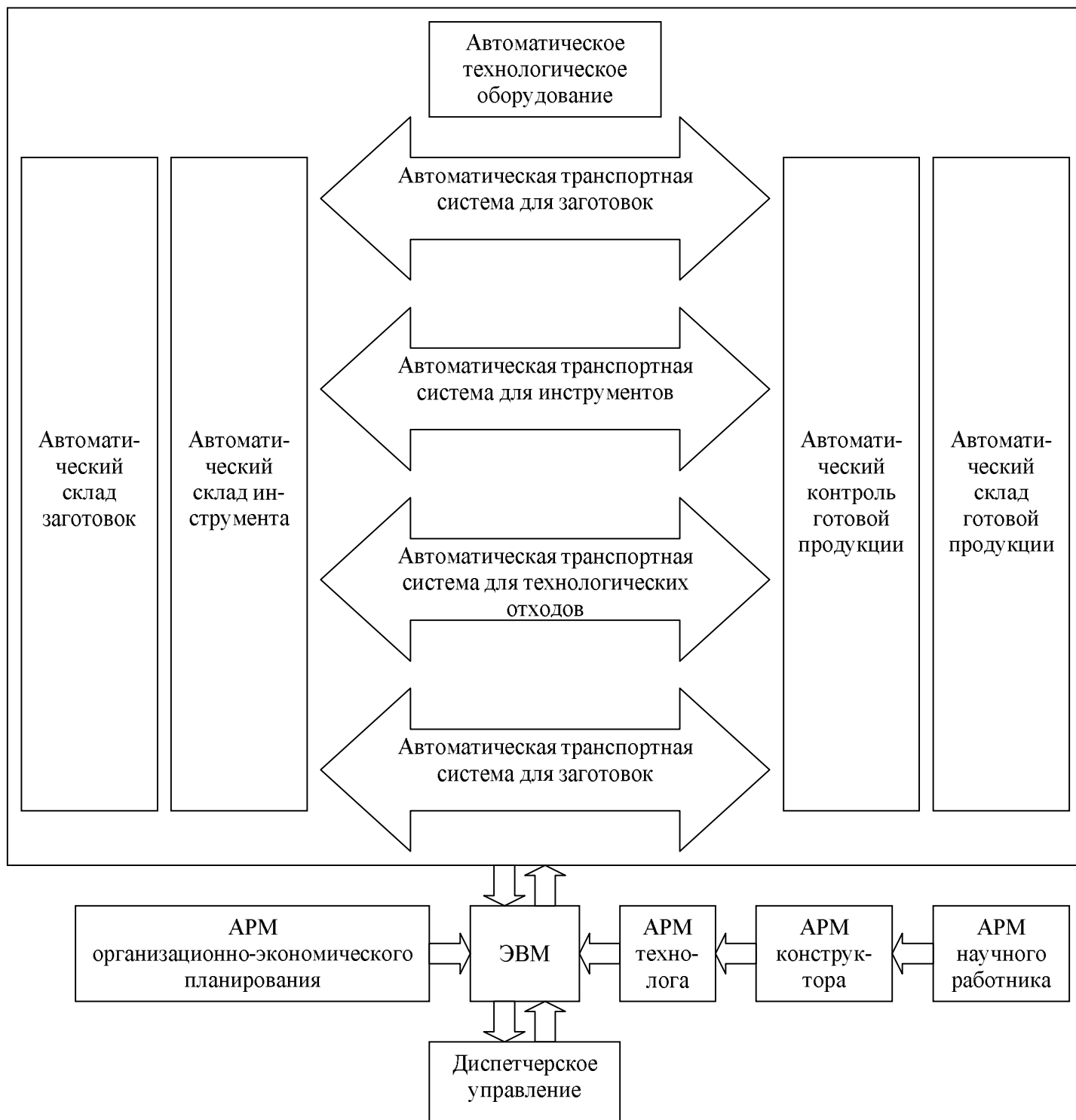


Рис.8.12. Состав гибкого автоматизированного производства.

- выход из строя отдельных единиц оборудования или других частей производства должен быстро парироваться их заменой.

Для мелкосерийного производства степень гибкости обычно характеризуется количеством типов изделий, которые изготавливают путем смены только программ. Типичные значения этой величины для современных ГАП механообработки — десятки типов деталей и сотни их модификаций. Антиподом ГАП в отношении гибкости являются автоматические линии с так называемой жесткой автоматизацией (см.рис. 8.13).

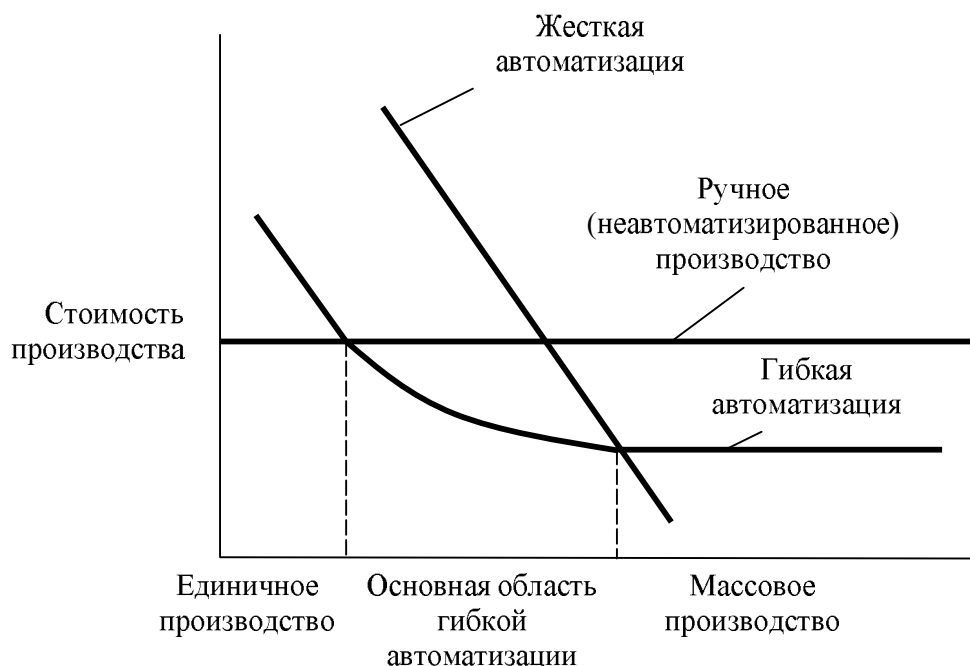


Рис.8.13. Зависимость стоимости продукции от объема ее выпуска для различных видов производства.

В мире с внедрением гибкой автоматизации связываются следующие конкретные выгоды:

- повышение конкурентоспособности продукции (за счет более быстрой сменяемости выпускаемых изделий, повышения их качества, экономии ресурсов и труда);
- рост производительности;
- стабилизация производства и ускорение оборачиваемости капитала;
- повышение эффективности использования рабочей силы;
- создание новых технологических процессов и производств.

Основным принципом построения гибких производств является компоновка их из комплектно-поставляемых унифицированных модулей. В соответствии с составом ГАП, показанным на рис. 8.12, основными такими модулями являются технологические (робот-сборщик, сварщик и т.д., станок-робот, пресс-робот и т.д.), транспортные (в том числе на базе транспортных навесных и напольных роботов), складские (в том числе с роботами-штабелерами), модули контроля качества

продукции и технической диагностики оборудования. Последние модули образуют систему автоматического контроля качества, без которой невозможна автоматическая работа всего комплекса. В задачи таких систем входят собственно измерение контролируемых параметров, регистрация результатов этих измерений, визуализация их на терминалах, подача управляющих воздействий в системы управления оборудованием, когда по этим параметрам осуществляется автоматическая корректировка технологических процессов (например, в случае адаптивного управления станками, учитывающего износ инструмента, изменение размеров заготовок и т. п.). Примером оборудования, используемого в системах автоматического контроля ГАП, являются робототехнические контрольно-измерительные машины.