

621.37/39
Б69

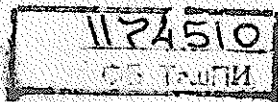
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Утверждено Методической
комиссией института

И.Г.Блянов, А.П.Комаренков

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ
И АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОБОРУДОВАНИЯ

(Учебное пособие по курсу
"Проектирование систем оборудования")



Москва - 1981

Материал, изложенный в данном учебном пособии, читается студентам факультета электронного машиностроения Московского института электронной техники на завершающем этапе общей конструкторской подготовки молодых специалистов по курсу "Проектирование систем оборудования". В пособии включены следующие разделы курса: техническая система предприятия, основные направления и задачи автоматизации технологических процессов микроэлектроники, проектирование автоматических линий и автоматизированных технологических комплексов, производительность автоматических систем оборудования. Другие разделы названного курса (основные положения теории производительности, особенности разработки технологических процессов автоматизированного производства, агрегатирование оборудования и др.) рассмотрены в учебном пособии "Основы комплексной механизации и автоматизации производственных процессов микроэлектроники", издание РИО МИЭТ, 1977 г. (авт.: И.Г.Блинов, А.П.Козевников, В.А.Пупко).

© Московский институт электронной техники (МИЭТ), 1981

Редактор Э.М.Пушкина

Техн. редактор Д.Г.Лосьякова

Корректор Н.И.Дуничева

Л-88893 Подп. к печати 30.12.81
Тираж 250 Объем 3,6 уч.-изд.л.

Заказ 37
Цена 20 коп.

Множительный участок 25 (МИЭТ)

Г л а в а I

ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРЕДПРИЯТИЯ

I.1. Системный подход при проектировании современной техники

Автоматизация производственных процессов — одна из основных тенденций развития социалистического производства, обеспечивающая повышение производительности общественного труда, качества выпускаемой продукции, улучшение условий труда рабочих.

Главной задачей переснащения микроэлектронного производства оборудованием нового поколения является осуществление перехода от создания и внедрения отдельных машин к разработке и внедрению систем оборудования, обеспечивающих высокий уровень автоматизации как основных технологических процессов, так и вспомогательных операций (транспортирование, загрузка и выгрузка изделий и т.п.).

Большая часть современного парка машин — специальное оборудование, основными показателями которого являются такие параметры как производительность, надежность, экономическая эффективность. Задачи, решаемые при создании оборудования, тем труднее и многовариантнее, чем оно сложнее и чем выше степень его автоматизации. Соответственно возрастает и цена ошибок проектировщиков, убыточность неоптимальных решений.

Научно-техническая революция существенно изменила исходные принципы конструирования современных технических систем, для которых характерны большие масштабы, большой объем выполняемых функций, высокая абсолютная стоимость и т.д.; наличие определенной целостности, функционального единства (общей цели, назначения и т.д.), что приводит к сложному иерархическому строению; сложность поведения системы; высокая степень автоматизации, означающая, в частности, повышение степени самостоятельности системы; нерегулярное, статистически распределяемое по времени поступление внешних воздействий и др. Эти системы получили название больших систем (например, автоматические системы обработки информации, автоматизированные системы управления и т.д.).

Разработка и конструирование больших систем внесли существенные изменения в общие методы технического мышления: системный подход стал рассматриваться как важнейший компонент современной техники. Единство технической системы, поведение системы, системность в проектировании и т.д. — вот исходные положения новых методов технического мышления.

Системный подход позволяет проводить анализ и синтез разнородных по своей природе и сложности объектов, выявляя важнейшие характерные черты функционирования конкретной системы и учитывая наиболее существенные для всей системы факторы. Значение системного подхода особенно велико при проектировании и эксплуатации больших человеко-машинных систем управления. Использование системного подхода при изучении объекта позволяет учесть множество факторов самого различного характера, выделить из них те, которые оказывают на объект наибольшее влияние с точки зрения общесистемных целей и критериев, найти пути и методы эффективного воздействия на эти факторы.

Создание новой техники — комплексный процесс, требующий участия в нем специалистов различных профилей: разработчиков, исследователей, конструкторов, технологов и др. В комплексе работ по созданию техники главным и определяющим этапом является разработка конструкторского проекта, которая окончательно определяет инженерно-техническое оформление машины и комплекса оборудования. Конструктор обобщает труд различных специалистов, занятых на предыдущих этапах.

Автоматизация резко повышает требования, предъявляемые к проектированию оборудования, к качеству конструкций, методам изготовления и сборки, монтажа и отладки машин. Практика автоматизации производства показывает, что при проектировании новых высокопроизводительных автоматических машин (комплексов оборудования, механизированных и автоматизированных линий) недостаточно интуиции и опыта. Необходима глубокая инженерная проработка и точный расчет на основе комплексного (системного) подхода к решению задач.

Системный подход основан на применении ряда основных понятий и положений, среди которых, в первую очередь, следует выделить понятия системы, иерархии, потоков материалов информации и энергии.

В общем случае под системой понимается наличие множества объектов с набором связей между ними и между их свойствами. Системами являются: машина, собранная из деталей и узлов; живой организм, образованный совокупностью клеток; предприятие, объединяющее и связывающее в единое целое множество производственных процессов, коллективов людей, различные виды ресурсов, готовую продукцию и пр. При этом объекты (части) функционируют как единое целое — каждый объект, подсистема, ячейка работает ради единой цели, стоящей перед системой в целом. Следовательно, особенность системного подхода состоит в том, что в допустимых границах система исследуется как единый организм с учетом внутренних связей между отдельными элементами и внешних связей с другими системами и объектами.

Рассмотрим входящие в определение системы термины: "объекты", "связи" и "свойства".

Объекты — части, компоненты и элементы системы. Обычно рассматривается одновременно множество таких частей (атомов, звезд, технологических процессов и машин, производственных подразделений и т.д.).

Свойства — качества элементов или объектов, используемых в системе. Свойства дают возможность описывать объекты системы, они могут изменяться в результате действия системы.

Связи — это то, что соединяет объекты и их свойства в целое. Предполагается, что связи существуют между всеми системными элементами, между системами и подсистемами.

Связи, функционально необходимые друг другу, называют связями первого порядка. Если в системе присутствуют дополнительные связи, в значительной степени улучшающие ее действие, но не являющиеся необходимыми, то такие связи называют связями второго порядка. Излишние или противоречивые связи называются связями третьего порядка.

Системы делятся на физические и абстрактные. Физические системы состоят из естественных или искусственных объектов — изделий, оборудования, машин и т.п. В абстрактных системах свойства объектов существуют только в уме исследователя в виде символов. Между абстрактной системой и ее физической реализацией (физической системой) проявляется тесная внутренняя связь. Для изучения физической системы ее заменяют абстрактной системой с теми же отношениями, и задача становится чисто математической: в этом случае говорят о математической модели системы.

Системы существуют в некоторой окружающей среде и обуславливаются ею. В то же время сама окружающая среда определяется набором объектов.

1.2. Предприятие как большая система

Предприятие является сложной системой, состоящей из отдельных частей и элементов - цехов и служб. В то же время предприятие само является элементом отрасли, а отрасль - элементом народного хозяйства.

Создаются предприятия как целостные механизмы; мощность и технический уровень их цехов и подразделений находятся в пропорциональном соотношении друг с другом. Спустя некоторое время после начала деятельности под воздействием объективных условий (научно-технического прогресса, развития предприятия), а также субъективных действий управления (когда решения принимаются без учета того, что предприятие представляет собой систему) пропорции могут нарушаться. Изменение по мощности или по объему какого-либо элемента из системы нарушает соотношение между всеми элементами и, таким образом, влияет на всю систему в целом. В ряде случаев эти изменения могут даже разрушить данную систему, поскольку цель, поставленная перед ней, не может быть выполнена. Поэтому в процессе управления необходимо учитывать последствия любого вмешательства.

Современное предприятие по производству интегральных схем, объединяющее множество производственных процессов, коллективов людей и состоящее из ряда цехов с большим количеством различных согласованных друг с другом машин и агрегатов, является примером большой системы, а следовательно, и подход к изучению и анализу его как большой системы может дать положительные результаты при определении направления и перспектив развития электронного машиностроения.

В предприятии ясно просматриваются однородные группы элементов, подэлементов и микроэлементов, образующих как бы своеобразные подсистемы: техническую и технологическую системы, систему организации производства (систему совместного труда), экономическую систему.

1.3. Техническая система предприятия

Техническая система предприятия является структурно-образующей частью. В свою очередь, она сама состоит из систем машин и механизмов различного назначения (машин, станков, агрегатов, аппаратов и др.). Однако не всякая группа оборудования есть техническая система. Техническая система должна представлять взаимосвязанный комплекс оборудования, обеспечивающий решение поставленной производственной задачи. Отдельные машины или группы машин должны быть определенным образом расположены, сочетаться друг с другом по производительности. Техническая система выражает производственные мощности данного предприятия.

В техническую систему, в свою очередь, входят три основные системы машин и механизмов: система энергетических машин, система технологических машин, система машин и устройств управления. Каждая из этих систем (или подсистем) должна быть тщательно проработана в процессе проектирования и создания высокоавтоматизированного производства.

1.4. Комплекты оборудования для производства интегральных схем

В настоящее время при проектировании оборудования для микроэлектроники наблюдается тенденция создания комплектов оборудования и технологических линий для проведения производственного процесса, начиная от заготовительных операций и кончая операциями герметизации, выходного контроля и упаковки готовой продукции.

Комплект оборудования представляет собой полный набор технологически необходимого (основного и вспомогательного) оборудования, обеспечивающего заданный выпуск годной продукции, территориально объединенный в цех, участок или группу.

При разработке комплектов оборудования учитываются последовательность технологических операций, особенности их выполнения, требования электронно-вакуумной гигиены, возможность и пути исправления брака. Кроме того, комплексные разработки позволяют оформлять оборудование в едином стиле, удовлетворяющем требования промышленной эстетики. При комплексной разработке используются методы узло-

вого (модульного) конструирования, что значительно повышает эффективность, надежность и долговечность оборудования.

Комплекты оборудования значительно сокращают сроки подготовки производства, монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования, а также сроки освоения и достижения их проектной мощности.

Современные комплекты оборудования могут насчитывать сотни установок более 50 - 60 наименований, отличающихся друг от друга методами обработки изделий, точностью, производительностью, уровнем механизации и автоматизации.

Комплект оборудования "Корунд" для промышленного производства полупроводниковых ИС [1], предназначенный для массового изготовления полупроводниковых интегральных схем на подложках диаметром 75 мм, охватывает все технологические процессы изготовления структур (обрабатывающая фаза), сборки приборов в пластмассовом корпусе на отрезках ленты, контроля электрических параметров и испытаний ИО (сборочная фаза). Комплект оборудования "Корунд" оснащен высоконадежными прецизионными системами автоматического регулирования и программирования, термическими камерами и реакторами с высокой равномерностью температурного поля, системами управления газовыми потоками и т.д. В комплекте унифицированы узлы, электрические блоки установок, а также пылезащитные камеры с ламинарным потоком обеспыленного воздуха. В состав комплекта оборудования входит система централизованного управления комплектом с использованием ЭВМ, предусматривающая сбор и обработку статистической информации о работе комплекта с выводом данных на центральный пульт.

Весь комплект оборудования "Корунд" разбит на участки (фото-литографии, диффузии, теххимии, вакуумного нанесения пленок, измерения параметров, сборки). На всех участках имеются накопители с автоматизированным учетом пластин (НАУП) для межоперационного хранения полупроводниковых пластин в специальных кассетах в потоке обеспыленного осушенного азота (с ограничением или без ограничения времени хранения). Применение накопителя в комплекте позволяет повысить выход годных ИС и увеличить коэффициент загрузки оборудования.

1.5. Технологические поточные линии

Тенденция развития производства изделий массового характера, к которым относятся и полупроводниковые интегральные схемы, показывает, что на определенном этапе повышение эффективности производства может быть достигнуто внедрением методов поточной организации труда — созданием технологических поточных линий [2].

Поточная линия — это такой производственный участок, на котором рабочие места (машины, станки и т.п.), рассчитанные на выполнение одной или нескольких однотипных операций, расположены в линию по ходу технологического процесса, а обрабатываемое изделие передается на последующие операции сразу же после выполнения предыдущих. Все разнообразие поточных линий можно классифицировать по ряду признаков (рис.1.1).

По степени механизации и автоматизации технологических операций поточные линии делятся на механизированные, комплексно-механизированные, автоматические и автоматизированные (полуавтоматические).

Механизированные линии — это линии, в которых большая часть операций выполняется механически (на машинах и других устройствах), но некоторые основные и вспомогательные операции выполняются вручную из-за невозможности или нецелесообразности их механизации; при этом процессы перемещения обрабатываемых изделий от одного рабочего места к другому механизированы.

Комплексно-механизированные линии — линии, осуществляющие с помощью механизмов и машин все без исключения основные, вспомогательные и обслуживающие операции, входящие в состав всего процесса или части процесса изготовления изделия.

Автоматические линии — системы автоматических машин, расположенных в технологической последовательности, объединенных средствами транспортировки, управления и автоматически выполняющих комплекс операций, кроме контроля и наладки.

Автоматизированные линии — линии, в которых наряду с операциями, выполняемыми автоматически, совершаются и ручные операции.

В зависимости от характера движения изделий по операциям производственного процесса (по степени непрерывности производственного процесса) различают прерывно-поточные и непрерывно-поточные линии.

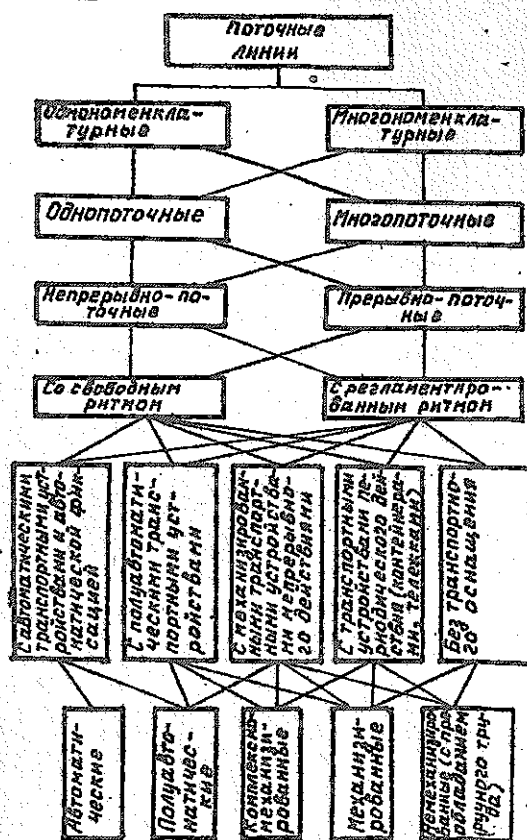


Рис. I. I. Классификация поточных линий.

Непрерывно-поточные линии - линии, на которых длительности всех операций производственного процесса синхронизированы во времени (т.е. равны или кратны ритму линии). Ритм непрерывно-поточных линий может быть принудительным (регламентированным) или свободным, поддерживаемым самим оператором.

Прерывно-поточные линии - линии, на которых длительность операций (все или часть из них) не согласованы с ритмом линии. Прерывно-поточные линии являются преобладающим типом поточных линий в электронной промышленности.

Линии разделяются также по способу и характеру поддержания ритма работы:

1) линии с регламентированным ритмом характерны для непрерывно-поточного производства. Жесткость ритма поддерживается принудительным распределением изделий по рабочим местам с помощью транспортирующих устройств;

2) линии со свободным ритмом не имеют технических средств, строго регламентирующих ритм работы. Эти линии применяются при любых формах потока, и соблюдение ритма в этом случае возлагается непосредственно на операторов данной линии.

По номенклатуре закрепленных за линией изделий и порядку их чередования линии делятся на:

1) однономенклатурные (однопредметные), на которых изготавливаются изделия одного типа. Эти линии применяются в массовом производстве продукции, обеспечивающем достаточную специализацию и полную загрузку рабочих мест;

2) многономенклатурные (многопредметные) поточные линии, на которых изготавливаются по унифицированному технологическому процессу несколько наименований конструктивно схожих изделий. Эти линии позволяют внедрять методы поточной работы в серийном производстве.

В зависимости от количества одновременно обрабатываемых объектов одного наименования линии делятся на однопоточные и многопоточные. Для электронной промышленности характерно чередование операций с пштучной обработкой изделий (однопоточные) и операций с обработкой изделий партиями (многопоточные участки).

В качестве примера поточных линий, применяемых в электронной промышленности, можно привести комплексно-механизированную линию сборки диодов (рис.1.2). Линия включает операции сборки от загрузки кристаллов в кассеты до упаковки готовых диодов. Оборудование линии расположено в последовательности осуществляемых операций

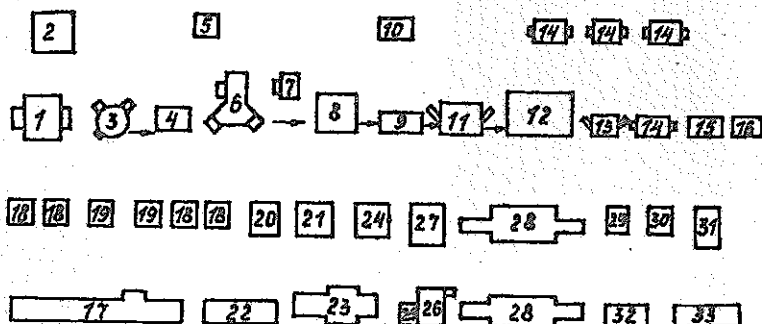


Рис. I.2. Комплексно-механизированная линия сборки диодов.

технологического процесса. Все оборудование можно подразделить на три участка, на которых выполняются следующие комплексы (группы) технологических процессов: получение $p-n$ -перехода (позиции I-16); сборка (позиция 17); испытания, классификация, маркировка и упаковка прибора (позиции 18-33).

Операции на линии слабо синхронизированы. Поточная линия относится к прерывно-поточным, однономенклатурным, многопоточным (часть операций с поштучной обработкой), комплексно-механизированным. Транспортирующим элементом и одновременно материалом для изготовления кристаллодержателя собираемого диода служит непрерывная лента.

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

2.1. Характерные особенности современного производства

Различают три вида производства: массовое, серийное и единичное с внутренним разделением (например, мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное).

При массовом производстве каждое технологическое оборудование специализируется на выполнении одной операции технологического процесса без переналадки. При серийном производстве технологическое оборудование специализируется на выполнении нескольких закрепленных за ним операций, чередующихся в определенной последовательности. При единичном производстве оборудование выполняет различные операции (не имеет постоянно закрепленных операций и объектов обработки).

Характер производства предъявляет определенные требования к технологическому оборудованию. В условиях массового производства со стабильным характером выпускаемой продукции главным требованием является высокая производительность; в условиях серийного производства - высокая производительность и возможность переналадки; при единичном производстве - широкая универсальность и мобильность средств производства при обеспечении требуемого качества продукции. Под универсальностью оборудования понимается заложенная в конструкции возможность переналадки оборудования на наиболее широкий диапазон обрабатываемых изделий. Мобильность определяется быстротой перехода с выпуска одних изделий на другие.

Как правило, чем выше производительность оборудования и степень его автоматизации, тем ниже показатели универсальности и мобильности. Например, большинство современных автоматических линий являются специализированными, т.е. предназначены для выполнения определенного числа операций обработки и сборки одного единственного изделия. Наоборот, малопродуктивное универсальное оборудование обычно пригодно для производства самых разнообразных изделий.

Массовое производство одних и тех же изделий в течение многих лет позволяет создавать дорогостоящие, предельно автоматизированные, высокопроизводительные средства производства, так как за время эксплуатации все затраты окупаются.

На каждом предприятии имеется несколько видов производства. О характере производства в электронной промышленности можно судить по величине коэффициента серийности k_c :

$$k_c = \frac{\Phi}{t_{нгр} N},$$

где Φ - годовой фонд рабочего времени; $t_{нгр}$ - время изготовления

одного изделия; N - партия выпускаемых изделий.

При $K_c \approx 1$ - массовое производство; при $K_c \leq 20$ - серийное производство; при $K_c > 20$ - мелкосерийное производство; при $K_c > 500$ - единичное производство.

Современное производство (а прежде всего изготовление интегральных схем) является принципиально новым видом - это так называемое массовое быстросменное производство, которое объединяло характерные черты мелкосерийного и единичного производства (быстросменность) и крупносерийного (массовость). Важнейшей проблемой массового быстросменного производства является мобильность высокопроизводительной автоматизированной техники.

2.2. Основные ступени (этапы) автоматизации производства

Первой ступенью автоматизации является автоматизация рабочего цикла машины (автоматического осуществления технологического процесса), создание автоматов и полуавтоматов.

Автоматом называется самоуправляющаяся рабочая машина, которая при проведении технологического процесса производит все рабочие и вспомогательные ходы цикла обработки, кроме наладки и регулирования. Необходимым и достаточным условием для работы автомата является наличие автоматических механизмов рабочих и вспомогательных ходов и системы управления, которая осуществляет запрограммированную последовательность всех элементов рабочего цикла.

При отсутствии автоматически действующего одного из механизмов для осуществления вспомогательных ходов, (когда автоматический цикл прерывается и для его повторения требуется обязательное вмешательство рабочего) машина превращается в полуавтоматическую (полуавтомат).

Высшей формой автоматизированного производства на первой ступени являются поточные линии из автоматов, где человек осуществляет только наладку машин, контроль за правильным протеканием технологического процесса и исправление возникающих неполадок (смену инструмента, регулировку механизмов и т.д.). Если поточные линии komponуются из полуавтоматов, их обслуживают кроме наладчиков рабочие-операторы, которые загружают и выгружают обрабатываемые детали.

На первой ступени автоматизируются лишь технологические процессы. При этом межстаночная транспортировка деталей, межоперационный контроль и т.д. в пределах поточной линии производится вручную (или с применением средств механизации), так же как и внутрицеховая транспортировка, хранение заделов и т.д.

Вторая ступень — автоматизация системы машин, создание автоматических линий, объединяющих в себе выполнение разнообразных операций обработки, контроля, сборки, упаковки и т.д.

Автоматические линии имеют следующие преимущества:

- повышение производительности;
- поточность и ритмичность производства;
- уменьшение количества обслуживающего персонала;
- снижение себестоимости обработки изделия;
- повышение качества выпускаемой продукции;
- удобство в обслуживании;
- уменьшение занимаемых производственных площадей (за счет уменьшения складских помещений, заделов и т.д.);
- повышение культуры производства.

Автоматическим линиям присущи следующие недостатки:

- высокие первоначальные затраты, сложность изготовления и монтажа, трудность освоения;
- высокие требования к квалификации обслуживающего персонала;
- консерватизм технологии;
- большие трудности при переналадке, так как оборудование в линии связано между собой;
- сложность изготовления линии и ее монтажа;
- более низкий коэффициент использования машин (более длительные простои).

В автоматической линии (рис.2.1) отдельные автоматы, встроенные в линию, являются элементами, выполняющими рабочие операции (обработку, контроль, сборку), т.е. выполняют в линии те же функции, что и механизмы рабочих ходов в отдельном автомате. Вспомогательные ходы в линии выполняются механизмами межстаночной транспортировки, накопления заделов и т.д., которые на первом этапе автоматизации выполняются вручную.

Основная задача на втором этапе — создание автоматической системы межстаночной транспортировки обрабатываемых деталей с



Рис.2.1. Структурная схема типовой автоматической линии.

учетом неодинакового ритма работы машин, а также несовпадения по времени их простоев из-за возникающих неполадок. Следовательно, система межстаночной транспортировки должна включать не только транспортеры, но и автоматические магазины-накопители для создания и расходования межоперационных заделов, устройства управления и блокировки системы машин. При этом необходимо согласовать между собой рабочие циклы отдельных машин и транспортирующих механизмов. На втором этапе автоматизации решается также и задача создания средств автоматического контроля, в том числе и активного контроля (с корректировкой работы машин).

Высшей формой автоматизации на втором этапе являются комплексные поточные линии из автоматов и полуавтоматов.

Третья ступень автоматизации – комплексная автоматизация производственных процессов, создание автоматических участков, цехов и заводов. Под комплексной автоматизацией следует понимать такую автоматизацию, которая охватывает весь комплекс производства изделий, например, когда все стадии производства микросхем, начиная от об-

работки исходных материалов и кончая сборкой и упаковкой готовой продукции, автоматизированы.

Комплексная автоматизация предусматривает высокую техническую оснащенность всех звеньев производственного процесса, с максимальным сокращением длительности производственного цикла, с внедрением автоматических систем управления производством.

Автоматическим цехом (или заводом) называется цех (или завод), в котором все основные производственные процессы осуществляются на автоматических линиях. Здесь решаются задачи автоматизации межлинейной и меццеховой транспортировки, хранения, управления качеством, диспетчерского контроля и автоматической системы управления производством.

В автоматизированном цехе (рис.2.2) элементами, выполняющими рабочие операции, являются уже автоматические линии с технологи-

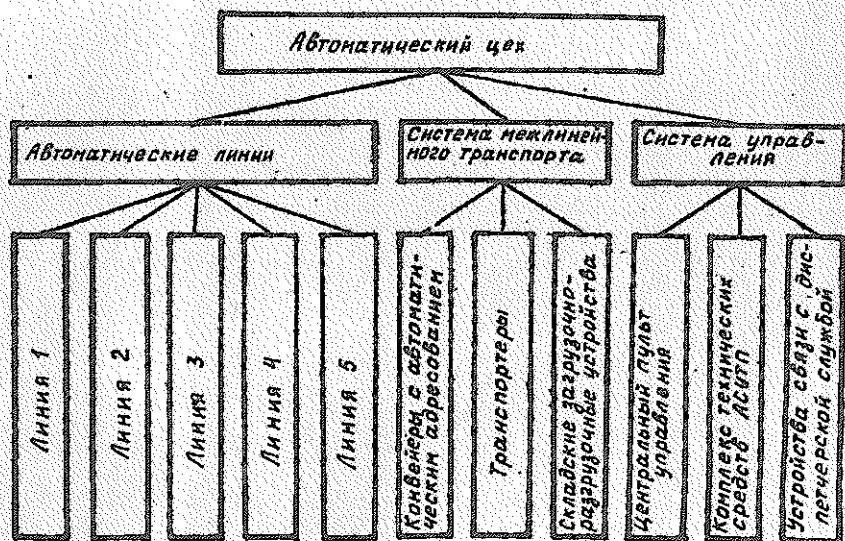


Рис.2.2. Структурная схема автоматического цеха.

ческими машинами, механизмами транспортировки, управления и т.д. Вспомогательными операциями в автоматических цехах и на заводах являются межлинейное транспортирование и накопление заделов. Система управления цехом также выполняет новые, более сложные задачи.

Увеличение масштабов автоматизации требует и иных методов ее решения. Так, если для межстаночной транспортировки применяются разнообразные транспортеры, то междеховая транспортировка требует системы конвейеров с автоматическим адресованием.

Важнейшей особенностью комплексной автоматизации производственных процессов как нового этапа технического прогресса является широкое применение электронно-вычислительных машин, которые позволяют решать не только задачи управления производством, но и глобального управления самими технологическими процессами.

2.3. Основные задачи и направления автоматизации технологических процессов микроэлектроники

Непрерывное расширение работ по автоматизации производства ИС подчинено прежде всего внутренней логике развития самой электронной техники, изделия которой практически невозможно изготавливать без использования средств автоматизации. Другой очень важный аспект развития процесса автоматизации — это улучшение экономических показателей производства и, прежде всего, снижение общих трудовых затрат на единицу продукции, снижение себестоимости изделий, увеличение выхода годных приборов. Последнее в ряде случаев дает экономию основных и вспомогательных материалов, превышающую в стоимостном выражении экономию живого труда в несколько раз.

Характерные особенности комплексной механизации и автоматизации производства ИС заключаются в следующем:

1) широкая номенклатура технологических процессов при производстве ИС и особенно больших интегральных схем (БИС): большое количество (700 — 750) самых разнообразных по характеру выполнения операций;

2) необходимость создания для многих технологических операций специального оборудования;

3) высокие точности поддержания технологических параметров режимов обработки. Например, температура при операциях эпитаксии и

диффузии поддерживается с точностью 0,02%; точность совмещения при операциях фотолитографии не хуже 0,5 - 3 мкм; поддержание концентрации реактивов при эпитаксии и химической обработке - с точностью долей процента;

4) большой объем выпуска изделий с учетом многономенклатурности и динамичности развития микроэлектроники;

5) требование высокой степени механизации и автоматизации для исключения субъективного влияния операторов на технологический процесс;

6) необходимость выполнять ряд технологических операций в особо чистых условиях, для чего необходимо создание скаффолдов, "чистых" комнат, а также специального оборудования для работы в этих условиях (тара, шкфы, загрузочно-разгрузочные устройства и т.д.);

7) переменный и относительно невысокий выход годных изделий затрудняет синхронизацию работы оборудования. (При создании автоматической линии приходится проектировать оборудование с различной производительностью по длине потока).

В структурной схеме технической системы автоматизированного цеха по производству структур интегральных схем (рис.2.3) можно выделить три составляющие: система технологических машин, система энергообеспечения и система управления производством, что соответствует общей структуре технической системы предприятия. В этой схеме просматривается структурная иерархия в построении технической системы, т.е. подчиненность сверху вниз (уровни I-V).

Система энергообеспечения, представляющая комплекс энергетических машин и коммуникаций, служит для обеспечения технологического оборудования необходимой энергией и средами и состоит из следующих систем (подсистем): очистки и подготовки газовых сред, очистки и подготовки жидких сред, раздачи технологических и энергетических сред, электроснабжения, регенерации и утилизации отходов.

Автоматизированная система управления производством включает комплекс средств управления и обработки информации.

Автоматизированный цех по производству структур ИС состоит из следующих основных автоматизированных поточных линий и участков: АИД диффузии и эпитаксии, участки фотолитографии, плазмохимической обработки, контроля вольт-амперных характеристик и т.д. Межузловую систему транспортирования представляет магистральный конвейер с автоматическим адресованием и накопитель длительного хранения.

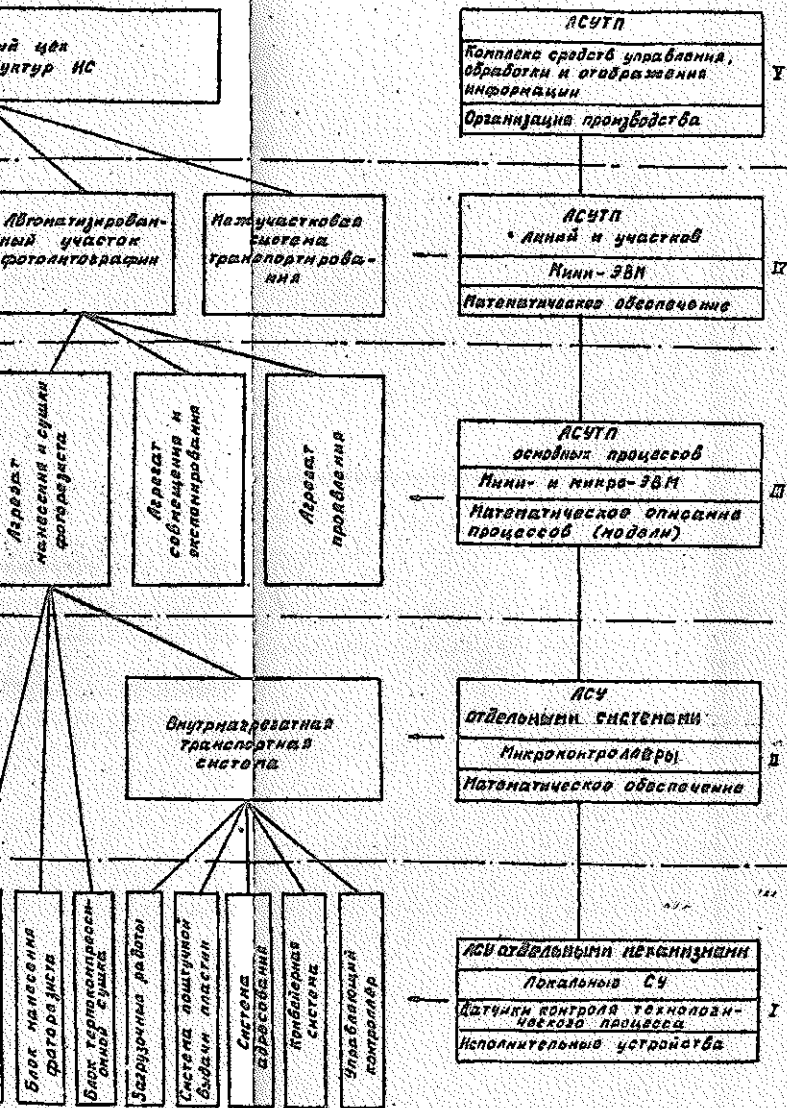
пластин (НДХ). На этом уровне используется централизованное оборудование системы энергоснабжения (например, гидролизные станции, вакуумные системы, центральные рампы и т.п.). Управление также осуществляется централизованно - на уровне линий и участков.

Каждая технологическая линия состоит из соответствующих технологических агрегатов (установок). Например, в АПИ диффузии - из агрегатов ~~преддиффузии~~ очистки, агрегатов диффузионной обработки; на автоматизированном участке фотолитографии - из агрегатов нанесения и сушки фоторезиста, агрегатов совмещения и экспонирования, агрегатов проявления. Транспортирование пластин, например, в АПИ диффузии, обеспечивает меагрегатная конвейерно-адресная система (КАС) с автоматическим адресованием. На этом уровне используются групповое оборудование и коммуникации системы энергообеспечения (газовые шкафы, установки очистки и т.п.) и комплекс технических средств управления и учета работой агрегатов, управления КАС; применяется АСУТП основных технологических процессов.

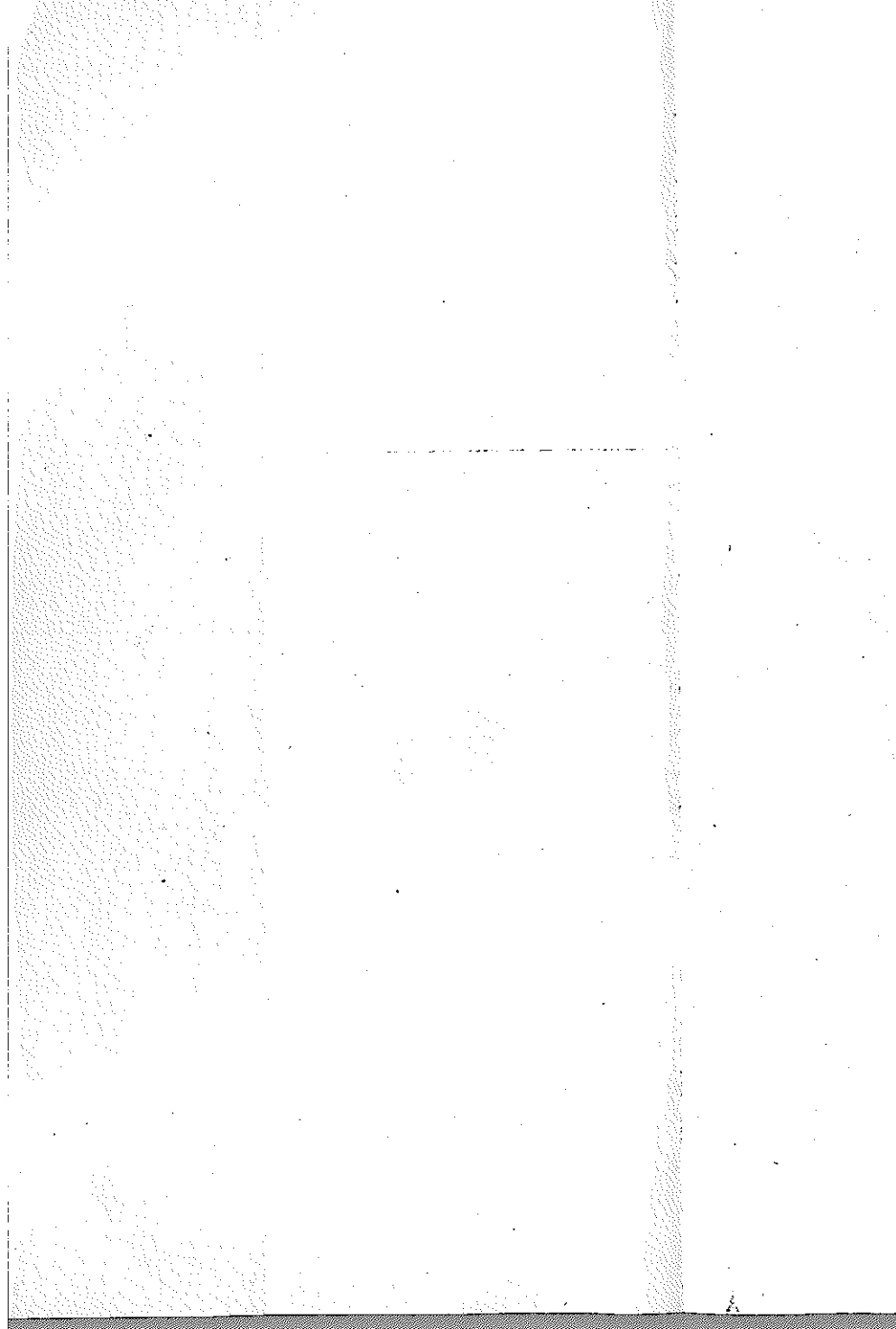
На следующем уровне иерархии технической системы используются индивидуальные средства энергообеспечения отдельных блоков агрегатов, например, многореакторных блоков диффузионной обработки (дозаторы, смесители, регуляторы, запорные и предохранительные клапаны и др.). Система управления здесь включает устройства связи управляющей ЭЕМ с управляемыми объектами - конвейерной системой, системой адресования, накопителями, роботами-перегрузчиками.

Самый низший уровень технической системы автоматизированного цеха включает отдельные блоки технологической обработки (например, блок дозирования реагентов, блок очистки пластин и др.), механизмы и устройства загрузки пластин, роботы-перегрузчики, а также элементы системы управления: датчики контроля параметров технологических процессов, управляющие контроллеры и т.п.

Из рассмотрения структуры автоматизированного производства интегральных схем вытекает, что задаваясь целью создать высокоавтоматизированную техническую систему цеха или предприятия в целом, необходимо при проектировании машин, агрегатов и АПИ учитывать тесную взаимосвязь составляющих ее элементов. Так, например, при создании автоматизированных поточных линий необходимо обязательно предусматривать единые меагрегатные средства транспортирования обрабатываемых изделий, увязку по производительности агрегатов и



анного цеха по производству структур ИС.



машин, работающих в потоке, широкое применение роботов, централизованное обеспечение энергетикой и химическими реактивами и, наконец, применение ЭВМ для организации и управления производством и технологическими процессами.

При создании высокопроизводительного агрегатированного оборудования, имеющего высокий уровень собственной автоматизации, необходимо так подбирать серии выполняемых на нем технологических операций, чтобы они составляли единый последовательный цикл обработки. Машина должна иметь внутриагрегатные средства транспортирования обрабатываемого изделия (роботы, переукладчики) и позволять использовать ее в составе АПЛ. Для управления технологическим процессом обработки в состав агрегата должна входить мини-ЭВМ или контроллер, а для выдачи информации на большую машину, управляющую ходом производства, агрегат должен быть оснащен необходимыми датчиками.

Разработка таких функционально законченных агрегатов (технологических участков) позволяет наиболее мобильно строить производство и более быстрыми темпами переходить к комплексной автоматизации.

Рассматривая предприятие как большую систему, на этапе его комплексной автоматизации необходимо решать такие задачи, как:

- 1) проработка всего технологического процесса и определение необходимой номенклатуры машин, включая и машины для "вспомогательных" операций;
- 2) увязка машин, агрегатов и линий по производительности;
- 3) централизованное обеспечение энергетикой, технологическими газами и реактивами;
- 4) создание системы конвейеров с автоматическим адресованием;
- 5) обеспечение организационной связи технологических машин и линий, которая осуществляет автоматизированное управление производством от ЭВМ (имитационная модель, заделы, допустимые времена хранения и т.п.).

Глава 3

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

3.1. Типы автоматических линий

Влияние автоматизации на развитие производства сложно и неоднозначно: с одной стороны, автоматизация резко улучшает некоторые показатели (повышается производительность, сокращается потребность в рабочей силе), а с другой, — она снижает универсальность и мобильность оборудования, повышает его стоимость [3].

В массовом и крупносерийном производстве благодаря большому экономическому эффекту получили широкое распространение автоматические линии из агрегатных станков, отличительной особенностью которых является компоновка из унифицированных узлов и механизмов. Так как такие линии собираются из типовых узлов, значительно сокращается время на проектирование и монтаж линии. Залогом надежности работы этой автоматической линии является то, что многие ее механизмы уже опробованы и отлажены на ранее построенных линиях.

Первые автоматические линии из агрегатных станков создавались только для устойчивых (корпусных) деталей. Использование специальных приспособлений — спутников расширяет область применения автоматических линий из агрегатных станков. Но при этом стоимость автоматической линии увеличивается.

Широко используются в машиностроении и автоматические линии, созданные из универсальных станков-автоматов и полуавтоматов. Они создаются на базе поточных линий с оснащением их механизмами автоматической загрузки и выгрузки деталей (автооператорами) и механизмами межстаночной транспортировки (транспортерами, подъемниками, накопителями и т.д.).

Наиболее просто решается задача создания таких линий, если конструкция станков позволяет использовать их как индивидуально, так и для компоновки автоматических линий. В этих случаях автоматические линии могут создаваться в короткие сроки и с минимальными затратами, а высокая работоспособность линии гарантируется тем, что станки уже проверены при индивидуальной эксплуатации. Если конструк-

ция станка не предусматривает встраивания его в автоматическую линию, станки приходится модернизировать, что увеличивает объем работ, однако затраты при этом намного ниже, чем при проектировании заново всей линии. В автоматических линиях из универсальных автоматов и полуавтоматов технологические процессы и основные механизмы станков остаются неизменными, следовательно, и производительность сохраняется приблизительно на том же уровне, что и на поточных линиях.

Для обработки деталей стабильной конструкции в условиях массового производства получили распространение автоматические линии из специального оборудования. Так как технологический процесс обработки проектируется, как правило, специально для данной линии, то линия может обеспечивать очень высокую производительность. Вместе с тем общими недостатками всех линий из специализированного оборудования являются высокая стоимость и длительные сроки проектирования и освоения; поэтому такие линии наиболее эффективны для отраслей производства, связанных с массовым выпуском однотипной продукции.

Отличительной чертой большинства автоматических линий из специального оборудования является их комплектность. Такие линии охватывают не только процессы обработки, но и сборки, контроля, упаковки и т.п. Комплексные автоматические линии из специального оборудования являются основой для создания более сложных автоматических систем машин — автоматических цехов и заводов.

Для определенных видов изделий успешно применяются автоматические линии из специального оборудования, созданные на базе роторных машин и роторных транспортирующих устройств. При этом можно получить одинаковую производительность на всех операциях независимо от их продолжительности. В этом случае для длительных операций создается многопозиционная машина, а для кратковременных — мало-позиционная.

На рис.3.1 показана схема такой линии, где рабочие роторы 7 - 9 имеют различное число позиций; заготовка из магазина-накопителя I проходит через транспортные роторы 2 - 5, обрабатывается в рабочих роторах 7 - 9, имеющих различное число позиций, и поступает в приемный магазин 6.

При мелкосерийном выпуске, недостаточном для окупности линии, роторные машины можно оснащать различными инструментами для одно-

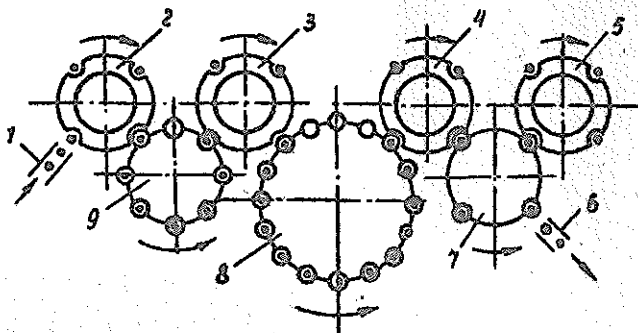


Рис.3.1. Схема роторной линии. Условные обозначения:
● - деталь; ○ - место для контроля и смены износившегося инструмента.

временной обработки разнотипных изделий (многономенклатурные роторные линии). Для уменьшения простоев в роторных линиях предусмотрено место для контроля и смены износившегося инструмента. (рис.3.1).

До недавнего времени автоматические линии создавались только для массового производства. Поэтому подавляющее большинство действующих автоматических линий является специальными, т.е. могут производить обработку, сборку, контроль только одного изделия.

Тенденции в развитии техники последних лет требуют создания переналаживаемых автоматических линий не только для условий серийного производства, но, в первую очередь, для быстрого перепроизводства (с частой заменой выпускаемой продукции). В настоящее время в СССР накоплен определенный опыт создания линий из агрегатных станков, на которых возможна обработка нескольких наименований сходных деталей, что делает эффективным их применение даже при относительно малом выпуске деталей. Переналадка агрегатных станков в значительной степени облегчается применением быстросменяемых приспособлений, кондукторов и т.п.

При эксплуатации линии в условиях массового производства со сменяющимися объектами переход на обработку новых изделий требует, как правило, не только переналадки, но и перекомпоновки линии.

Практика показывает, что наиболее приемлемыми для переконпоновки без значительных затрат являются линии из агрегатных станков.

3.2. Структурная компоновка автоматических линий

Разработка компоновки автоматической линии, которая в итоге реализуется в ее планировке, включает ряд задач по созданию системы, среди которых важнейшими являются:

1) выбор структуры автоматической линии, ее принципиальной схемы, которая определяет количество и взаимосвязь основного (технологического) и вспомогательного оборудования, вид межагрегатной связи в потоке и между потоками и др.;

2) компоновка линии, которая предопределяет взаимное пространственное расположение основных конструктивных элементов, прежде всего характер геометрической оси линии (разомкнутая или замкнутая, прямолинейная, П-образная, Г-образная и т.д.).

Накопленный опыт проектирования и научные исследования позволяют не только сформулировать методы расчета и выбора тех или иных вариантов, но и определить для основных видов линии типовые структурные и компоновочные решения. Любая система машин последовательного действия может быть сконпонована по различным структурным вариантам — от поточной линии до автоматической с жесткой межагрегатной связью.

Если каждая машина в линии имеет перед собой и после себя автоматический накопитель, то такой вариант называют линией с гибкой межагрегатной связью. При отсутствии накопителей в линии все машины блокируются друг с другом и должны работать в едином ритме. Такой структурный вариант называют линией с жесткой межагрегатной связью. Могут существовать и промежуточные варианты — автоматические линии, разделенные на участки, где число накопителей в линии меньше, чем число машин. Как видно из рис.3.2, кроме поточной линии и автоматических линий с гибкой и жесткой агрегатными связями существуют еще четыре промежуточных структурных варианта построения автоматической линии. Все они характерны тем, что несколько машин жестко конструктивно блокируются в участок, а на границах участков располагаются автоматические накопители. Так, по варианту 3 линия имеет шесть

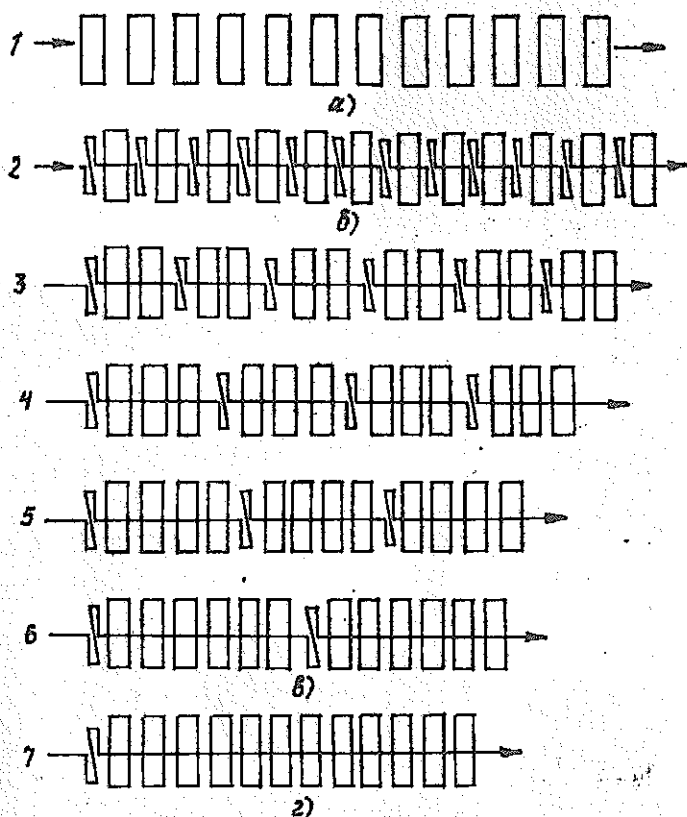


Рис.3.2. Структурные варианты построения систем машин последовательного действия:
 а - поточная линия ($n=2$); б - автоматическая линия с гибкой связью ($n=2$); в - автоматическая линия, разделенная на участки ($1 < n < 2$); г - автоматическая линия с жесткой связью ($n=1$).

участков по две машины, по варианту 4 - четыре участка по три машины и т.д. Могут быть и варианты с участками из неодинакового числа машин в тех случаях, когда потери отдельных машин не равновелики, а линия делится по принципу равных потерь.

Деление линии на участки можно производить следующим образом:

- 1) по технологическому признаку; при этом количество машин на участке неодинаково, следовательно, величина внецикловых потерь различна;
- 2) при принципе равновероятных потерь; применяется, когда в линии объединяются машины различного класса с различной надежностью.

3.3. Автоматические линии с переменной структурой

Если определяющие факторы выбора структурной схемы автоматической линии являются переменными во времени, то отдельными периодам эксплуатации линии соответствуют различные структурные варианты, оптимальные по своим экономическим показателям для рассматриваемого периода эксплуатации.

Резкое увеличение масштаба выпуска продукции приводит к переходу от однопоточных автоматических линий к многопоточным.

Если автоматическая линия создается сразу по полной структурной схеме, с уровнем производительности, который может потребоваться только через несколько лет, то чем сложнее ее структурная схема, то тем менее она выгодна вначале по сравнению с неавтоматизированным производством с тем же технологическим процессом. Отсюда возникает проблема создания автоматических линий с переменной структурой компоновки. При переменном нарастающем характере планового выпуска продукции во многих случаях целесообразно строить автоматические линии, которые в период эксплуатации имели бы минимальное технологически необходимое количество параллельных потоков на каждом технологическом участке и минимальное количество накопителей (из условия обеспечения производственной программы первого периода эксплуатации); линии с простейшей структурой имели бы и минимальную стоимость и минимум эксплуатационных затрат на единицу продукции.

В конструкции и планировке линии должна предусматриваться возможность встраивания новых секций, новых накопителей и т.д. в процессе увеличения производственной программы (рис.3.3).

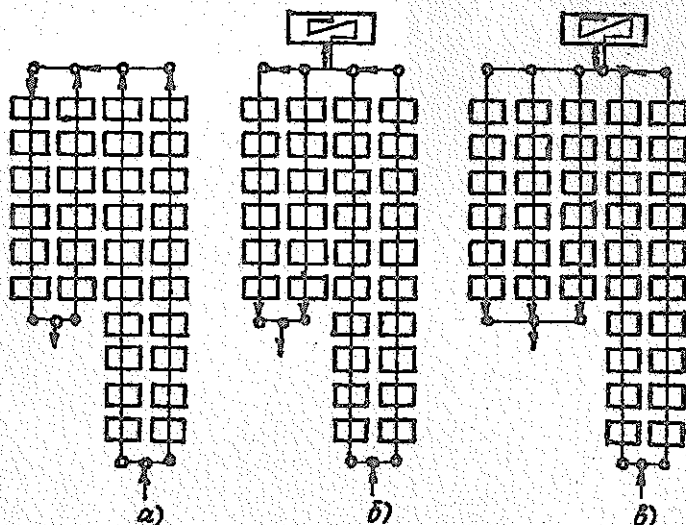


Рис.3.3. Переменная структура автоматической линии:
а - исходный вариант; б - с магазином-накопителем;
в - с дополнительной секцией.

Наиболее просто решаются вопросы переменной структуры в автоматических линиях с гибкой связью, где секция состоит из одной машины (станка). Необходимо лишь, чтобы транспортеры-распределители, питающие параллельно работающие машины, могли обслуживать и дополнительное оборудование.

Переменная структура многопоточных автоматических линий при нарастающем характере производственной программы повышает их эффективность. Кроме того, это позволяет:

- 1) встраивать в линии механизмы и устройства более совершенной конструкции;
- 2) определять требуемую емкость накопителей, степень компенсации потерь смежных участков, рост производительности по фактическим эксплуатационным характеристикам линии, что невозможно в процессе ее проектирования, когда неизвестны ни реальная величина внецикловых потерь, ни их соотношение для разных участков;

3) иметь в течение нескольких лет резервные площади, которые можно использовать для других целей.

Таким образом, конструкция и планировка всех развитых многопотоковых автоматических линий должны предусматривать возможность их структурного наращивания в процессе эксплуатации, и в этом один из путей повышения экономической эффективности автоматизации производственных процессов.

3.4. Конструктивная компоновка автоматических линий

Конструктивная компоновка автоматической линии решает проблему пространственного расположения и связи отдельных позиций, транспортных и других устройств линии. К моменту разработки конструктивной компоновки линии определена ее структурная схема, установлены необходимые элементы для реализации рабочих, вспомогательных движений и проработана система управления линией.

На выбор компоновочного решения автоматической линии влияют многие факторы, в том числе:

- 1) заданная величина и форма участка производственной площади, отведенной под линию;
- 2) нормы наименьших допустимых расстояний между станками и механизмами автоматической линии, которые определяются требованиями техники безопасности и удобством обслуживания;
- 3) наличие или отсутствие приспособлений-спутников;
- 4) номенклатура и технические характеристики нормализованных узлов, которые могут быть использованы при компоновке;
- 5) направление общепеховых потоков обрабатываемых деталей и отходов и т.д.

Итоговыми выходными параметрами, определяющими выбор того или иного компоновочного решения линии, являются дополнительные капитальные и эксплуатационные затраты на линию (сверх затрат на основное технологическое оборудование), быстродействие линии (в том числе время вспомогательных ходов цикла), надежность в работе принятых конструктивных элементов и их сочетаний.

Выбор конструктивного варианта зависит от многих факторов, поэтому задача определения оптимальной компоновки, как правило, является многовариантной. Даже при одной и той же структурной схеме

автоматической линии возможны различные компоновочные решения.

Пространственное расположение узлов линии также чрезвычайно разнообразно. Так, в автоматических линиях с приспособлениями-спутниками необходимо возвращать спутники к началу линии, что существенным образом влияет на выбор ее компоновки. Возврат спутников с деталями дает возможность одному оператору и устанавливать и снимать детали со спутников в одном месте - в начале линии.

Снимать детали со спутников можно вручную и автоматически. В автоматических линиях с холостым возвратом спутников возможны различные варианты расположения транспортера возврата: под, над и рядом с рабочими позициями, сбоку, ниже, выше и на уровне основного транспортера; при этом каждый вариант в каждом конкретном случае имеет преимущества и недостатки. Поэтому решение задачи обоснования и разработки конструктивной компоновки автоматической линии базируется, главным образом, на количественной и качественной оценке вариантов по отстойности, быстродействию и другим показателям.

Таким образом, при конструктивном оформлении автоматической линии надо выполнить следующее:

- а) сформулировать исходные данные (структурную схему, возможности завода-изготовителя и т.д.);
- б) проработать всю совокупность возможных компоновочных вариантов линии;
- в) сравнить и оценить эти варианты и выбрать наиболее целесообразный.

3.5. Особенности компоновки автоматических сборочных линий

Автоматизация сборочных работ имеет следующие трудности:

- 1) часто встречаются сложные детали, обработка которых возможна только вручную;
 - 2) отсутствуют сборочные автоматы и полуавтоматы общего назначения и типовые сборочные агрегатные головки;
 - 3) трудно создавать заделы между сборочными позициями линии;
 - 4) трудно переориентировать узлы в процессе сборки на линии.
- То, что сложные изделия приходится изготавливать вручную, не дает возможности полностью автоматизировать процесс сборки. Это

означает, что автоматическая линия превращается в автоматизированную, которая имеет не только отдельные рабочие места, но целые участки ручной сборки.

Отсутствие типовых сборочных агрегатных головок приводит к неоснованно большому разнообразию конструктивных решений, что обходится дорого и в сильной степени сдерживает развитие автоматизации сборки.

Сложность создания заделов между сборочными агрегатами автоматической линии заключается в том, что:

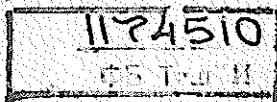
- а) ориентировать узел труднее, чем отдельную деталь;
- б) не каждая деталь, соединяемая с базовой, сразу же закрепляется;
- в) форма базовых деталей обычно сложна, что не позволяет создавать бункерные устройства.

Поэтому в большинстве случаев линии сборки не имеют заделов между сборочными агрегатами, что приводит к перебою в работе сборочной линии, требует точной синхронизации работы во времени всех агрегатов и механизмов перегрузки линии (необходима тесная связь между агрегатами).

Наилучшими условиями для компоновки сборочной линии являются такие, когда сборка узла осуществляется без изменения его положения. Большая, чем при механической обработке деталей, трудность переориентации собираемого узла, обуславливается теми же причинами, что и трудность создания буферных запасов. Дополнительные трудности возникают в том случае, когда переориентация узла должна быть выполнена при передаче его на другой сборочный агрегат. В этом случае устройство перегрузки должно обеспечить не только переориентацию узла, но и сохранение уже выполненной сборки.

Можно наметить три направления компоновки автоматических и автоматизированных линий сборки:

- 1) отдельные автоматические сборочные механизмы и позиции ручной сборки, связанные единым транспортным устройством;
- 2) ряд синхронно работающих сборочных автоматов и полуавтоматов, связанных автоматическими устройствами перегрузки;
- 3) сборочные автоматы, полуавтоматы и участки ручной сборки, связанные транспортерами, лотками и устройствами перегрузки.



Для линий из отдельных автоматических сборочных механизмов и позиций ручной сборки характерна прерывистая, прямолинейная, сквозная транспортировка собираемого узла от позиции к позиции, осуществляемая с помощью шаговых транспортеров. Наиболее распространены линейная и прямоугольная компоновки, замкнутые в горизонтальной плоскости. Возможна однопоточная или многопоточная сборка при расположении механизмов и ручных позиций как с одной, так и с обеих сторон транспортера.

При прямоугольной компоновке линии исключается холостой возврат спутников на первую позицию и уменьшается потребное количество спутников. Установка базовой детали и снятие собранного узла осуществляется в одном и том же месте. Если выбрана линейная компоновка, то следует решить вопрос о возврате спутников. При возврате спутников на той же скорости, что и при прямом их перемещении, требуется удвоенное количество спутников. Линейная компоновка весьма удобна при сборке крупногабаритных узлов без спутников.

К линиям из синхронно работающих сборочных автоматов и полуавтоматов относятся линии из роторных автоматов, линии из карусельных, линейных, прямоугольных автоматов и полуавтоматов и комбинированные линии.

Для роторных автоматов (рабочих роторов) характерно непрерывное круговое транспортирование собираемого узла совместно с присоединениями и инструментом. Для роторных линий наиболее приемлемо расположение рабочих роторов в линию. Транспортные роторы являются автоматическими перегружателями собираемого узла, а питающие - автоматическими перегружателями собираемых деталей. Применение роторных линий рационально при большой программе. Роторные линии неприменимы для сложных и громоздких изделий. Для линий из карусельных, линейных и других автоматов и полуавтоматов, а также комбинированных линий характерно прерывистое сквозное транспортирование собираемого узла от позиции к позиции. В карусельных автоматах оно осуществляется путем прерывистого вращения карусели, а в линейных и прямоугольных автоматах - шаговыми транспортерами.

Автоматизированные линии из сборочных автоматов и участков ручной сборки характеризуются тем, что они работают не с принудительным, а со свободным ритмом. Их следует применять, когда невозможно

осуществить автоматизацию ряда сборочных работ или когда осуществление этой автоматизации экономически себя не оправдывает.

3.6. Автоматизация сборочных операций с помощью промышленных роботов

Качественно по-новому можно автоматизировать сборочное производство путем создания машин нового технологического класса – универсальных манипуляторов с программным управлением, получивших название "промышленные роботы". В промышленных роботах заложена идея функционального моделирования производственных рабочих, занятых на циклически повторяющихся операциях по загрузке и выгрузке, а также управлением работой технологического оборудования.

На сборочных операциях роботы приобретают большое значение, освобождая человека от однообразных утомительных элементарных операций. Специфика сборочных операций заключается в повышенных требованиях к точности позиционирования рабочих органов манипулятора. К сборочным роботам предъявляются также требования высокой скорости его рабочих и вспомогательных перемещений, возможности быстрой переналадки для сборки различных изделий, высокой экономической эффективности при сборке изделий малых серий, низкой стоимости.

На сборочных операциях применяются как универсальные промышленные роботы, так и специальные. Роботы могут работать как самостоятельные сборочные единицы, а также в составе различных автоматов и поточных линий.

На рис.3.4 представлено несколько возможных схем использования сборочных роботов в различных компоновках. Исполнительная часть сборочного робота (рис.3.4,а) – собственно механическая рука – обеспечивает перенос головки I со сборочным инструментом в любую точку рабочего пространства за счет трех основных движений: вертикального перемещения руки 2, радиального перемещения инструментальной головки вдоль руки и поворота вокруг вертикальной оси 3. Роботы могут применяться в комплекте с другим сборочным оборудованием, например, с оборудованием круговой компоновки (рис.3.4,б), на конвейерной сборке сложных узлов (рис.3.4,в,г). Система управления роботов блокируется с системой управления рабочими машинами и транспортными устройствами, перемещающими собираемые изделия со скоростью $v_{гд}$.

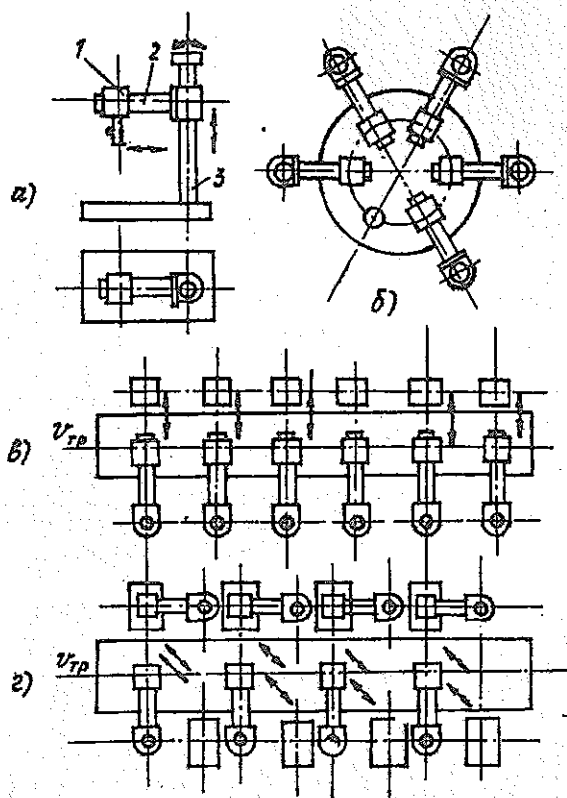


Рис.3.4. Компонировка сборочных линий с использованием роботов.

Г л а в а 4

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

4.1. Основные положения теории производительности

Любая автоматическая линия в пределах планового фонда времени работы может находиться в нескольких состояниях:

- 1) линия работает, выполняя заданный технологический процесс обработки, контроля, сборки (время рабочих ходов);
- 2) линия работает, выполняя вспомогательные операции, обеспечивающие технологический процесс (время вспомогательных ходов);
- 3) линия работает, но выдаваемая продукция не соответствует технологическим условиям, т.е. линия находится фактически в состоянии простоя (нет годной продукции);
- 4) линия простаивает из-за отказов механизмов и инструментов (время простоев по собственным причинам);
- 5) линия простаивает по внешним организационным причинам.

Согласно основным положениям теории производительности [3], производительным является только то время, которое затрачивается на непосредственное технологическое воздействие, т.е. время рабочих ходов. Остальное время с точки зрения технологического процесса является потерянном, будь то вспомогательные операции рабочего цикла или внецикловые простои по техническим или организационным причинам.

Проектирование любой автоматической линии начинается с разработки технологического процесса: выбора методов и последовательности обработки, технологических баз, обрабатываемых и сборочных инструментов; затем проводится дифференциация технологического процесса на элементы, размещение операций в каждой рабочей позиции, выбираются режимы обработки и т.д. В результате определяется длительность обработки данной детали согласно технологическому процессу, положенному в основу линии, — время рабочих ходов t_p .

Таким образом, еще не имея конструкции автоматической линии, можно определить ее производительность, так называемую технологи-

ческую производительность K (шт./мин или шт./смена).

Производительность автоматических линий, как и любых рабочих машин, определяется количеством годной продукции, выдаваемой в единицу времени, т.е.

$$K = \frac{1}{t_p} \quad (1a)$$

или в общем виде -

$$K = \frac{\omega}{t_p} \quad [\text{шт./мин}], \quad (1б)$$

где ω - количество одновременно обрабатываемых деталей (при групповой обработке).

Для автоматов и автоматических линий непрерывного действия технологическая производительность означает количество деталей, обрабатываемых в единицу времени при условии бесперебойной работы, т.е. при полном использовании возможностей технологического процесса. Однако в большинстве случаев при проектировании линий конструктивно не удается полностью совместить вспомогательные ходы с обработкой. В технологическом процессе появляются паузы для загрузки и выгрузки, межстаночного транспортирования, зажима и разжима деталей, следовательно, производительность линии по сравнению с технологической снижается.

Длительность рабочего цикла T_u , представляющая собой сумму длительности рабочих t_p и вспомогательных t_b ходов, определяет цикловую производительность автоматической линии:

$$Q_u = \frac{1}{T_u} = \frac{1}{t_p + t_b} \quad (2)$$

или

$$Q_u = \frac{\omega}{t_p + t_b}.$$

Цикловая производительность характеризует возможность выпуска продукции на линии при условии ее бесперебойной работы.

В автоматах и автоматических линиях непрерывного действия (при

$t_g = 0$) цикловая производительность равна технологической, в остальных случаях она меньше ее и определяется по формуле

$$Q_u = \frac{\omega}{t_p + t_g} = \frac{\omega}{\omega/K + t_g} = \frac{K\omega}{Kt_g + \omega} = KZ_{np}, \quad (3)$$

где

$$Z_{np} = \frac{\omega}{Kt_g + \omega} = \frac{t_p}{t_p + t_g}$$

или

$$Z_{np} = \frac{1}{Kt_g + 1} \quad (4)$$

коэффициент производительности, характеризующий степень непрерывности протекания технологического процесса в машине или автоматической линии. Кроме того, коэффициент производительности Z_{np} отражает степень конструктивного совершенства автоматической линии, степень ее приближения к линии непрерывного действия. Таким образом, два показателя производительности: технологическая и цикловая характеризуют автоматическую линию с точки зрения как прогрессивности технологического процесса, положенного в основу линии, так и конструктивного совершенства ее механизмов и устройств, системы управления и т.д.

Для большинства автоматических линий длительность рабочего цикла и всех ее элементов остается неизменной в процессе работы машины, поэтому технологическая и цикловая производительности являются постоянными величинами.

Цикловая производительность автоматической линии вычисляется в предположении, что линия работает непрерывно, без каких-либо неполадок и остановов. В реальных условиях отдельные периоды бесперебойной работы чередуются с простоями, вызванными сменой и регулировкой инструмента, подналадкой механизмов и т.д.

По функциональным признакам все простои автоматических машин (рабочих машин) принято делить на пять видов:

- 1) простои по инструменту (смена, регулировка и т.п.);
- 2) простои по оборудованию (поломка, отказы в работе механизмов и т.п.);

3) простои по организационным причинам (отсутствие заготовок, энергии, брак на предыдущих операциях, нарушение трудовой дисциплины и т.п.);

4) простои из-за брака на данной машине (время, затраченное на выпуск некачественной продукции, относят к простоям);

5) простои по наладке линии на обработку новых деталей.

Все простои можно разделить на две группы: собственные и организационно-технические. Собственные простои функционально связаны с режимом работы линии. Их уровень определяется конструктивным совершенством линии, ее надежностью в работе, квалификацией обслуживающего персонала и т.д. К ним относятся потери по инструменту и оборудованию. Организационно-технические простои обусловлены внешними причинами, функционально не связанными и не зависящими от конструкции линии и системы обслуживания.

Чем чаще и длительнее простои, тем ниже фактическая производительность линии, т.е. фактическое количество годной продукции, получаемое на линии в среднем за единицу времени работы линии.

Для того чтобы учесть влияние простоев автоматической линии на производительность машины, необходимо их суммарную величину отнести на единицу изделия. Этот параметр производительности получил название внецикловых потерь. Внецикловые потери времени — это простои, приходящиеся на единицу изделий или на один цикл работы,

$$t_n = \frac{\sum \theta_n}{\lambda}$$

или

$$t_n = \frac{\sum \theta_n}{\lambda / \omega}, \quad (5)$$

где $\sum \theta_n$ — суммарное время простоев линии за определенный период времени; λ — количество изделий, изготовленных линией за определенное время; λ / ω — количество циклов, отработанных линией за определенное время.

Фактическая производительность автоматической линии с учетом внецикловых потерь

$$Q_{a.n} = \frac{1}{t_p + t_b + t_n}$$

или при $\omega > 1$

$$Q_{a.n} = \frac{\omega}{t_p + t_b + t_n} \quad (6)$$

Влияние внецикловых простоев на производительность линий можно оценить и с помощью коэффициента использования η_{nc} , который численно равен доле времени работы θ_p в общем плановом фонде времени θ :

$$\eta_{nc} = \frac{\theta_p}{\theta} = \frac{\theta_p}{\theta_p + \sum \theta_n} = \frac{1}{1 + \frac{\sum \theta_n}{\theta_p}} \quad (7)$$

Производительность и коэффициент использования автоматических линий с учетом длительности цикла T_u и внецикловых потерь t_n выражаются следующим образом:

$$\eta_{nc} = \frac{1}{1 + \frac{t_n}{T_u}} = \frac{1}{1 + B}; \quad (7a)$$

$$Q_{a.n} = Q_u \cdot \eta_{nc} = \frac{1}{T_u + t_n} = \frac{1}{T_u(1 + B)}, \quad (8)$$

где $B = t_n / T_u$ — среднее относительное удлинение рабочего цикла из-за внецикловых потерь.

4.2. Производительность автоматических линий при различных структурных схемах компоновки

При неизменных собственных потерях и иных характеристиках станков, входящих в систему машин, ее производительность будет различной в зависимости от выбранной структурной схемы. В поточных линиях из-за больших заделов между машинами несовпадающие простои мало

влиять друг на друга, поэтому производительность будет определяться производительностью лимитирующей машины (машины с минимальной производительностью).

Если же все машины имеют одинаковую фактическую производительность, то производительность поточной линии практически будет равна производительности любой машины в линии при ее индивидуальной эксплуатации.

При любых других структурных вариантах каждая машина в линии простаивает также из-за простоев соседних машин и участков, т.е. наряду с собственными простоями машин неизбежно появляются дополнительные потери времени, величина которых зависит от структурного варианта автоматической линии. В этом случае производительность любой машины, включенной в линию, оказывается ниже, чем при индивидуальной, независимой эксплуатации. Так как в любой технологической цепочке производительность всех машин неизбежно уравнивается, то под производительностью линии понимается производительность любой машины в этой линии с учетом не только собственных, но и дополнительных простоев из-за влияния соседних машин. Наиболее удобно судить о производительности всей линии по производительности последнего, выпускающего участка в линии.

Рассмотрим зависимость производительности автоматических линий от их структурного построения.

В простейшем структурном варианте - автоматической линии с жесткой меагрегатной связью (рис.3.2,г) все машины работают, как правило, по единой циклограмме. Такое единство возможно благодаря наличию единого транспортера, который обеспечивает шаговое перемещение изделий между рабочими позициями. При включении машины в систему к собственным потерям добавляются дополнительные, коэффициент использования снижается. Если все машины жестко заблокированы, то выход из строя любого механизма, устройства и т.п. приводит к остановке всей линии. Коэффициент использования автоматической линии с жесткой связью с учетом внецикловых потерь

$$\eta_{a.l} = \frac{1}{1 + \beta_0} = \frac{1}{1 + \beta_0}, \quad (9)$$

где β - количество машин или рабочих позиций в линии; β_0 - суммар-

ные внецикловые потери линии с жесткой связью, равные сумме потерь всех машин, механизмов и устройств линии.

Постепенное возрастание количества последовательных позиций q в автоматических линиях приводит к значительному снижению надежности линий в работе, так как любая неполадка механизма или инструмента вызывает остановку всей линии из-за наличия жесткой связи между позициями. Поэтому для уменьшения общих потерь автоматические линии делают на отдельные участки, между которыми располагаются магазины-накопители (рис.3.2,в), компенсирующие простой соседних участков. Так, в случае неполадок на первом участке второй участок получает заготовки из накопителя, расположенного на границе между первым и вторым участками. Если первый участок работает, а второй простаивает, заготовки поступают в накопитель. Если емкость магазинов-накопителей достаточна для того, чтобы полностью компенсировать простой соседних участков, то производительность участков:

$$Q = \frac{K}{Kt_{\delta} + Kt_{yч} + 1}, \quad (10)$$

где $t_{yч}$ - общие потери времени на участке,

$$t_{yч} = t_n \frac{q}{n} + t_H;$$

n - число участков, на которые разделена линия; q/n - число машин, заблокированных в участок; t_H - потери магазина-накопителя на границе участка.

Однако на практике магазины-накопители никогда полностью не компенсируют потерь, так как их емкость всегда ограничена. Поэтому на каждом участке наряду с собственными потерями, вызванными недостаточной надежностью в работе механизмов и инструмента, появляются дополнительные потери.

Величина дополнительных потерь каждого участка линии зависит от структуры ее компоновки. Если даже все машины (рабочие позиции) эксплуатации имеют одинаковую фактическую производительность, вследствие недостаточной емкости межоперационных заделов, их потери возрастают, а производительность снижается.

Производительность автоматической линии с учетом собственных

и дополнительных потерь:

$$Q_{a.n} = \frac{K}{Kt_g + Kt_{y4} W + 1}, \quad (II)$$

где W — коэффициент возрастания внецикловых потерь, учитывающий влияние соседних машин и участков.

Определим значение коэффициента W .

Возрастание внецикловых потерь происходит практически в любой линии, вследствие несовпадения простоев различных машин как по величине, так и по времени их совершения. Практика показывает, что даже в поточных линиях создание гарантированных заделов-накопителей возможно только для детали сравнительно небольших размеров, которые можно складывать около машин.

Полностью решить задачу по определению коэффициента возрастания внецикловых потерь W можно с помощью методов теории вероятностей, так как простои различных машин являются случайными величинами. В простейших случаях, когда линия разделена на участки по принципу равновероятных потерь и цикл работы всех участков одинаков, задачу можно решить обычными методами.

Обозначим через Δ коэффициент межузасткового наложения потерь. Это означает, что вследствие недостаточной емкости накопитель способен компенсировать лишь часть потерь соседнего участка $-(1-\Delta)t_{y4}$ (рис.4.1). Величина Δ зависит от емкости накопителя. Если накопи-

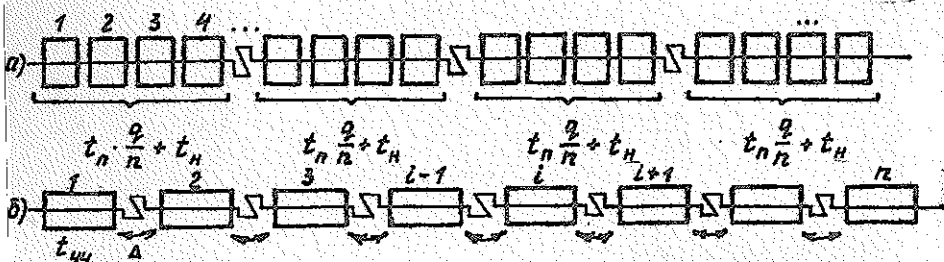


Рис.4.1. Схема для определения коэффициента возрастания потерь.

тель большой емкости и он полностью компенсирует потери, то $\Delta = 0$; при отсутствии накопителя $\Delta = 1$.

Рассмотрим i -й участок автоматической линии (рис. 4.1). Все участки, расположенные перед ним (по ходу технологического процесса), вследствие своих простоев сообщают i -му участку дополнительные простои из-за нехватки заготовок; следующие за ним участки вызывают простои из-за переполнения накопителей.

Собственные потери участка линии:

$$t_1 = t_{y4} = t_n \frac{q}{n} + t_n \approx t_n \frac{q}{n}. \quad (12)$$

Благодаря магазину-накопителю между участками 1 и 2 потери участка 1 передаются на участок 2 лишь частично. Потери участка 2:

$$t_2 = t_{y4} + \Delta t_{y4} = (1 + \Delta) t_{y4}. \quad (13)$$

При передаче на участок 3 к собственным его потерям добавляет потери участка 2 с вычетом той их части, которая компенсируется благодаря накопителю на границе между участками 2 и 3:

$$t_3 = t_{y4} + t_2 - (1 - \Delta) t_{y4}.$$

Подставим значение t_2 из формулы (13):

$$t_3 = t_{y4} + (1 + \Delta) t_{y4} - (1 - \Delta) t_{y4} = (1 + 2\Delta) t_{y4} = t_{y4} + t_{g3}',$$

где $t_{g3}' = 2\Delta t_{y4}$ - дополнительные потери участка 3 из-за нехватки заготовок.

Продолжая аналогичные рассуждения для участка 4, получаем

$$t_4 = t_{y4} (1 + 3\Delta) = t_{y4} + t_{g4}', \quad t_4' = 3\Delta t_{y4}.$$

Для i -го участка $t_i' = \Delta (i-1) t_{y4}$.

Аналогичным путем можно определить дополнительные потери i -го участка из-за избытка заготовок вследствие простоев всех последующих участков: от $(i+1)$ -го до n -го. В результате имеем

$$t_i'' = \Delta (n-i) t_{y4}. \quad (14)$$

Полные потери l -го участка складываются из собственных потерь и дополнительных из-за избытка и недостатка заготовок:

$$\sum t_{y4} = t_{y4} + t'_l + t''_l = t_{y4} [1 + \Delta (n-1)] \quad (15)$$

Так как $\sum t_{y4} = t_{y4} \cdot W$ (см. формулы (II) и (15)), получаем значение коэффициента возрастания внецикловых потерь

$$W = 1 + \Delta (n-1) \quad (16)$$

Коэффициент возрастания внецикловых потерь одинаков для всех участков линии, хотя вид дополнительных потерь зависит от места расположения участка в линии.

Обобщенная формула производительности для всех возможных вариантов компоновки технологических систем машин

$$Q = \frac{K}{Kt_B + Kt_n \frac{2}{n} [1 + \Delta (n-1)] + 1} \quad (17)$$

На рис. 4.2 показана зависимость производительности линий различного типа от числа участков и возрастания потерь. Все возможные значения производительности технологической системы машин нахо-

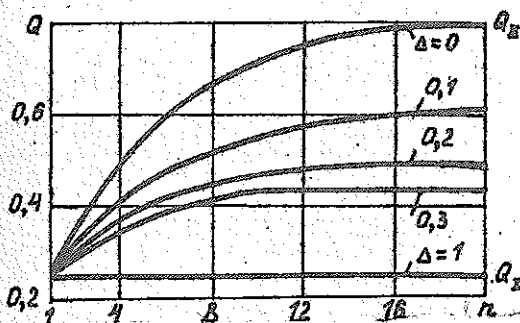


Рис. 4.2. Зависимость производительности автоматической линии от количества участков.

дятся между Q_n (производительностью поточной линии с гарантированными заделами) и Q_g (производительностью автоматической линии с

жесткой межагрегатной связью). Для поточной линии с гарантированными заделами $n = q$, $\Delta = 0$, $W = I$, следовательно,

$$Q_{n,n} = \frac{K}{Kt_g + Kt_n + 1} \quad (18)$$

Для автоматической линии с гибкой межагрегатной связью $n = q$, $\Delta = 0$, $W = I$, следовательно,

$$Q_{a,n} = \frac{K}{Kt_g + Kt_n [1 + \Delta(n-1)] + 1} \quad (19)$$

В линиях с жесткой межагрегатной связью с делением на участки при условии существования гарантированных заделов-накопителей на границах участков получаем: $1 < n < q$; $\Delta = 0$. Следовательно,

$$Q_{a,n} = \frac{K}{Kt_g + Kt_n \frac{q}{n} + 1} \quad (20)$$

В линии с жесткой межагрегатной связью при отсутствии промежуточных заделов-накопителей потери соседних станков и участков полностью накладываются один на другой ($\Delta = I$). В этом случае

$$Q_{a,n} = \frac{K}{Kt_g + Kt_n q + 1} \quad (21)$$

Обобщенная формула коэффициента использования с учетом коэффициента возрастания:

$$Z_{a,n} = \frac{1}{1 + t_n \frac{q}{n} \cdot \frac{1 + \Delta(n-1)}{T_u}} \quad (22a)$$

или

$$Z_{a,n} = \frac{1}{1 + B \frac{q}{n} [1 + \Delta(n-1)]} \quad (22b)$$

Частные формулы коэффициента использования для различных вариантов компоновки технологических систем машин можно получить из формулы (22) подстановкой n и Δ .

Формулы (17) - (22) позволяют анализировать различные структурные варианты компоновки технологических систем машин и определять ожидаемую производительность автоматических линий при их проектировании. Основная трудность при этом заключается в определении ожидаемого коэффициента межузасткового наложения потерь.

Многочисленные исследования работоспособности комплексных линий, каждая из которых включает десятки единиц технологического оборудования, показывают, что даже для станков лимитирующих операций коэффициент возрастания общих простоев W составляет не более 1,15 - 1,25. В двух-трех участковых линиях из агрегатных станков при достаточной емкости накопителей ($E = 40 - 60$ мин) коэффициенты возрастания простоев находятся в пределах $W = 1,10 - 1,20$. Эти цифры можно принимать в основу приближенных расчетов при проектировании новых линий.

Числовые значения коэффициентов возрастания потерь в многучастковых автоматических линиях можно определить тремя методами:

- а) обобщением результатов эксплуатационных исследований однотипных действующих автоматических линий;
- б) с помощью аналитических расчетов;
- в) методами математического моделирования функционирования автоматических линий.

Достоинством первого метода является получение достоверной информации о работе реально действующих объектов. Анализ и обобщение такой информации позволяют получить исходные данные, вполне пригодные для расчета проектируемых систем.

Аналитические расчеты связаны с использованием весьма сложных и громоздких аналитических зависимостей, которые к тому же получают только для сравнительно простых вариантов построения линий.

Наиболее перспективным методом оценки величины межузасткового наложения потерь и их коэффициентов возрастания в сложных автоматических линиях является математическое моделирование их работы.

В первом приближении производительность автоматической линии, разделенной на участки, можно определить как производительность

одного участка без возрастания внецикловых потерь ($W = 1$). Этот расчет дает завышенные значения производительности:

$$\frac{Q_{уч}}{Q_{а.л}} = \frac{\tau_4 + \frac{t_{уч}}{\tau_4} W}{\tau_4 + \frac{t_{уч}}{\tau_4}} = \frac{\tau_4 + (t_n \frac{Q}{n} + t_n) [1 - \Delta (n-1)]}{\tau_4 + t_n \frac{Q}{n} + t_n} \quad (23)$$

На рис. 4.3 показана зависимость величины $\frac{Q_{уч}}{Q_{а.л}}$ от числа участков в линии и коэффициенты межуточного наложения потерь. Графики показывают, что учет наложения внецикловых потерь даже при большом

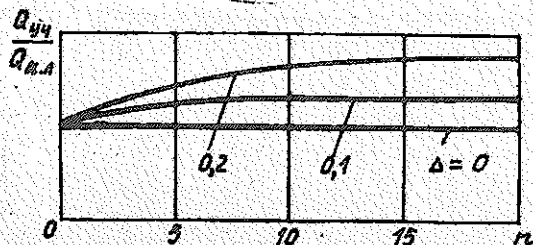


Рис. 4.3. Величина относительного завышения производительности линии без учета наложения потерь.

количестве участков ($n = 20$) оказывает минимальное влияние на расчетную величину производительности. Обычно число участков n в линиях из агрегатных станков не превышает 4. Относительная ошибка в этом случае составит не более 3 - 5%. Поэтому можно производить расчет ожидаемой производительности линии как производительности участка по приближенной формуле

$$Q_{а.л} = \frac{K}{K t_g + K t_n \frac{Q}{n} + 1} \quad (24)$$

Пример расчета. Определить производительность автоматической линии, состоящей из 12 позиций, при различной ее структурной компоновке при следующих исходных данных. Длительность цикла $T_4 = 1$ мин (длительность рабочих ходов - 0,5 мин, вспомогательных - 0,5 мин).

Внецикловые потери одного станка составляют 0,05 мин, количество одновременно обрабатываемых деталей $\omega = 1$.

Определяем технологическую производительность K :

$$K = \frac{1}{t_p} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ шт./мин} = 120 \text{ шт./ч.}$$

Цикловая производительность линии

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{t_p + t_b} = \frac{1}{0,5 + 0,5} = \text{шт./мин} = 60 \text{ шт./ч.}$$

Фактическая производительность линии, составленной из 12 скоординированных между собой машин (позиций), составит

$$Q_{\text{а.л}} = \frac{K}{Kt_b + Kt_n n + 1} = \frac{2}{2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,05 \cdot 12 + 1} = 0,625 \text{ шт./мин} = 37,5 \text{ шт./ч.}$$

Производительность той же линии, но разделенной на три участка ($n = 3$) с магазинами-накопителями перед каждым участком большой емкости ($\Delta = 0$), составит

$$Q_{\text{а.л}} = \frac{K}{Kt_b + Kt_n [1 + \Delta(n-1)] + 1} =$$

$$= \frac{2}{2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,05 \cdot \frac{12}{3} + 1} = 0,84 \text{ шт./мин} = 50,4 \text{ шт./ч.}$$

Если автоматическая линия будет иметь накопитель перед каждой позицией (линия с гибкой связью), производительность линии (при коэффициенте наложения $\Delta = 0,1$) составит

$$Q_{\text{а.л}} = \frac{K}{Kt_b + Kt_n [1 + \Delta(n-1)] + 1} =$$

$$= \frac{2}{2 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,05 [1 + 0,1(12-1)] + 1} = 0,9 \text{ шт./мин} = 54,3 \text{ шт./ч.}$$

т.е. производительность приближается к цикловой.

При разделении линии на три участка с использованием накопителей и с учетом межузасткового наложения ($\Delta = 0,1$) производительность равна

$$Q_{a.n} = \frac{K}{Kt_{\theta} + Kt_n \frac{q}{n} [1 + \Delta(n-1)] + 1} =$$

$$= \frac{2}{2 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 0,05 \frac{12}{3} [1 + 0,3(3-1)] + 1} = 0,81 \text{ шт./мин} = 48,4 \text{ шт./ч.}$$

т.е. производительность ниже, чем при том же делении линии на участки, но с использованием накопителей большой емкости, так как наложение потерь участков друг на друга в этом случае велико ($\Delta = 0,1$).

Коэффициенты использования линии при ее различных структурных компоновках $\gamma_{a.n} = \frac{Q_{a.n}}{Q_y}$ соответственно равны:

для линий с жесткой межагрегатной связью -

$$\gamma_{a.n} = \frac{Q_{a.n}}{Q_y} = \frac{37,5}{60} = 0,625 ;$$

для линии, разделенной на три участка с накопителями большой емкости ($\Delta = 0$), -

$$\gamma_{a.n} = \frac{Q_{a.n}}{Q_y} = \frac{50,4}{60} = 0,84 ;$$

для линии, разделенной на три участка с накопителями малой емкости ($\Delta = 0,1$), -

$$\gamma_{a.n} = \frac{Q_{a.n}}{Q_y} = \frac{48,4}{60} = 0,81 ;$$

для линии с гибкой агрегатной связью ($n = q$) -

$$\gamma_{a.n} = \frac{Q_{a.n}}{Q_y} = \frac{50,3}{60} = 0,91.$$

4.3. Производительность автоматических линий в зависимости от надежности машин, механизмов и устройств

Надежность автоматических линий определяется их безотказностью, ремонтопригодностью, а также долговечностью отдельных механизмов, узлов и деталей.

Комплексные показатели надежности — собственные внецикловые потери $t_{c.n}$ и коэффициент технического использования η_{tex} , которые являются одновременно и важнейшими параметрами в теории производительности. Коэффициент технического использования равен коэффициенту использования $\eta_{ис}$ при достаточно полной загрузке линии ($\eta_{загр} \approx 1$):

$$\eta_{ис} = \eta_{tex} \eta_{загр}. \quad (25)$$

Собственные внецикловые потери $t_{c.n}$ характеризуют и безотказность, и ремонтопригодность:

$$t_{c.n} = \frac{\theta_{ср}}{m_{ср}} \cdot T_u, \quad (26)$$

где $m_{ср}$ — среднее время наработки на отказ; $\theta_{ср}$ — средняя длительность единичного простоя для предупреждения, обнаружения и устранения отказов (среднее время восстановления).

Формула (26) позволяет оценить зависимость производительности линии от показателей надежности ее в работе — параметра потока отказов системы машин и длительности единичных простоев. Надежность в работе влияет на производительность автоматических линий тем сильнее, чем короче рабочий цикл, т.е. чем выше интенсивность работы.

Надежность автоматических систем зависит как от надежности каждого из элементов, составляющих линию, так и от схемы их компоновки. В связи с этим повышение надежности автоматической системы машин может быть достигнуто двумя путями: повышением долговечности и надежности всех машин, входящих в линию, т.е. сокращением собственных потерь; рациональной компоновкой автоматической линии, т.е. сокращением дополнительных потерь. Эти пути не являют-

ся равноценными, что подтверждается анализом важнейшего показателя - коэффициента использования автоматической линии.

Коэффициент использования автоматической линии с жесткой межагрегатной связью, имеющей один магазин в начале линии (потери из-за неполадок магазина пренебрегаем):

$$\gamma_{a.l} = \frac{1}{1 + Bq} \quad (27)$$

Выразим коэффициент использования линий с жесткой связью через коэффициент использования отдельных станков в линии:

$$\gamma_{nc} = \frac{1}{1 + B}; \quad B = \frac{1 - \gamma_{nc}}{\gamma_{nc}}$$

Подставив значение B в формулу (27), получим

$$\gamma_{a.l} = \frac{1}{1 + \frac{1 - \gamma_{nc}}{\gamma_{nc}} q} \quad (28)$$

При проектировании автоматической линии коэффициент использования $\gamma_{a.l}$ обычно задается. Эту величину необходимо обеспечить как конструктивными методами, так и заданной системой эксплуатации.

Определим значение коэффициента использования отдельных машин, который необходимо обеспечить, чтобы получить заданный коэффициент использования автоматической линии с жесткой связью. Решая формулу (28) относительно γ_{nc} , получим

$$\gamma_{nc} = \frac{\gamma_{a.l} q}{1 + \gamma_{a.l} (q - 1)} \quad (29)$$

Как показывают графики на рис. 4.4, для обеспечения заданного коэффициента $\gamma_{a.l}$ в линиях для сложных процессов (с большим q) все машины должны обладать высокой надежностью в работе. Так, например, для того, чтобы линия из 10 машин могла работать с коэффициентом использования $\gamma_{a.l} = 0,7$, каждый из станков линии должен иметь $\gamma_{nc} \approx 0,97$.

Для повышения надежности системы машин приходится строить автоматические линии с заделами-накопителями. Такой метод, хотя и приводит к уменьшению дополнительных потерь и росту производительности линии, обладает большими недостатками. Если с помощью магазинов-накопителей и удается в некоторой степени повысить производительность линии, то проблему надежности автоматических систем решить невозможно, пока не будет решена проблема надежности самих рабочих машин из которых komponуются линии.

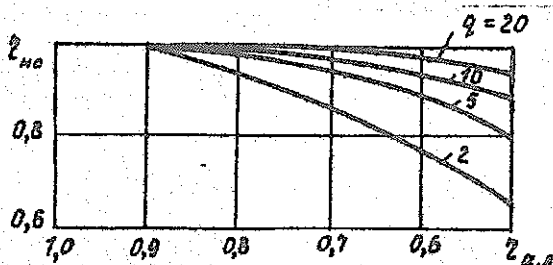


Рис. 4.4. Зависимость необходимого уровня надежности станков $Z_{нс}$ от заданного коэффициента использования автоматической линии с жесткой связью $Z_{а.л.}$.

Повышение надежности и долговечности машин и сокращение их собственных потерь достигается технологическими, конструкторскими и эксплуатационными методами.

Технологические методы основаны на применении новых технологических методов и процессов обработки, которые позволяют значительно повысить прочность, износостойкость, чистоту поверхностей ответственных деталей и сопряжений, работающих в условиях высоких нагрузок, температур, сил трения и т.д. Это позволяет снизить частоту отказов механизмов и устройств, увеличить сроки их службы, межремонтные периоды автоматической линии, повысить точность обработки и технологическую надежность.

Конструкторские методы повышения надежности означают разработку новых, более совершенных конструкций и принципиальных схем механизмов и устройств, более надежных с точки зрения как частоты отказов, так и длительности их обнаружения и устранения. Конструктивным со-

первенствованием механизмов, устройстве аппаратуры, инструмента можно либо уменьшить влияние внешних факторов для сокращения интенсивности отказов, либо обеспечить быстросменность для сокращения длительности простоев, либо решить обе задачи одновременно.

Эксплуатационные методы повышения надежности основаны прежде всего на полной реализации возможностей, заложенных в конструкциях автоматических линий, что достигается повышением квалификации наладчиков и рациональной системой обслуживания линии.

Все методы повышения надежности (технологические, конструкторские и эксплуатационные) взаимосвязаны и дополняют друг друга.

4.4. Выбор (расчет) оптимальной структуры компоновки автоматической линии

Выбор оптимальной структуры линии должен производиться из задач обеспечения заданного выпуска продукции или наилучших технико-экономических показателей.

Рост производительности автоматической линии при делении ее на участки выражается коэффициентом φ :

$$\varphi = \frac{Q_n}{Q_1}, \quad (30)$$

где Q_n — производительность автоматической линии после деления ее на n участков; Q_1 — производительность линии до деления.

При неизменной цикловой производительности коэффициент роста производительности можно выразить через коэффициенты использования соответственно γ_n и γ_1 :

$$\gamma_n = \frac{1}{1 + B \frac{q}{n} [1 + \Delta(n-1)]}; \quad (31)$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + Bq}. \quad (32)$$

Таким образом,

$$\varphi = \frac{1 + Bq}{1 + B \frac{q}{n} [1 + \Delta(n-1)]}. \quad (33)$$

Применяя при делении линии на участки принцип равновероятных потерь, можно определить примерное количество участков линии. Потери на участке t_{y4} сокращаются в зависимости от количества участков n :

$$t_{y4} = \frac{t_{a.n}}{n} . \quad (34)$$

Производительность автоматической линии, разделенной на n участков, равна

$$Q_{a.n} = \frac{1}{T_4 + \frac{t_{a.n}}{n}} . \quad (35)$$

Отсюда примерное количество участков линии

$$n = \frac{Q_{a.n} t_{a.n}}{1 - Q_{a.n} T_4} . \quad (36)$$

Точный расчет числа участков может быть сделан по критерию роста производительности труда на основе комплексного учета изменения производительности оборудования, затрат живого труда (операторов и наладчиков), стоимости средств автоматизации, эксплуатационных затрат, а также фактора времени — срока службы оборудования [4].

При создании автоматической линии из реальной поточной линии необходимо определить, сколько машин можно жестко связать в одну автоматическую линию, чтобы обеспечить максимальный рост производительности труда по сравнению с поточной линией, состоящей из такого же оборудования. С этой целью необходимо провести сравнение всех затрат "живого" и "прошлого" труда при эксплуатации автоматической и поточной линий из одинакового числа станков, приняв за исходный вариант поточную линию, а за сравниваемый — автоматическую линию с таким же количеством машин.

Для упрощения решения задачи принимаются следующие допущения:

- 1) при одинаковой степени дифференциации количество позиций в автоматической линии равно числу машин поточной линии;
- 2) все машины поточной линии имеют межоперационные заделы, следовательно, могут работать независимо. Прекращение работы (по любой причине) не вызывает простоя остальных;

3) машины автоматической линии с жесткой связью не имеют меж-операционного задела, так как связаны одним транспортным устройством, поэтому выход из строя одной позиции обработки вызывает простой всей линии;

4) годовые текущие затраты (на ремонт, вспомогательные материалы и другие расходы) для автоматической линии во столько раз больше по сравнению с затратами для поточной, во сколько выше стоимость самой автоматической линии (т.е. чем дороже линия, тем больше эксплуатационные затраты);

5) стоимость комплекта средств автоматизации не зависит от количества облокированных станков, так как затраты на накопитель, системы управления и блокировки, привод транспортера не зависят от изменения количества машин в малом диапазоне;

6) потери на всех машинах приняты равными;

7) внецикловые потери вновь вводимых средств автоматизации не учитываются.

Рост производительности труда при замене поточной линии автоматической определяется по формуле

$$\lambda = \frac{P_{a.l}}{P_{n.l}}, \quad (37)$$

где $P_{a.l}$, $P_{n.l}$ — производительность труда, которую обеспечивают соответственно автоматическая и поточная линии.

С учетом всех трудовых затрат для обоих сравниваемых вариантов при одновременном вводе их в эксплуатацию ($\alpha = 0$) рост производительности выражается следующей формулой:

$$\lambda = \varphi \frac{K + N(m+1)}{K\delta + N(m\delta\varphi + 1/\varepsilon)}, \quad (38)$$

где N — срок службы оборудования.

Рассмотрим и определим все коэффициенты, входящие в формулу.

Коэффициент роста производительности оборудования φ определим по формуле

$$\varphi = \frac{Q_{a.l}}{Q_{n.l}} \cdot \frac{1 + B}{1 + Bq} \cdot \frac{B}{Bq}, \quad (39)$$

где $\gamma = Q_{\text{а.л}}/Q_{\text{п.л}}$ - коэффициент изменения цикловой производительности автоматической линии в сравнении с поточной; k - коэффициент технической вооруженности живого труда, характеризующий отношение единовременных затрат ошествленного труда на создание средств производства C к годовым затратам живого труда,

$$k = \frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{ж}}} , \quad (40)$$

m - коэффициент энергоматериалоемкости живого труда, характеризующий отношение годовых текущих затрат C ошествленного труда (на инструмент, электроэнергию, вспомогательные материалы и ремонт) к годовым затратам живого труда $C_{\text{ж}}$.

$$m = \frac{C_{\text{э}}}{C_{\text{ж}}} . \quad (41)$$

Коэффициенты относительного удорожания оборудования автоматической линии по сравнению с поточной:

$$G = \frac{C_{\text{а.л}}}{C_{\text{п.л}}} = \frac{Mq + \alpha M}{Mq} = 1 + \frac{\alpha}{q} , \quad (42)$$

где M - средняя стоимость одной машины в линии; αM - стоимость комплекта средств автоматизации (матязина-наконителя, транспортера, системы управления и т.п.); α - отношение стоимости комплекта средств автоматизации к усредненной стоимости одной машины.

Согласно принятому четвертому допущению

$$\delta\varphi = G = 1 + \frac{\alpha}{q} , \quad (43)$$

где δ - коэффициент изменения текущих затрат ошествленного труда на единицу продукции.

Коэффициент сокращения живого труда ε при обслуживании автоматической линии по сравнению с поточной:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{C_{\text{ж.л}}}{C_{\text{ж.а.л}}} = \frac{\frac{q}{Z_o} \cdot 3_o + \frac{q}{Z_n} \cdot 3_n}{\frac{q}{Z_n} \cdot 3_n} = \\ &= \frac{3_o/Z_o + 3_n/Z_n}{3_n/Z_n} = 1 + \frac{3_o \cdot Z_o}{3_n \cdot Z_n} , \end{aligned} \quad (44)$$

где Z_o и Z_n - соответственно число машин, обслуживаемых одним оператором или наладчиком; $З_o$ и $З_n$ - условная годовая заработная плата одного оператора и наладчика.

Как видно, величина ε не зависит от числа позиций в автоматической линии.

Подставляя полученные значения коэффициентов в формулу (38), находим зависимость коэффициента роста производительности труда при создании автоматической линии взамен поточной:

$$\lambda = \frac{\gamma(1+B)[k+N(m+1)]}{(1+Bq)\left[\left(k+Nm\right)\left(1+\frac{\alpha}{q}\right)+\frac{N}{\varepsilon}\right]}. \quad (45)$$

На рис.4.5 представлены графики λ в зависимости от q при коэффициенте $\alpha = 3$, т.е. дополнительные затраты на автоматизацию для блокирования станков в автоматическую линию в три раза больше сред-

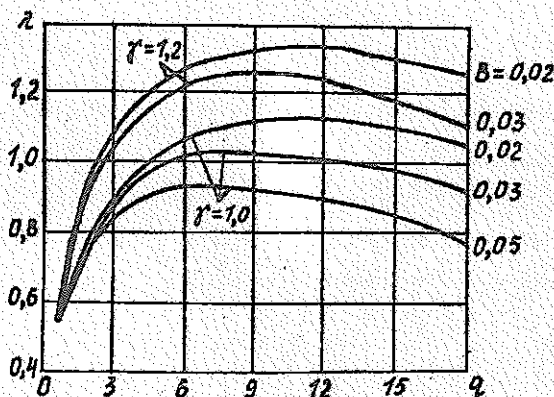


Рис.4.5. Зависимость роста производительности труда λ от количества q станков, блокируемых в автоматическую линию ($k = 5$; $m = 0,3$; $\alpha = 3$; $N = 10$ лет).

ней стоимости одного станка. Характер кривых показывает, что с ростом q производительность труда растет до определенного предела, достигает экстремального значения и затем падает.

На рост производительности труда резко влияет рост цикловой производительности λ' , что подтверждает важность повышения производительности рабочих машин. Особенно следует отметить влияние показателя относительных потерь β , который характеризует надежность машин. Из графиков (рис.4.5) видно, что чем меньше надежность встроенного оборудования, тем меньше машин можно объединить в жесткую автоматическую линию. Так, при $\beta = 0,05$ $q_{\text{опт}} = 6$, а при $\beta = 0,02$ $q_{\text{опт}} = 12$, причем с увеличением относительных внецикловых потерь β каждой машины коэффициент роста производительности λ уменьшается. Блокирование в автоматическую линию машин, имеющих низкую надежность ($\beta \geq 0,05$), приводит к тому, что при любом количестве блокируемых машин автоматическая линия имеет меньшую производительность труда, чем поточная линия ($\lambda < 1$).

Зависимость роста производительности труда от затрат на автоматизацию α и от числа машин q (рис.4.6) имеет такой же характер, как и в рассмотренном случае (рис.4.5). При этом чем больше затраты на автоматизацию α , тем ниже рост производительности труда. С уве-

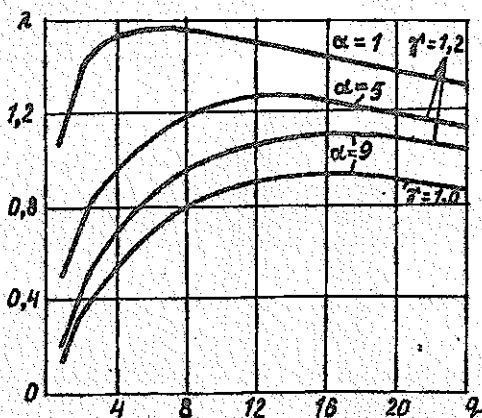


Рис.4.6. Зависимость коэффициента λ от величины затрат α и количества станков q , блокируемых в линию: $k = 5$; $m = 0,3$; $\delta = 3$; $N = 10$ лет.

пешением средств автоматизации (уменьшением α) максимумы кривых смещаются влево, при этом рост производительности труда значительно повышается. С другой стороны, чем дороже средства автоматизации, тем больше станков следует объединить в автоматическую линию с жесткой связью, так как затраты на автоматизацию приходятся на большее число машин.

Величина q_{opt} , соответствующая максимальному значению роста производительности труда, может быть найдена аналитически. Взяв частную производную от q в уравнении (43) и приравняв ее нулю, получим

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{\alpha(k + Nm)}{B[k + N(m + 1/\varepsilon)]}}. \quad (46)$$

Подставляя значение q_{opt} в формулу (43), получим значение λ_{max} . При $\lambda_{max} \geq 1$ создание автоматической линии целесообразно. При $\lambda_{max} < 1$ предпочтение следует отдать поточной линии.

Рассчитав q_{opt} , следует сравнить ее величину с $q_{техн}$ — технологически минимальным числом позиций и определить число участков автоматической линии:

$$n = \frac{q_{техн}}{q_{opt}}. \quad (47)$$

Если $q_{opt} = q_{техн}$, то $n = 1$, следовательно, линию надо компоновать как автоматическую линию с жесткой связью. В случае, когда $q_{opt} < q_{техн}$, то $n = q_{техн} / q_{opt}$ — линия с гибкой связью. Если $1 < n < q_{техн}$, то оптимальным является вариант компоновки линии, разделенной на n участков.

Пример расчета. Определим оптимальное число участков в линии при следующих данных. Стоимость поточной линии, состоящей из 12 машин, составит $C_{пл} = 240000$ руб. Линию обслуживают 12 операторов и 3 наладчика ($Z_n = 4$). Срок службы линии 8 лет. Ежегодные текущие расходы при эксплуатации (на материалы, электроэнергию, инструмент, ремонт) — $C_{эпл} = 25000$ руб. Стоимость комплекта средств автоматизации (транспортёр, накопитель, электрооборудование, система управления и т.д.) составляет $\alpha M = 80000$ руб. Определим величину ежегодных затрат на живой труд при двухсменной работе линии, считая,

что среднемесячная зарплата операторов $З_o = 120$ руб., наладчиков $З_n = 140$ руб., а дополнительная зарплата с начислениями составляет 15%.

$$C_{ж.п.л} = (120 \cdot 12 + 140 \cdot 3) \cdot 2 \cdot 12 \cdot 1,15 = 54096 \text{ руб.}$$

Показатель технической вооруженности поточной линии

$$k = \frac{C_{т.п.л}}{C_{ж.п.л}} = \frac{240000}{54096} = 4,44.$$

Показатель энергоматериалоемкости линии

$$m = \frac{C_{э.п.л}}{C_{ж.п.л}} = \frac{25000}{54096} = 0,46.$$

Относительная стоимость комплекта средств автоматизации

$$\alpha = \frac{\alpha M}{N} = \frac{80000}{20000} = 4.$$

Коэффициент сокращения затрат живого труда на автоматической линии по сравнению с поточной составит

$$\varepsilon = \frac{C_{ж.п.л}}{C_{ж.п.л}} = \frac{З_o/Z_o + З_n/Z_n}{З_n/Z_n} = \frac{120/1 + 140/4}{140/4} = 4,43$$

В соответствии с полученными данными и, считая $\beta = 0,02$,

$$q_{онт} = \sqrt{\frac{\alpha (k + Nm)}{\beta [k + N(m + 1/\varepsilon)]}} =$$

$$= \frac{4(4,44 + 8 \cdot 0,46)}{0,02 [4,44 + 8 \cdot (0,46 + \frac{1}{4,43})]} = 11,5.$$

Коэффициент роста производительности труда при этом составит (при $\gamma = 1$)

$$\lambda = \frac{\gamma(1+\beta)[k + N(m+1)]}{(1+\beta q) [(k + Nm)(1 + \frac{\alpha}{q}) + \frac{N}{\varepsilon}]} =$$

$$= \frac{I (I + 0,02) [4,44 + 8 \cdot (0,46 + I)]}{(I + 0,02 \cdot I2) [(4,44 + 8 \cdot 0,46) \cdot (I + \frac{4}{12}) + \frac{8}{4,43}]} = 1,05,$$

т.е. все I2 машин в рассматриваемом случае целесообразно связать в единую автоматическую линию ($n = I$).

Коэффициент использования автоматической линии с жесткой связью, скомпонованной из I2 машин, составит

$$\eta_{a.1} = \frac{1}{1 + Bq} = \frac{1}{1 + 0,02 \cdot I2} = \frac{1}{1,24} \approx 0,81.$$

Если надежность станков, входящих в автоматическую линию, низкая ($B \geq 0,03$), то автоматическая линия становится экономически невыгодной, так как уровень производительности труда при работе на такой линии ниже, чем на поточной линии ($\lambda < I$). Однако если автоматическая линия будет обеспечивать значительный рост цикловой производительности оборудования (допустим, на 20 %), применение автоматической линии целесообразно.

4.5. Расчет емкости магазинов-накопителей

Назначением междооперационных магазинов и бункеров-накопителей является компенсация простоев соседних машин и участков. Простои автоматических линий могут иметь самую различную продолжительность — от нескольких секунд до нескольких часов и даже рабочих смен. Естественно, что накопители, полностью компенсирующие все потери, должны иметь теоретически бесконечную емкость, поэтому реальные накопители компенсируют потери лишь частично, что характеризуется коэффициентом междоучасткового наложения потерь λ .

Междооперационные заделы-накопители не могут и не должны рассчитываться на компенсацию всех возможных простоев; в первую очередь, они должны компенсировать аварии и перебои в снабжении заготовками, вызванные организационными причинами.

Для определения емкости магазинов, бункеров или заделов, помещенных между участками автоматической линии, необходимо учитывать прежде всего компенсацию максимально допустимого одновременного

простоя участка линии t_{nmax} . Следовательно, емкость магазина-накопителя

$$E = t_{nmax} \cdot Q_4 \text{ [шт]}. \quad (48)$$

Промежуточный задел из E изделий компенсирует все простои, единовременная длительность которых меньше t_{nmax} . Если фактические потери больше t_{nmax} , задел быстро израсходуется и линия простоят дополнительное время, равное $(t_{nmax} - t_{nmax})$. Поэтому при проектировании магазинов и бункеров необходимо конструктивными и эксплуатационными мероприятиями обеспечить надежность работы всех агрегатов, входящих в линию так, чтобы фактические простои были меньше t_{nmax} . Если при расчете магазинов, бункеров и заделов ориентироваться на большие простои оборудования, то это приведет к искусственному их увеличению, что снизит эффективность автоматических линий.

Магазины и бункера надежной конструкции позволяют увеличить производительность труда операторов и производительность автоматических линий. Однако они не снимают высоких требований к оборудованию. Введение магазинов и бункеров-накопителей, повышая производительность линии, одновременно приводит к увеличению ее стоимости. Поэтому максимальная стоимость накопителей определяется из условия, что введение в линию накопителей обеспечит повышение производительности труда по сравнению с линией с жесткой межагрегатной связью.

Пример расчета. Рассчитаем емкость магазина-накопителя исходя из компенсации максимального допустимого одновременного простоя $t_{nmax} = 30$ мин и цикловой производительности Q_4 , равной 1 шт/мин.

$$E = t_{nmax} \cdot Q_4 = 30 \cdot 1 = 30 \text{ шт}.$$

Глава 5

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИС

5.1. Автоматизированные поточные линии для производства ИС

В настоящее время в электронном машиностроении происходит переход от механизированных комплексов к автоматизированным поточным линиям, отличающимся более жесткими связями между оборудованием. Современные автоматизированные поточные линии представляют собой комплекс высокопроизводительного оборудования, связанный конвейерной системой и управляемый от электронно-вычислительной машины. АПЛ дают возможность:

- 1) сократить численность обслуживающего персонала;
- 2) уменьшить производственные площади;
- 3) повысить уровень ритмичности благодаря использованию конвейерной системы и принудительного адресования пластин на обработку по мере освобождения оборудования;
- 4) сократить длительность производственного цикла в 2,5 - 3 раза;
- 5) увеличить выход годных изделий в результате выполнения условий по п.п. 3 и 4 и применения АСУТП на операциях изготовления структур.

В соответствии с общей структурно-технологической схемой производства ИС ряд операций повторяются, т.е. изделия должны многократно проходить через одни и те же установки или участки. Необходимость обеспечения межоперационного хранения изделий при значительной длительности обработки (до 5 смен и более) и, следовательно, наличия накопителей длительного хранения позволяет расставить оборудование в две расположенные одна против другой линии с накопителями длительного хранения, что удобно с точки зрения обслуживания.

На рис.5.1 представлена схема автоматизированной поточной линии для производства структур ИС [1]. Оборудование привязано к конвейер-

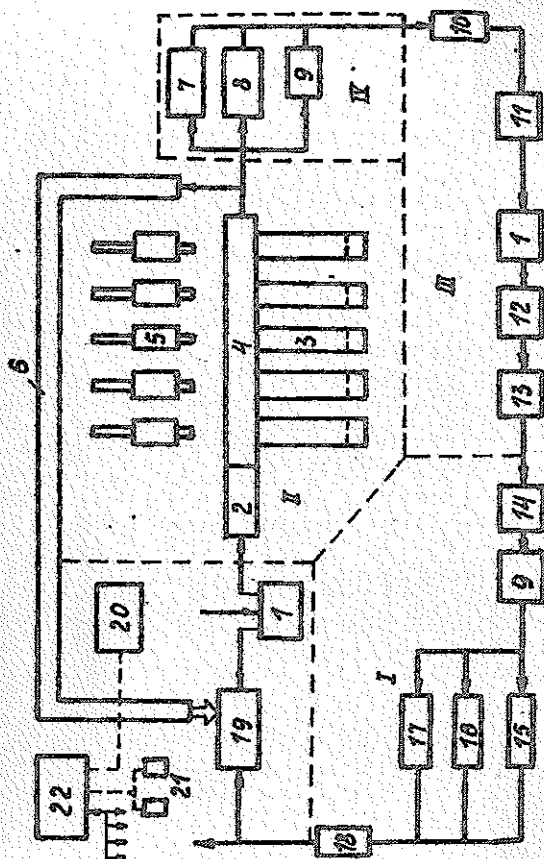


Рис. 5.1. Схема автоматизированной поточной линии для производства ИС:
 1 - накопитель для хранения пластин; 2 - автомат промывки; 3 - литейная печь;
 4 - туннель очистки; 5 - устройство загрузки; 6 - меточный трапезер; 7 - установка
 непрерывного наклеивания; 8 - установка непрерывного выжигания окисных пленок;
 9 - устройство перегрузки; 10 - установка термобработки; 11 - автоматическое устройство
 нанесения фоторезиста; 12 - установка измерения и экспонирования; 13 - автоматическая
 установка прожигания; 14 - установка выжигания; 15 - автомат ступенчатого травления;
 16 - автомат травления; 17 - автомат травления алюминия; 18 - автомат удаления фоторе-
 зиста; 19 - измерительная аппаратура; 20 - устройство управления движением; 21 - про-
 мышленная телевизионная установка; 22 - центральный пункт управления.

ной системе, обеспечивающей адресование пластин в соответствии с технологическим маршрутом. В линию входят четыре блока обработки пластин: блок промывки и травления (I), блок диффузии и окисления (II), блок фотолитографии (III) и блок напыления (IV). Блоки связаны между собой транспортными средствами и центральным пультом управления (ЦПУ), включающим в себя ЭВМ.

Пластины в блок промывки и травления (установки I5 - I8) подаются на обработку партиями по команде с ЦПУ в кассетах из тефлона. Оборудование автоматизировано, т.е. процессы идут по программе, однако транспортировка кассет, их установка и съём после обработки проводятся вручную.

Блок диффузии и окисления, состоящий из трех самостоятельных отсеков, автоматизирован в большей степени, хотя кассеты с пластинами передаются из одного отсека в другой вручную. На участке имеются накопители I для длительного и оперативного хранения подложек. Выдача партий пластин из накопителей на обработку производится по командам ЭВМ. По сигналу с пульта 20 оператор устанавливает указанную ЭВМ партию в скаффандр с ленточным транспортером 6. Пластины в автоматическом режиме проходят промывку и попадают на площадку перед диффузионной печью 3. Специальное загрузочное устройство 5 подает кварцевую лодочку с пластинами в печь, а по истечении установленного времени процесса возвращает лодочку в исходную позицию.

Блок фотолитографии содержит оборудование для нанесения фоторезиста, термообработки, проекционного совмещения и экспонирования, проявления (установки I0 - I3). На участке предусмотрено накопительное устройство I (возможно длительное хранение пластин).

Блок напыления состоит из вакуумной установки напыления алюминия 7 и установки для осаждения двуокиси кремния 8.

Линия представляет собой систему автоматизированных технологических участков. ЭВМ, используемая для решения задач управления, работает в информационно-советующем режиме. Часть оборудования смонтирована в изолированных боксах (отсеках). Существенным элементом построения рассмотренной автоматизированной поточной линии является расположение блоков однотипного оборудования в соответствии с циклическим характером движения пластин в производстве. Это обеспечивает значительное сокращение общего пути транспортирования партий пластин в производстве.

5.2. Автоматизированные технологические комплексы для производства ИС

Анализ различных методов организации современного поточного производства показывает, что в настоящее время наибольшее распространение получает построение производства по схеме "транспорт - манипулятор - станок" (трамостан). Сущность этой концепции заключается в том, что наиболее гибким сочетанием, обеспечивающим полную автоматизацию широкого класса производств, является сочетание транспорта с автоматическим адресованием, роботов-манипуляторов и автоматического (автоматизированного) оборудования. В соответствии с этим автоматизированные участки komponуются из однотипных вспомогательных элементов (модулей). К числу функциональных модулей относятся: конвейер, робот-манипулятор, накопители, тара, средства управления. Такая система позволяет объединять оборудование в координированно работающие технологические комплексы различного масштаба, жестко связанные по планировке и количеству комплектующих агрегатов.

Переход к таким системам позволяет значительно сократить число операторов, закрепленных за каждой единицей оборудования, и перейти к системе передвижного обслуживающего персонала, осуществляющего лишь контроль за работой оборудования, значительно сократить персонал, выполняющий функции управления и организации.

5.3. Автоматизированные поточные линии диффузии

Рассмотренная система организации производственных участков используется при проектировании автоматизированной поточной линии диффузии (АПЛ диффузии), предназначенной для выполнения комплекса физико-термических операций в производстве ИС, с высоким уровнем автоматизации всех основных и вспомогательных операций, с организацией зоны движения изделий в "чистом коридоре", обеспечивающей автоматическое адресование и доставку партии пластин в заданный реактор, накопление и хранение до и после обработки, автоматическую доставку кассет на пост групповой перегрузки пластин.

Автоматизированная поточная линия диффузии состоит из следующих основных частей:

- физико-термическое оборудование;
- система автоматической загрузки;
- транспортная система;
- система автоматического адресования;
- система пылезащиты;
- устройство групповой переукладки пластин;
- накопитель партий пластин;
- система управления.

Конструктивно (рис.5.2) линия выполнена в виде "стенки", разделяющей зону технологического оборудования с соответствующей коммуникацией от зоны "чистого коридора", формируемого модулями 3 и блоками 10 пылезащиты и предназначенного для транспортирования открытых пластин от оператора к реакторам диффузионных блоков и обратно.

Блоки диффузионной обработки и устройства газораспределения отделены от остальной части линии стенкой (на рис.5.2 показаны только входные отверстия в диффузионной печи 5).

На лицевой части монтируются устройства автоматической загрузки 7, блоки управления загрузкой 8 с регуляторами скорости, манипуляторы 6 и II, трасса транспортной системы 9, пульт оперативной информации и управления физико-термическими процессами 4, центрального пульта управления 2 с механизмами групповой перегрузки 13.

Линия комплектуется специальным носителем для транспортирования пластин. Кварцевые кассеты, устанавливаемые на носителях, размещаются на площадках роторных устройств соответствующих реакторов.

Партии пластин, поступающие на линию для обработки, устанавливаются в соответствующие ячейки накопителя длительного хранения (НДХ) I, очередность которых определяется технологическим маршрутом. Каждая ячейка способна принимать до четырех транспортных кассет общей емкостью до 100 пластин.

Манипулятор II, входящий в состав центрального пульта управления, по команде оператора обрабатывает программу как приема носителей с транспортного устройства и установку его на стол опера-

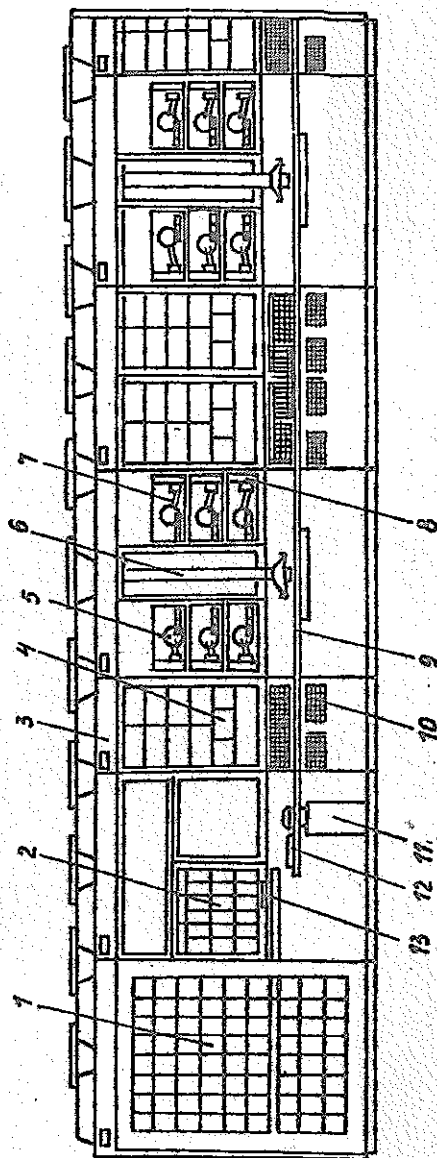


Рис. 5.2. Автоматизированная поточная линия диффузии (АПД диффузии):
 1 - накопитель длительного хранения; 2 - центральный пульт управления;
 3 - модуль палезащиты; 4 - пульт оперативной информации и управления;
 5 - входное отверстие в диффузионные печи; 6 и 11 - манипуляторы;
 7 - устройство автоматической загрузки; 8 - блок управления загрузкой;
 9 - трасса транспортной системы; 10 - блок палезащиты; 12 - каретка;
 13 - механизм грузовой перегрузки.

тора, так и обратное действие, а также используется для групповой переукладки пластин.

Манипулятор 6, входящий в состав загрузочной системы, обеспечивает автоматический прием партии пластин с транспортного устройства на любую из шести площадок приема соответствующих роторных устройств, а также осуществляет автоматически и по команде оператора выдачу партий пластин на транспортное устройство. Доставка партии пластин к загрузочной системе и обратно осуществляется двумя транспортными самоходными каретками 12 по специальной трассе, армированной пластиной. Носитель скользит по капроновому кошку на трассе 9, облегающему с трех сторон стальные токопроводящие стержни трассы. Каретки приводятся в движение двигателем, напряжение к которому подводится с помощью двух стержней через скользящие контакты.

Рельсовая трасса разделена на три изолированных друг от друга участка:

- по первому и второму участкам правая каретка доставляет носитель с кассетой от центрального пульта управления к загрузочной системе;

- по третьему и второму участкам левая каретка доставляет носитель с кассетой от загрузочной системы к пульту управления.

Механизм групповой перегрузки пластин состоит из плиты с закрепленными на ней стойками (рис.5.3). На стойках крепится вращающаяся часть механизма перегрузки пластин - рама с гребенками и подвижной крышкой. Вращающаяся часть механизма перегрузки пластин I из исходного положения I переводится в положение II. Две транспортные кассеты 2 по 25 пластин в каждой закрепляются в фиксаторах подвижной крышки 3 механизма перегрузки. В положении III пластины 4 из транспортных кассет 2 перекачиваются в пазы гребенок механизма перегрузки. Пустые транспортные кассеты снимаются.

Затем вращающаяся часть механизма снова переводится в положение II, фиксируется, и снова закрепляются две другие транспортные кассеты 2 по 25 пластин в каждой. Механизм перегрузки пластин еще раз переводится в положение III. При этом пластины из транспортных кассет перекачиваются в пазы гребенок механизма перегрузки пластин. Пустые транспортные кассеты снимаются.

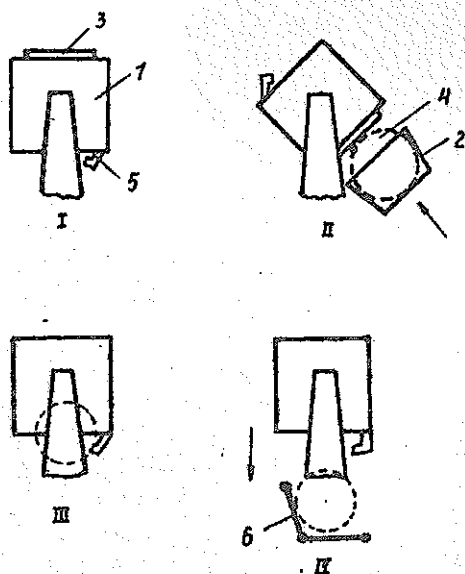


Рис.5.3. Схема работы механизма перегрузки пластин:
 I - вращающаяся часть механизма; 2 - транспортная
 кассета; 3 - подвижная крышка; 4 - пластины;
 5 - гребенка; 6 - кварцевая кассета.

С помощью манипулятора под гребенку 5 механизма перегрузки пластин до заданного уровня подается кварцевая кассета 6 (положение IV), затем гребенка 5 отводится в сторону и пластины из гребенок механизма перегрузки перекачиваются в пазы кварцевой кассеты. Далее кварцевая кассета подается на транспортную линию, а рычаг манипулятора вместе с носителем спускается до исходного положения.

Автоматическая загрузочная система (АЗС) предназначена для доставки пластин с трассы транспортной системы в реакторы диффузионного блока. АЗС состоит из модуля загрузки, пульта управления загрузкой, блока пылезащиты с пультом управления и манипулятора (с пультом управления манипулятором).

Модуль автоматической загрузки обеспечивает автоматическую доставку партий пластин в заданный реактор, накопление и хранение пластин до и после обработки. Модуль загрузки состоит из трех узлов:

- 1) автоматическое устройство загрузки;
- 2) роторное устройство;
- 3) заслонка с индивидуальным приводом.

Автоматическое устройство загрузки включает механизм малого перемещения и механизм большого перемещения. Механизм малого перемещения (800 мм) осуществляет перемещение кассеты с пластинами до трубы диффузионного блока. Механизм большого перемещения (1200 мм) осуществляет непосредственное заталкивание кассеты в реактор с помощью длинной кварцевой штанги и возвратно-поступательное движение кассеты во избежание ее приварки к трубе реактора. Роторное устройство предназначено для автоматической смены рабочих площадок, на которые перегружаются кассеты, а также для накопления и хранения кварцевых кассет с носителями. Заслонка с индивидуальным приводом, имеющая прорезь для кварцевой штанги, закрывает трубу диффузионной печи. Во время загрузки и выгрузки пластин заслонка открывает вход в реактор.

Манипулятор автоматической системы загрузки предназначен для автоматической доставки партий пластин в специальном носителе на приемную площадку роторного устройства.

Пульт управления (загрузкой, манипулятором, датчиками воздуха, блоком пылезащиты) обеспечивает требуемый режим работы соответствующих блоков.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. КОРИШЛОВ Р.Б., САНДЕРОВ В.Л. Расчет комплексов оборудования микроэлектроники. М., Энергия, 1979.
2. Организация, планирование и управление предприятием электронной промышленности. Под ред. П.М.СТУКОЛОВА, М., Высшая школа, 1980.
3. ШАУШИН Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов М., Машиностроение, 1973.
4. КУЗНЕЦОВ М.М., ВОЛЧКЕВИЧ Л.И., ЗАМЧАЛОВ Ю.П. Автоматизация производственных процессов. М., Высшая школа, М., 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Глава 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРЕДПРИЯТИЯ	3
1.1. Системный подход при проектировании современной техники	3
1.2. Предприятие как большая система	6
1.3. Техническая система предприятия	7
1.4. Комплекты оборудования для производства интегральных схем	7
1.5. Технологические поточные линии	9
Глава 2. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И НАПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	12
2.1. Характерные особенности современного производства	12
2.2. Основные ступени (этапы) автоматизации производства	14
2.3. Основные задачи и направления автоматизации технологических процессов микроэлектроники	18
Глава 3. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ...	24
3.1. Типы автоматических линий	24
3.2. Структурная компоновка автоматических линий	27
3.3. Автоматические линии с переменной структурой	29
3.4. Конструктивная компоновка автоматических линий ...	31
3.5. Особенности компоновки автоматических сборочных линий	32
3.6. Автоматизация сборочных операций с помощью промышленных роботов	35
Глава 4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ	37
4.1. Основные положения теории производительности	37
4.2. Производительность автоматических линий при различных структурных схемах компоновки	41
4.3. Производительность автоматических линий в зависимости от надежности машин, механизмов и устройств	52
4.4. Выбор (расчет) оптимальной структуры компоновки автоматической линии	55
4.5. Расчет емкости магазинов-накопителей	63

Глава 5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИС.....	65
5.1. Автоматизированные поточные линии для производства ИС.....	65
5.2. Автоматизированные технологические комплексы для производства ИС.....	68
5.3. Автоматизированные поточные линии диффузии.....	68
ЛИТЕРАТУРА.....	74