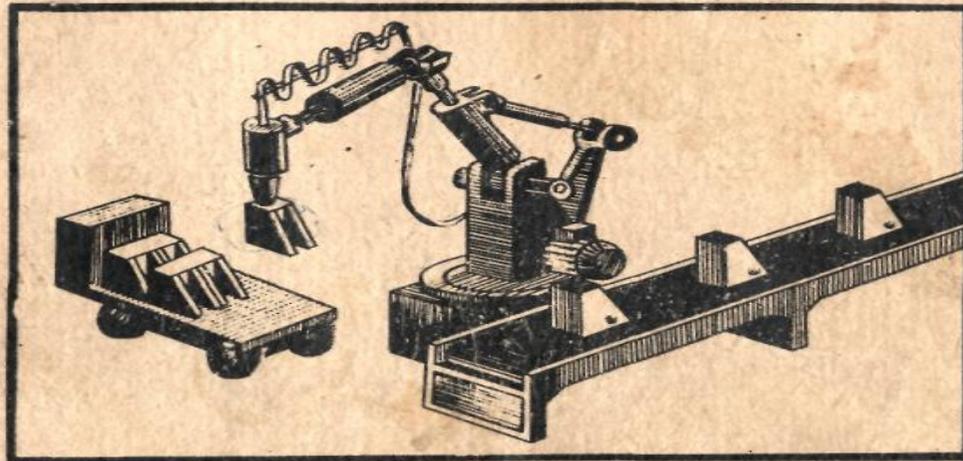


9 203

**СТРАТЕГИЯ - УСКОРЕНИЕ**



**В. Д. ДАРОВСКИХ**

**ПЕРСПЕКТИВЫ  
КОМПЛЕКСНОЙ  
АВТОМАТИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**

- Д 20 **Даровских В. Д.**  
Перспективы комплексной автоматизации технологических систем. — Ф.,: Кыргызстан, 1989.— 192 с. — (Стратегия — ускорение). ISBN 5-655-00427-5

В книге приведен анализ состояния и перспектив гибкой автоматизации машиностроительного производства, отражены методы и преимущества плановой смены поколений техники, обоснована допустимая структурная сложность технических систем, на конкретных и оригинальных примерах показаны пути решения задач комплексной автоматизации с применением вычислительных и управляющих средств. Изложение сопровождается многочисленными и конкретными иллюстрациями.

Книга предназначена для специалистов в области автоматизации и систем машин, студентов и учащихся вузов, техникумов, СПТУ, а также для читателей, интересующихся вопросами научно-технического прогресса.

- Д 2702000000-22 80\_89 ББК 34.4  
M451 (11)-89

ISBN 5-655-000427-5 © Издательство «Кыргызстан» 1989.

В осуществлении технической реконструкции народного хозяйства принципиально важное значение имеет быстрое обновление производства на базе передовой техники, широкое внедрение прогрессивных технологических процессов и гибких производств, позволяющих оперативно перестраиваться на выпуск новой продукции и дающих экономический и социальный эффект. Постоянное повышение сложности и качества вновь создаваемых технических и технологических объектов, обновление и расширение их видов и номенклатуры, снижение сроков их морального старения являются объективной закономерностью технического прогресса.

Главным действующим звеном технического прогресса становится инженер (создатель, изобретатель), не копирующий, а предопределяющий, способный двигаться не вдогонку уже реализованным научно-техническим достижениям, а в обгон их.

Решение задачи непрерывного роста производительности труда возможно только при комплексной автоматизации производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих работ, управления производством на всех его стадиях и уровнях.

Понятие автоматизации нельзя сводить к разработке средств и систем автоматического действия с целью высвобождения человека от непосредственного управления и регулирования рабочих процессов, их стабилизации и т. д.

Автоматизация производственных процессов — это комплекс мероприятий по разработке новых, прогрессивных технологических процессов и созданию на их основе высокопроизводительных машин и систем машин, выполняющих весь производственный процесс без непосредственного участия человека. Главное направление автоматизации — не только высвобождение человека от обслуживания машин, находящихся на высоком техническом уровне, но и создание высокопроизводительных технологических процессов и конструкций машин и систем машин.

Получение качественно нового результата требует, как правило, интеллектуального, технического и технологического напряжения и не всегда приводит к экономическим преимуществам.

Кажется парадоксальным, но резкое, революционное расширение технического арсенала средств автоматизации в машиностроении сопровождается не ускорением темпов роста производительности труда, как следовало бы ожидать, а их существенным снижением. Подобное может произойти в случае подмены целей средствами. Вместо того, чтобы всегда и везде бороться за конечные результаты: повышение качества и количества выпускаемой продукции, снижение ее себестоимости и улучшение фондоотдачи, предприятия стремятся запланировать изготовление и внедрение максимального количества «модных» на сегодняшний день технических средств и систем без учета фактической потребности в них, готовности служб предприятий работать с ними, реальной эффективности применения.

Самая прогрессивная и новая техника, примененная не там, не так и не тогда, когда она необходима, превращается в свою противоположность.

Машиностроительное производство, которое становится все более многономенклатурным (многоцелевым), принято делить на два резко различающихся вида — мелкосерийное и массовое. Машиностроение с мелкосерийным и серийным характером производства выпускает в нашей стране и других промышленно развитых странах до 75—80% общего объема продукции. И эта доля продолжает расти. Для подобного производства характерно постоянное увеличение объемов, усложнение конструкций, увеличение трудоемкости и номенклатуры выпускаемых изделий. Частая смена объектов производства требует сокращения сроков освоения новой продукции.

В данных условиях возможности автоматизации производственных процессов, да и непосредственно производства в целом, обеспечиваются достижениями в области автоматизации рабочего цикла машины и реализованном на этой основе автоматизированного поточного производства, программном и числовом программном управлении оборудованием, созданием новых классов переналаживаемых в автоматическом режиме машин, в частности промышленных роботов, транспортных систем и т. д., внедрением в практику управляющих и вычислительных ЭВМ.

Результатом очередного этапа научно-технической революции в машиностроении, неразрывно

связанного с дальнейшим прогрессом в области механики и энергетики под влиянием технической кибернетики, явилось создание новых видов производств: гибких производственных систем и гибких автоматизированных производств. Последние включают две основные части — гибкую производственную систему и гибкую систему автоматизированной технологической подготовки производства и позволяют в мелкосерийном и единичном многономенклатурном производстве в нужный момент прекратить изготовление освоенной продукции и в короткий срок с минимальными затратами приступить к выпуску новых изделий и видов продукции.

## 2. ПЛАНОВАЯ СМЕНА ПОКОЛЕНИЙ ТЕХНИКИ

Стратегической задачей нашей страны определена необходимость соединения преимуществ социалистического строя с достижениями НТР, что обеспечит технологический переворот во всех сферах производства [П]. Для быстрого и эффективного освоения научно-технических достижений в интересах всего народа в нашей стране и в странах социализма имеются объективные предпосылки, а сами достижения, основанные на развитии науки и техники и непрерывном научно-техническом прогрессе претерпевают качественные изменения. Это осуществляется как в эволюционной форме постоянного совершенствования, накопления частичных качественных изменений, так и в радикальной форме революции, которая, по словам В. И. Ленина, «есть такое преобразование, которое ломает старое в самом основном и коренном, а не переделывает его осторожно, медленно, постепенно, стараясь ломать как можно меньше...».

Прогресс техники и науки сопровождается и в значительной мере вызывается новой ступенью в развитии человека как главной производительной силы общества, овладевающего новыми знаниями и производственными навыками, которые позволяют ему создавать и эффективно применять новую технику и технологию. Новые знания и навыки накапливаются, составляют основу общего и профессионального образования.

В периоды НТР сложившаяся система общей и специальной подготовки работников производства коренным образом преобразуется, разворачивается революция в образовании, которая не только вооружает человека но-

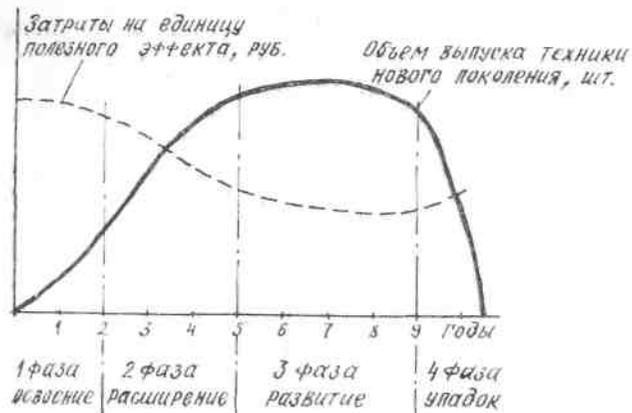


Рис. 1. Фазы технического цикла I рода (смена поколений техники).

системой знаний, умением создавать и эффективно применять новую технику, но и приводит к перестройке содержания, методов и организации обучения [2].

Периодические переходы к качественно новому уровню техники, повторяющиеся через определенные промежутки времени, дают основание говорить о закономерности циклического обновления техники [2]. Технический цикл — период времени от одного скачка в развитии техники до другого, причем период этот включает ряд различных по своему характеру фаз. Различают следующие роды технических циклов: смена поколений техники (рис. 1); переход к новым направлениям техники (рис. 2); периодическое массовое обновление активной части основных фондов, реализующее переход к новым поколениям машин в ведущих отраслях; общетехнические революции, ведущие к коренному перевороту в уровне производительных сил.



Рис. 2. Смена направлений и поколений техники (технический цикл II рода).

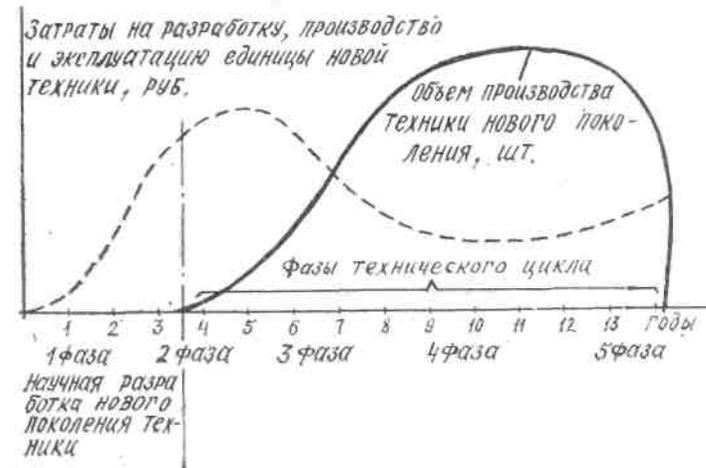


Рис. 3. Фазы научно-технического цикла.

Прогресс техники на определенном этапе развития становится практически невозможным без развития науки, то есть он превращается в материализацию научных идей. В то же время каждый последующий шаг в развитии науки опирается на достижение техники, наука становится непосредственной производительной силой и получает собственную техническую базу. Возникает процесс взаимодействия науки и техники, а период между рождением новой научно-технической идеи, ее материализацией в новом поколении или направлении техники и временем, когда эта техника, исчерпав свой потенциал, заменяется в производстве и потреблении новой, более эффективной, реализующей научные идеи более высокого уровня, называется научно-техническим циклом (рис. 3) [2].

Структура научно-технического цикла включает в себя основные подциклы: научный, производства, применения, состоящие из последовательных элементов (табл. 1). Между фазами каждого подцикла имеется определенная взаимосвязь, причем в наибольшей степени должно обеспечиваться опережение научных исследований и фундаментальных разработок. Включение научного поиска в процедуру разработок, переход от последовательной (рис. 4а) к фронтальной (рис. 4б) их организации, совмещение опытно-конструкторских разработок с подготовкой производства — все это в комплексе ускоряет создание новой техники и удовлетворение потребности в ней.

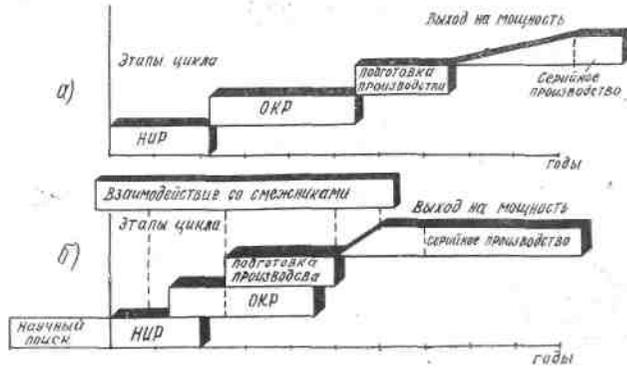


Рис. 4. Структура жизненного цикла изделий: а — по следовательная; б-фронтальная.

Подобным образом реорганизуется структура внедрения фундаментальных исследований (рис. 5). Этому способствует создание межотраслевых научно-технических комплексов (МНТК), инженерных центров, ориентированных на создание новых поколений техники, технологий и материалов именно по «фронтальной» схеме. Иначе говоря, следует параллельно и одновременно с завершением фундаментальных и прикладных исследований разворачивать разработку технологических процессов, технологического

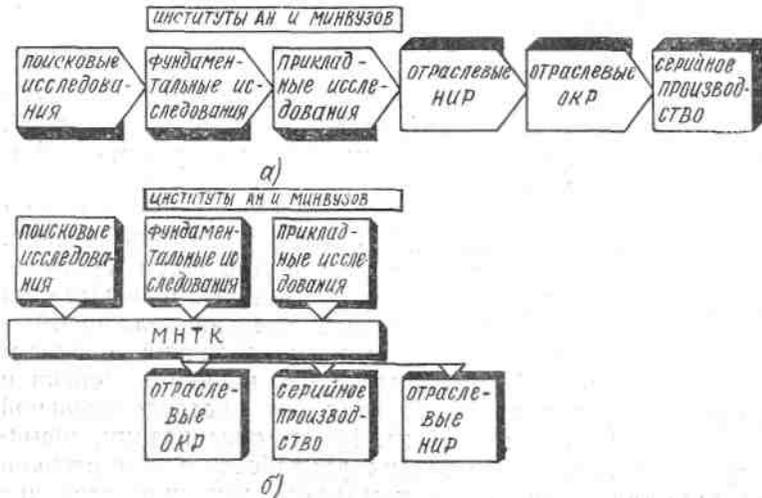


Рис. 5. Варианты структур внедрения фундаментальных исследований: а — последовательная; б — фронтальная.

### 1. Структура научно-технического цикла

Научно-технический цикл		Технический цикл	
Поддиск разработки техники	Поддиск изготовления техники	Первичное освоение производства новой техники	Первичное освоение производства новой техники
		Расширение производства новой техники	Стабильное производство новой техники
Поддиск применения техники	Поддиск изготовления техники	Первое освоение новой техники потребителем	Устаревание и снятие с производства техника
		Распространение новой техники	Устаревание и снятие с производства техника
Поддиск применения техники	Поддиск изготовления техники	Массовое применение техники	Устаревание и снятие с производства техника
		Устаревание и замена техники в сфере применения	Устаревание и снятие с производства техника

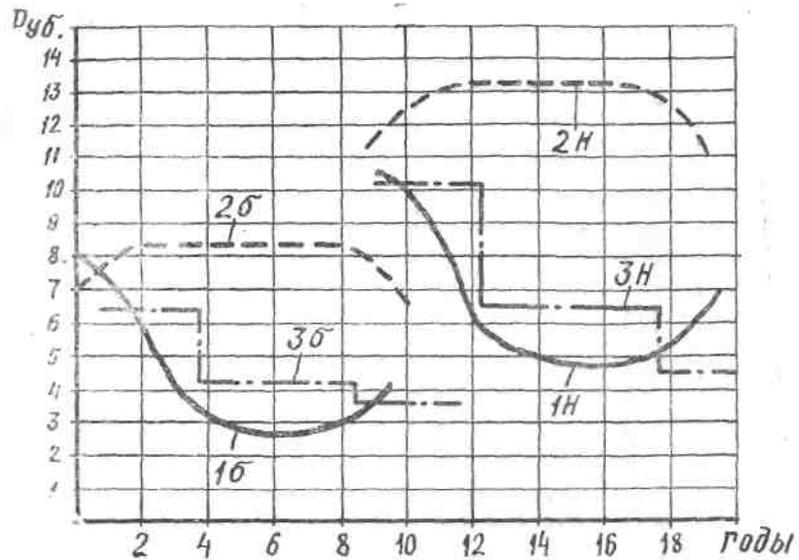


Рис. 6. Схемы абсолютного и относительного удешевления машин: 1б 1н — себестоимость базисной и новой машины; 2б 2н — потребительская стоимость (эффективность применения) базисной и новой машины; 3б 3н — цена базисной и новой машины.

и контрольно-измерительного оборудования и даже выпуск и поставку предполагаемым потребителям опытных партий изделий.

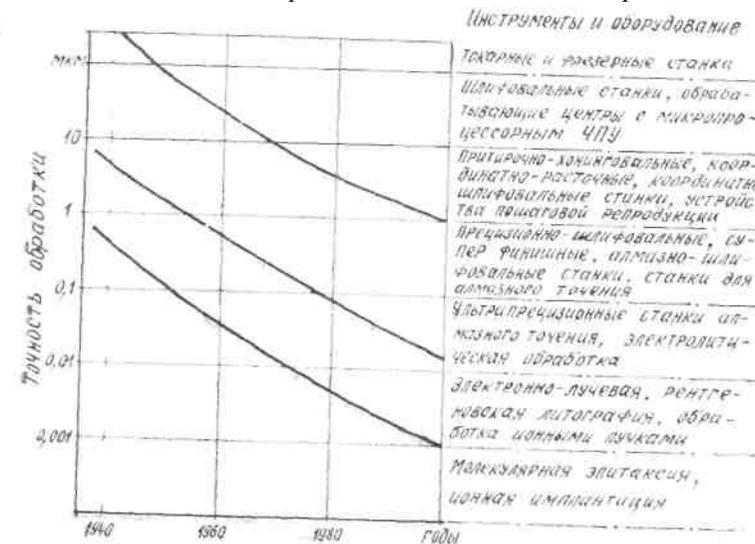
Экономический результат научно-технического прогресса реализуется в двух взаимосвязанных формах — абсолютного и относительного удешевления техники [2]. В основе абсолютного удешевления лежит взаимосвязанная динамика технико-экономических показателей машины: ее стоимости, себестоимости, потребительской стоимости (эффективности применения) и цены (рис. 6), что обеспечивает уменьшение затрат у потребителя на приобретение данной техники.

В относительном удешевлении машин находит выражение взаимосвязанный результат движения их стоимости и потребительской стоимости. Новая техника не обязательно должна быть дороже. Возможны три случая: новая более производительная машина абсолютно дороже, но на единицу полезного эффекта дешевле; новая машина имеет ту же цену, что и старая, но относительно (на равный объем работы) дешевле; новая машина и абсолютно и относительно дешевле старой. Вместе с тем необходимо

приведение показателей базисной и новой машины в сопоставимый вид при оценке их сравнительной эффективности.

Особенности технического прогресса, характеризующегося сменой поколений новой техники, требуют создания целостных технологических систем. При этом прогресс идет не по линии замены одной машины другой, а путем смены всей технологической системы следующей, но опирающейся на систему взаимосвязанных технологий, машин и материалов нового поколения, разработанных на вновь открытых принципах. Практическим примером, поясняющим необходимость разработки новых принципов и технологий может служить диаграмма, отображающая эволюцию точности получения размеров при механообработке (рис. 7). Систему машин можно определить как совокупность технических средств одного или разного функционального назначения, применяемых в качестве основных или встроенных узлов и агрегатов, но ориентируемых на ту или иную технологию, в частности, на получение конкретных видов продукции, материалов, энергии и т. д. Оценка тех-

Рис. 7. Зависимость совершенствования точности обработки и



способы ее достижения.

<sup>1</sup> НТР: проблемы и решения, 1986. — № 1.

нического уровня и конкурентоспособности систем и каждого Элемента, входящего в систему машин, требует последовательного и планомерного учета основных положений системотехники. Например, набор лучших машин, входящих в комплекс в качестве его компонента, еще не предопределяет оптимальное состояние всего комплекса машин, ориентированного на определенную технологию.

Любая технологическая система как совокупность компонентов, содержащих целевые механизмы, предназначена для выполнения конкретных операций по материальному преобразованию, например, формообразованию, загрузке, разгрузке, транспортировке, переориентации, сборке, сварке, нанесению покрытий и т. д. Целевой механизм формирует в рабочем или холостом режимах, как правило, линейное или угловое перемещение. Создание функционально законченных узлов — модулей, выполняющих роль целевых механизмов, из которых можно компоновать различные структуры станочных, манипуляционных, транспортных или иных механизмов для решения конкретных технологических задач — сокращает конструктивную избыточность средств автоматизации. Это позволяет простые конструкции сделать универсальными, а от широкоуниверсальных перейти к специализированным.

Научно-технические достижения позволяют создать принципиально новые автоматические системы, отличающиеся многоцелевым назначением и способностью самостоятельно или по командам оператора изменить свое поведение в условиях меняющейся среды. При этом успешно автоматизируются те сферы человеческой деятельности, где необходимы как широкий набор физических и интеллектуальных функций, так и возможность быстрой перестройки с одних операций на другие. Достигнуто это непрерывным совершенствованием механических и энергетических систем и интенсивным влиянием на них кибернетических средств.

На примере совершенствования модулей возвратно-поворотного перемещения (рис. 8) видно, что достижение принципиально новых качественных показателей требует комплексного совершенствования как механической части, так и методов управления. Причем конструкция перспективного модуля и его качественно новые характеристики достигнуты не усложнением конструкции, а именно синтезом механической и управляющей частей.

Первый вариант (рис. 8а) обеспечивает восемь программируемых угловых координат ведомому звену и состоит из совокупности последовательно связанных

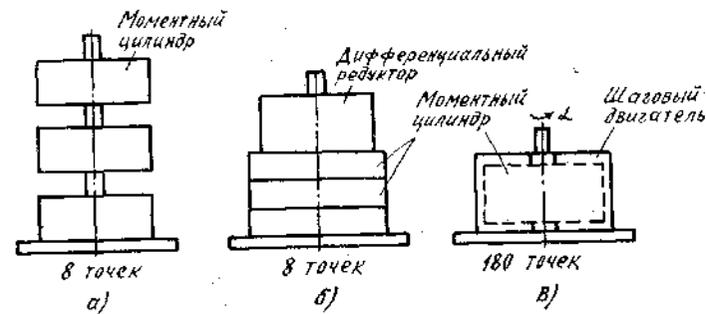


Рис. 8. Общий вид модулей возвратно-поворотного перемещения.

другом моментных цилиндров. Нарращивание его функциональных возможностей ограничено существенным увеличением габаритов и снижением жесткости.

Те же возможности, но при более высокой жесткости, обеспечивает вариант, показанный на рис. 8б. Моментные цилиндры здесь жестко соединены друг с другом и с основанием, а их выходы, взаимосвязаны со входами дифференциального редуктора с единым выходом.

Оба варианта взаимодействуют с цикловой системой программного управления, обеспечивающей как управление циклом работы, так и его перепрограммирование. Для автоматизации последней процедуры необходимо совершенствование цикловой системы управления.

Модуль, изображенный на рис. 8в, обеспечивает до 180 программируемых угловых координат ведомому звену с дискретностью в  $1,5^\circ$  и до 90 координат — с дискретностью в  $3^\circ$ , при относительной в сравнении с предыдущими вариантами компактности конструкции [3]. Управление модулем ведется от системы числового программного управления при возможности автоматического перепрограммирования.

Обобщая сказанное, можно отметить, что главная функция машины или системы машин достижима в сочетании с вспомогательными. В основе каждой функции заложен конкретный физический или иной эффект, определяющий принцип действия. Однако каждой функции соответствует набор моделей принципов, которые, в свою очередь, могут носить альтернативный характер. Чтобы реализовать принцип действия в работающей машине не-

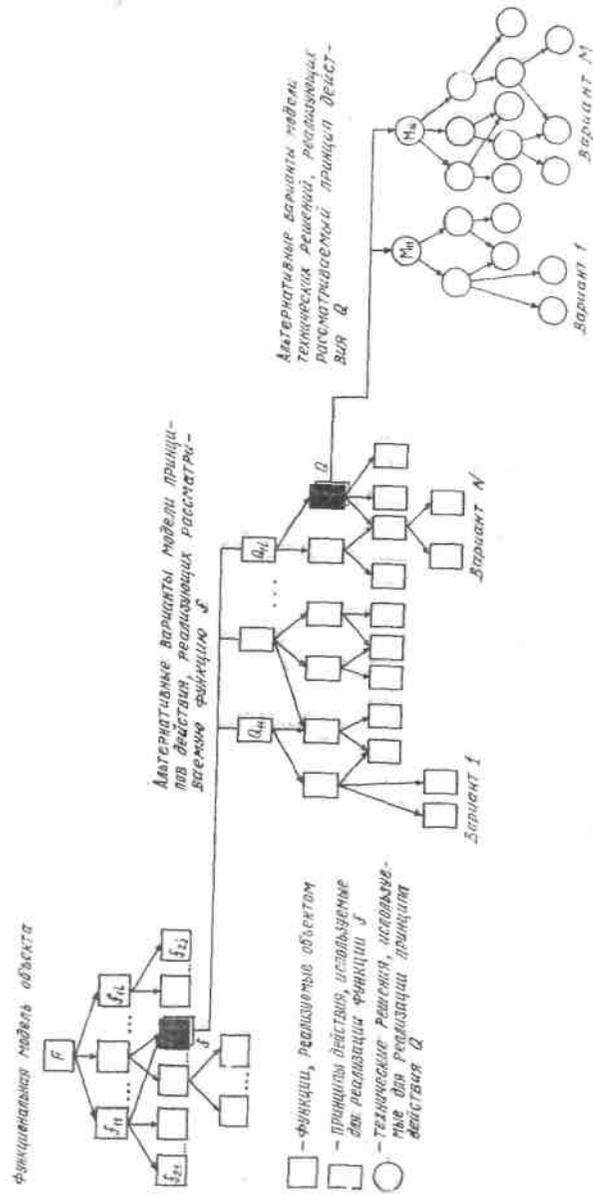


Рис. 9. Структурная модель объекта техники.

обходимы технические решения, число которых также не однозначно. Структура модели технического объекта показана на рис. 9. При создании новых объектов техники от конструктора требуется поиск эффективных сочетаний решений (на рис. 9 это показано внутри- и меж-блоковыми связями), прогнозирование будущих поколений машин, их систем и комплексов с заданными свойствами.

### 3. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

#### 3. 1. Особенности автоматических систем

Снижение себестоимости продукции за счет автоматизации технологического процесса, сокращения численности работающих и повышения производительности — это неотложная задача, стоящая перед любой отраслью промышленности. Одним из путей удовлетворения разнообразных социальных и технико-экономических требований потребителя при сохранении высокой производительности труда является применение гибких производственных систем (Flexible Manufacturing System, FMS), у нас в стране — автоматических станочных систем, основы гибкого автоматизированного производства. Практическое применение автоматических систем может дать следующий эффект с учетом 100% показателей до внедрения:

число станков	100% $\rightarrow$ -17%
необходимый персонал	100% $\rightarrow$ -20%
время подготовки	100% $\rightarrow$ -12%
автоматизация (без людная технология)	0 час. $\rightarrow$ 12 час.

Под необходимым персоналом системы понимается персонал, выполняющий установку и снятие заготовок и деталей. Его численность сокращена до 1/5. Сокращение длительности подготовки до 1/9 достигнуто устранением времени ожидания за счет рационального программирования транспортной системы и большим числом выполняемых технологических операций за одну установку на внедренных многооперационных станках (рис. 10). Сокращение времени на подготовку приводит к повышению к. п. д. обработки, сокращению межоперационного хранения деталей и объемов незавершенного производства, а также к уменьшению занимаемой станками площади.

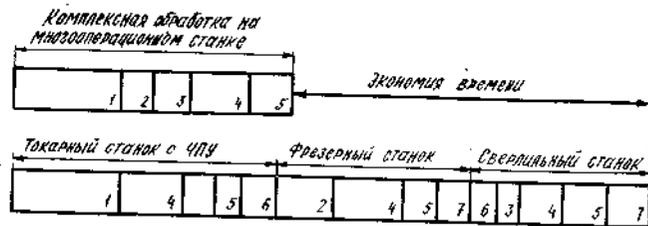


Рис. 10. Возможности повышения производительности при многооперационной обработке: 1—токарная обработка; 2—фрезерная обработка; 3—сверлильная обработка; 4—деление шпинделя и позиционирование инструмента; 5—закрепление и открепление; 6—перевозка; 7—снятие заусенцев.

Особенности перспектив развития автоматических систем — гибкость при достаточно высокой производительности, выпуск изделий малыми сериями при высокой частоте их сменяемости, сокращение затрат на оснастку и инструмент, минимизация времени на переналадку, сокращение внутрипроизводственных и межоперационных заделов в условиях мелкосерийного и опытного производств — указывают на необходимость построения их с ориентацией на групповую технологию, когда создаются участки (технологические цепи) для обработки геометрически определенных и технологически подобных групп деталей. Данный подход существенно упрощает создание новой техники при возрастающем применении управляющих и вычислительных средств.

Оценка новой техники производится как и прежде по следующим основным параметрам: точности, надежности, производительности, стоимости.

Автоматизация машиностроительного производства на отдельных операциях и деталях, на производственных участках и на всем предприятии становится экономическим базисом всего общественного развития. Существенным образом преобразуется структура автоматической системы, реализация которой направлена на увеличение многообразия функциональных свойств. Решение задачи по созданию автоматической системы обеспечивает повышение производительности, качества деталей при снижении многих видов затрат и потребности в рабочей силе. На это, однако, можно рассчитывать, если объекты производственного процесса перспективны, а оборудование правильно спроектировано и близко к оптимальному для данных конкретных условий обработки. Наибольший эффект дает комплексная автоматизация как основных,

и вспомогательных операций. При частичной автоматизации затраты меньше, но и эффективность существенно снижается. Так, если вместо разработки новой автоматической системы оснастить существующие станки промышленными роботами как загрузочными устройствами, то производительность труда поднимется не более чем на 50% [6].

Объем работы и функции у отдельных компонентов автоматической системы распределены следующим образом: технологический модуль представляет собой совокупность технических средств (станок, инструмент, приспособление), которые в результате взаимодействия друг с другом приводят к изменению физико-механических и геометрических свойств у объекта производственного процесса; модуль межоперационного транспортирования и складирования включает в себя средства, которые позволяют распределить поток материалов (изделие, инструмент, отходы и т. д.) по связям в системе; модуль измерения и контроля обеспечивает наблюдение и сигнализацию о выполнении требуемых технологических и манипуляционных функций или измерение правильности конкретных характеристик изделия, положения рабочих органов производственного и вспомогательного оборудования; модуль источников и распределения энергии представляет собой совокупность источников, распределительных щитов и элементов регулирования, начиная от центральных источников до местных входов в отдельные устройства; модуль управления представляет собой совокупность элементов, с помощью которых обеспечивается управление технологическим, манипуляционным и производственным процессами в автоматической системе, действующий как средство объединения всех модулей; модуль операционного манипулирования представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих проведение операционного манипулирования в системе объектами технологической обработки и инструментом. К ним относятся промышленные роботы, манипуляторы, автооператоры и иные вспомогательные устройства. Применение роботизированных средств стимулирует рост уровня автоматизации технологических систем. Наглядное представление об источнике экономии дает пример японской фирмы «Кавасаки дзюкогё», производящей с помощью роботизированных технологических систем мотоциклы. Рама мотоцикла сварная, причем общая длина швов составляет 1807 мм, а количество сварных участков равно 36, из которых 14

имеют по три сварных шва, представляющих собой пространственные кривые. Поэтому для сохранения правильного положения сварочной горелки угол ее наклона необходимо менять, а при сварке участков различной толщины следует контролировать качество сварки.

Оператор при выполнении ручной сварки рамы затрачивает 5,65 мин, из которых длительность горения дуги составляет 3,6 мин, или 64% от рабочего цикла. Промышленный робот в течение 4 мин производит сварку тех же 36 участков, а на горение дуги при этом затрачивается 3,25 мин, что составляет 81% от рабочего цикла. Следовательно, замена оператора автоматическим устройством экономит трудозатраты в 1,4 раза при дополнительной экономии энергоресурсов.

В станочных автоматических системах также можно выявить рациональный режим работы манипулятора. Если на одну загрузку-разгрузку станка манипулятор за-

Оказывается, что чем больше величина  $p_i$  конкретно-

трачивает время  $t = \sum_{i=1}^n p_i \tau_i$  где  $i=1,2,\dots, n$  — номер звена манипулятора;  $p_i$  — число перемещений  $i$ -го звена;

$\tau_i$  — время перемещения  $i$ -го звена, то степень участия  $\mu_i$  звена в общем цикле равна<sup>1</sup>  $\mu_i = \frac{p_i \tau_i}{t}$ .

Чем больше быстрдействие оно должно иметь. Однако при прочих равных условиях в первую очередь следует интенсифицировать работу того звена, влияние на общую эффективность которого наибольшее.

Быстрдействие манипулятора по обслуживанию оборудования зависит и от его компоновки. Одним из критериев оптимальной компоновки служит условие

создание автоматических систем в каждом конкретном случае должно проводиться с различной степенью интеграции (горизонтальная расчлененность) и различной степенью автоматизации (вертикальная расчлененность). При этом степень интеграции есть количественное выражение технологических и производственных задач, а степень автоматизации — это уровень автоматизации управленческих, технологических и манипуляционных приемов.

<sup>1</sup> Архипенко Н. А., Кравченко Н. Ф. Исследование быстрдействия промышленных роботов. — Механизация и автоматизация производства, 1984. — № 6. — С. 11 — 13.

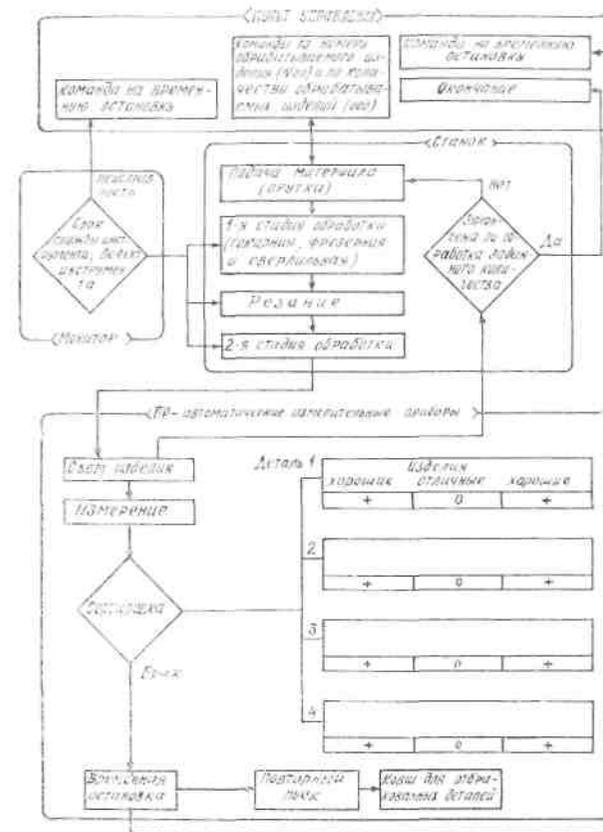


Рис. 11. Функциональная схема комплексной обработки прутков с промышленным роботом и автоматической системой измерения.

На рис. 11 функционально показан пример комплексного подхода при автоматизации изготовления деталей четырех типоразмеров. Здесь применены системы активного контроля и разбраковки деталей, а роботизированные и автоматические измерительные устройства дополняют универсальный станок с числовым программным управлением.

Контроль протекающих процессов, например, металлообработки лезвийным инструментом может вестись посредством обнаружения неисправности резания или контроля срока службы инструмента (рис. 12). Диагностирование иных элементов и системы в целом — процесс чрезвычайно сложный. В качестве примера рассмотрим

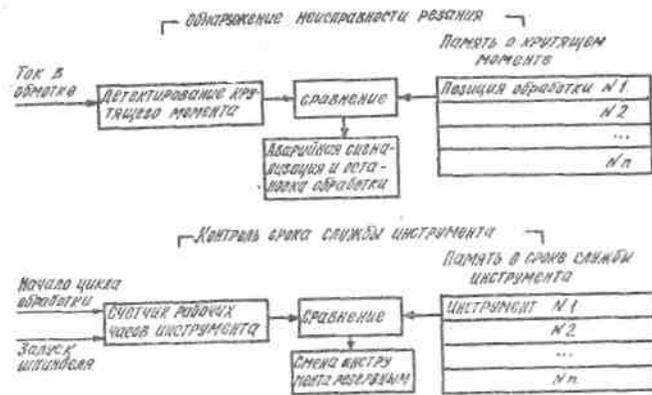
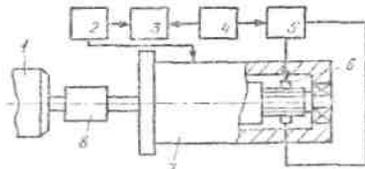


Рис. 12. Контроль состояния инструмента.

устройство диагностики технического состояния коллекторов электродвигателей (рис. 13), состоящее из ведомого устройства, соединительной муфты, исследуемого электродвигателя и электромеханической системы контроля технического состояния [7]. Последняя включает в себя Вибропреобразователь, установленный на корпусе электродвигателя, механизм подъема щеток, управляемый синхронизатором, и анализатор. На первом этапе синхронизатор выдает команду на опускание щеток и включение муфты. Вибропреобразователь измеряет суммарную вибрацию и подает сигнал на анализатор, где он запоминается. На втором этапе работы синхронизатор выдает команду на подъем щеток и включение муфты, соединяющей привод и электродвигатель. Вибропреобразователь измеряет вибрацию, в которой отсутствуют составляющие, обусловленные дефектами коллекторного узла. Сигнал вибропреобразователя вторично поступает в анализатор и по сопоставлению двух сигналов производится диагностирование дефектов коллекторного узла. При внедрении средств автоматизации на технологическом участке приходится



сталкиваться с комплексом задач, имеющих специальные методы решения. С точки зрения автоматизации производственных процессов с применением, например, промышленного робота необходимо исходить из основной структурной единицы — комплексно-автоматизированного технологического участка, содержащего внутреннюю взаимосвязи и связи с окружающей средой. Последние могут подразделяться на входные и выходные. При этом участок следует рассматривать как систему. Функциональный вариант комплексно-автоматизированного участка с элементами, подсистемами и связями показан на рис. 14.

Однако увеличение структурной сложности имеет ограничения, которые допустимо вывить из анализа надежности технологической системы.

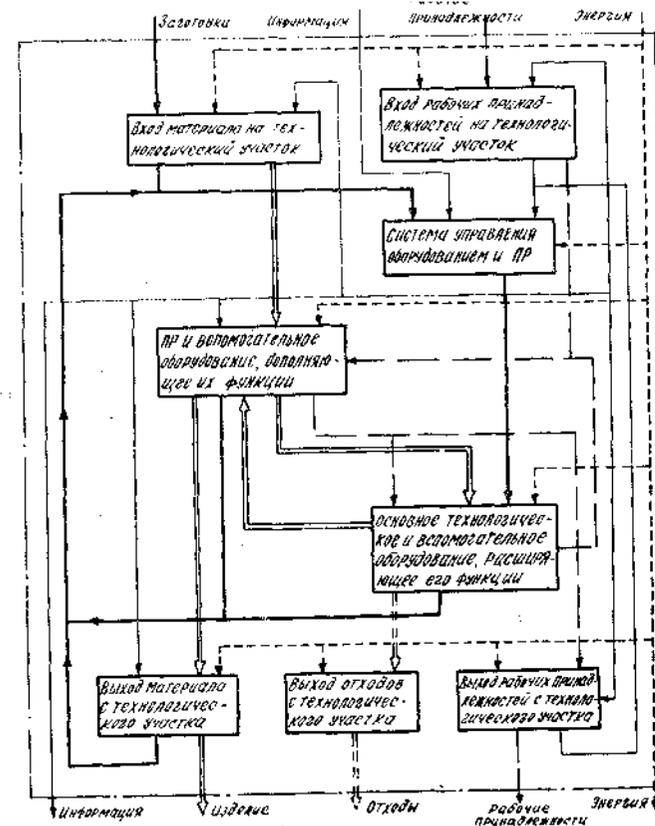


Рис. 14. Функциональная схема роботизированной автоматической системы.

### 3.2. Социальные и техникоэкономические последствия автоматизации

Разработка и широкое применение гибких производственных систем (ГПС) стали ведущей тенденцией развития современного и перспективного промышленного производства. Анализ систем по составу парка металло-режущего оборудования, а также по количеству станков показывает, что около 75% установленных ГПС состоят из пяти единиц оборудования и менее, а приблизительно 33% — из двух станков. Большинство ГПС с двумя-тремя станками спроектированы с возможностью их дальнейшего расширения.

43% созданных до 1986 г. ГПС применено в автомобильной промышленности, особенно в производстве легковых автомобилей. Предполагается, что следующей областью, где произойдет усиленное внедрение ГПС, будет электронная промышленность. Следует отметить, что ограничений в области применения ГПС не существует, хотя обрабатываемая фаза производства занимает приоритетное положение с точки зрения внедрения ГПС перед заготовительной и сборочной. В то же время задача автоматизации именно этих двух фаз производства актуальна для всех развитых стран. Бесспорно, что указанная диспропорция будет выравниваться. Например, гибкая автоматизация сборки находится в центре внимания Государственного Министерства исследований и технологии, а также предприятий ФРГ. В настоящее время в шести основных отраслях серийного сборочного производства занято около 655 тыс. рабочих<sup>1</sup>. Причем в сборочных производствах ФРГ доля рабочих моложе 35 лет и женщин в 2 раза выше, чем в среднем на национальных предприятиях. Значительно выше (до 28%) в сравнении со средними показателями (17%) доля рабочих-иностранцев в сборочных цехах. Это объясняется плохими условиями труда на сборке. Дифференциация сборочных операций ведет к тому, что до 85% рабочих не имеют квалификации. В социальном и техническом аспектах трудовая деятельность в данном производстве не имеет перспектив.

Наибольшие успехи в области создания ГПС для всех фаз производства достигнуты в Японии. Так, если в Японии к середине 80-х годов было разработано 60 моделей сборочных роботов, в США — 31 модель, то в ФРГ было

разработано и использовалось в пределах страны всего 6 моделей роботов. Можно отметить следующие основные причины технологического скачка США и Японии: широкая финансовая помощь изготовителям и пользователям роботов со стороны правительства; проведение крупномасштабных программ автоматизации сборки на основе национальных научно-технических ассоциаций; форсированное развитие сборочных роботов для различных отраслей промышленности; использование новейшей технологии для производства роботов и иных средств автоматизации.

Автоматизация сборки позволит повысить требования к квалификации персонала, избавиться от рабочих низкой квалификации. Максимально достижимое количество высвободившихся рабочих мест в целом в области серийного сборочного производства ФРГ за счет автоматизации сборки составит к концу 80-х годов 250 тыс. человек.

Среди известных 60 ГПС японских фирм 1/4 часть предназначена для производства деталей типа тел вращения, 3/4 — деталей призматической формы, а материал заготовок, обрабатываемых с помощью ГПС, не ограничен. Размеры обрабатываемых деталей колеблются в следующих пределах: тела вращения — диаметром от 8 до 2000 мм, призматические детали — от 150 мм<sup>3</sup> до 4000 м<sup>3</sup>, количество обрабатываемых деталей в партии варьируется от 1 до 1000 шт. Длительность рабочего цикла ГПС при обработке одной детали в зависимости от сложности и технологического процесса колеблется от нескольких минут до двух часов. Транспортные операции в системах закреплены за конвейерами и самоходными программируемыми тележками. На данных ГПС выпускается от 4 до 450 видов продукции.

Эффективность применения ГПС возрастает от оснащения их универсально-сборной переналаживаемой оснасткой (УСПО). Применение УСПО на ГПС обеспечивает сокращение сроков освоения новых видов изделия; сокращение затрат времени на проектирование и изготовление специальных приспособлений; снижение вспомогательного времени на закрепление (открепление) заготовок на плитах-спутниках.

Так, применение УСПО на одном ГПС позволит заменить около 250 единиц специальной оснастки, сбросить до 25 т металла, условно высвободить около 16 рабочих, получить экономический эффект около 250 тыс. рублей. Данная информация приведена в работе В. В. Попова «Универсально-сборная переналаживаемая оснастка (УСПО) для ГПС, ГП модулей и многоцелевых станков», в книге «Технология, оборудование, органи-

зация и экономика машиностроительного производства». Серия 1. Автоматические линии и металлорежущие станки. Экспресс-информация. Вып. 7. — М.: ВНИИТЭМР, 1985, С. 20—22.

Модульное исполнение ГПС также повышает их эффективность. Характер деления систем на модули может быть обоснован относительно их функционального назначения. Так, модуль обработки включает в себя вертикальный и горизонтальный машинные центры, станки токарной и фрезерной групп, многооперационные станки, станки с автоматической сменой шпиндельных блоков. Модуль погрузочно-разгрузочных работ — это тележки с возвратно-поступательным движением, линии промышленных роботов, складской кран, конвейерная система, транспортный промышленный робот. В модуль складирования включаются стеллаж для плит-спутников, питатели, вертикальный автоматизированный склад. В сборочном модуле предусмотрены станции заготовок, автоматизированная ячейка для сборки с помощью промышленных роботов. Анализ качества продукции на всех уровнях ГПС ведется модулем измерения. Здесь измерительные роботы, станция измерительных приборов, устройства для измерения в трехмерном пространстве. Предусмотрен и модуль удаления отходов производства. Согласование взаимодействия всех модулей ГПС выполняется в модуле управления. В него входят центральная управляющая ЭВМ с большой емкостью памяти, ЭВМ со средней емкостью памяти для цехов, мини-ЭВМ для регулирования, микро-ЭВМ для регулирования, программируемые командоаппараты задания последовательности технологических переходов, программное обеспечение. Датчики и тесты состояния элементов ГПС, технологической оснастки, инструмента, вычислительных, управляющих средств и программного обеспечения объединяются в модуле анализа и реализации решений.

Те возможности и преимущества, что могут принести создателям и эксплуатационникам ГПС, можно видеть из опыта машиностроения ГДР<sup>1</sup>. ГПС предприятия VEB Kombinat Umformtechnik (г. Эрфурт) обеспечивает обработку деталей типа колец и валов 3300 типоразмеров диаметром до 550 мм и длиной до 1200 мм. Годовая производительность ГПС составляет 350000 шт. На данной ГПС сокращено время обработки годовой программы на 41000 час, что соответствует повышению производительности на

35% при высвобождении 31 рабочего. При этом срок окупаемости сокращается на 50%.

На станкостроительном комбинате «7. Oktober» (г. Берлин) изготовлена ГПС обработки призматических деталей 2600 наименований с размером до 500x500x400 мм с годовой производительностью 120000 шт. Здесь в сравнении с исходным вариантом экономится 72000 час. в год, что соответствует повышению производительности на 38%, позволяя высвободить 41 рабочего в механической обработке и 48 рабочих на сборке.

Структура ГПС основана на использовании оборудования с программным и числовым программным управлением, построенного по модульному принципу. Аппаратными средствами системы управления ГПС являются все ЭВМ (как встроенные в модули, так и вне их), устройства сопряжения, измерения, контроля и передачи данных, функционирующих под управлением программных средств.

Программные средства представляют собой совокупность программ, определяющих порядок реализации функций, возложенных на систему управления. Программы делятся на обслуживающие и функциональные (технологические). Обслуживающие программы предназначены для управления начальной загрузкой программ и данных в память ЭВМ, контроля готовности к работе ЭВМ и прочих аппаратных средств, управления обменом данных с системами управления модулями ГПС и т. д. Совокупность обслуживающих программ, осуществляющих управление вычислительным процессом и реализующих наиболее общие процессы управления объектом, рассматривается как единое целое и называется операционной системой ЭВМ.

Функциональные программы обеспечивают работу управляемого объекта. В программах содержится информация о последовательности действий в каждом модуле ГПС. Эти действия обеспечиваются программными модулями операционной системы, хранимыми в памяти ЭВМ. Операционная система организует выполнение вспомогательных функций по обслуживанию работы ЭВМ и расширяет операционные возможности ЭВМ в результате программной реализации наиболее типичных действий, связанных с вводом-выводом данных и других функций управления объектом.

Все программы и сообщения синхронизации передаются по линиям связи, объединяющим все ЭВМ в единый управляющий комплекс.

При создании систем управления ГПС на нижнем уровне применяются микро-ЭВМ, на втором — мини-ЭВМ, которые совместимы по системе команд.

<sup>1</sup> Flexible Fertigungs sisteme im Maschinenbau der DDR, Forster FI «Werkstatttechnik», 1983, 73, № 1, 25—

Это облегчает разработку программного обеспечения микро-ЭВМ, хотя различие в системах команд не является существенным препятствием для создания управляющих комплексов из многих ЭВМ.

Широкому распространению ГПС предшествует подетальная и предметная специализация предприятий, что позволяет создать массовое и крупносерийное производство с прогрессивной технологией, с широким использованием гибких автоматических линий, агрегатных станков и специальной оснастки, с комплексной автоматизацией производственных участков и цехов, обеспечивающей стабильный выпуск высококачественной и конкурентоспособной продукции при ее низкой себестоимости.

В единичном производстве при изготовлении опытного и уникального оборудования найдут применение технологические машины с широкой автоматизацией вспомогательных операций (загрузки, выгрузки, управления, контроля, очистки и др.). В единичном и мелкосерийном производстве предполагается групповая обработка деталей, управляемая от ЭВМ, а также использование унифицированной технологической оснастки многократного применения. Значительно повысится уровень механизации и автоматизации внутривозовского транспорта, а также складирования деталей, приспособлений, инструментов и т. п. Будут функционировать адресные склады с унифицированными кратабелерами, стеллажами и стандартной производственной тарой с комплектацией, хранением, поиском, выдачей грузов в автоматическом и полуавтоматическом режимах. Комплексно-автоматизированные склады станут организующим звеном в управлении всем циклом производства — от поступления материала до сборки изделия. ?????

### 3.3. Элементы автоматизации для технологических

#### 2. Сравнительная характеристика станочного оборудования

Показатели	Универсальные станки	Станки с ЧПУ	Автоматизированный участок
Среднегодовой выпуск деталей, тыс. шт.	55	55	55
Средний коэффициент использования станков	0,26	0,35	0,60

Продолжение

Показатели	Универсальные станки	Станки с ЧПУ	Автоматизированный участок
Средний коэффициент повышения производительности станков	1,0	2,3	3,7
Количество станков	37	16	12
Количество обслуживающего персонала	96	40	24
В том числе операторов-станочников	74	21	10
Коэффициент многостаночности	1,0	1,5	2,0
Общие капитальные затраты, тыс. руб.:			
на станки	400	1600	1000
на транспортное и вспомогательное оборудование	50	80	400
Среднегодовая себестоимость продукции, тыс. руб.	381	363	274

систем

Одной из важнейших тенденций развития средств автоматизации является унификация компонентов с переходом в конечном счете к унифицированным конструктивным модулям механической части станков, роботов, оснастки, их устройств управления, программного обеспечения и базирующихся на них технологических комплексов и гибких производственных систем. Помимо известных преимуществ этот подход облегчает задачу модернизации автоматизированных технологических комплексов путем оснащения их новыми модулями и применения отдельных из них в качестве самостоятельных технологических приспособлений {автооператоров, кантователей, межоперационных транспортных устройств}.

Рассмотрим конструктивные схемы некоторых перспективных элементов для средств автоматизации, которые могут быть с успехом применены в переналаживаемых автоматизированных системах.

Традиционные кинематические структуры манипуляционных механизмов, создаваемые подобно руке человека, приводят к противоречиям, когда обладающие кинематической избыточностью механизмы не вписываются в простейшие технологические операции. Ресурсоизбыточные приводы таких механизмов, обеспечивая высокое быстро-

действие соответствующим кинематическим подвижностям, не разрешают задачи повышения производительности в комплексе.

Весьма эффективными с точки зрения повышения производительности оказались манипуляционные механизмы одновременно транспортирующие, обрабатывающие, ориентирующие и т. д. несколько объектов производственного процесса [5]. Их применение можно рекомендовать для тех технологических процессов, на которых подобные условия осуществимы или которые соответствующим образом модернизированы. Манипуляционные механизмы обслуживающие одновременно несколько объектов, незаменимы на завершающей стадии производства — сборке. Рассмотрим конструкцию, предназначенную для автоматизации процессов сборки узлов, содержащих до четырех сочленяемых деталей. Манипулятор может быть приспособлен для переустановки объектов производственного процесса с переориентацией их в пространстве или без нее. Манипулятор состоит (рис 15) из зацепленных друг с другом шестерен, со ступицами

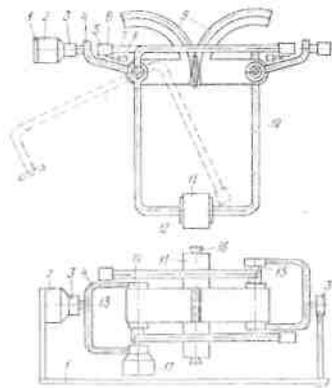


Рис. 15. Конструкция манипулятора: 1 — основание; 2, 17 — двигатель; 3, 14 — опора подшипниковая; 4 — траверса; 5, 11 — деталь; 6, 12 — элементы захватные; 7, 10 — тяга; 8, 16 — устройство выдачи деталей; 9 — шестерня; 13 — ось траверсы; 15 — вал.

которых жестко соединены тяги. Валы шестерен смонтированы в подшипниковых опорах, которые попарно соединены друг с другом траверсами. Оси траверсы, в свою очередь, закреплены в подшипниковых опорах, смонтированных на едином основании. С валом левой шестерни соединен выходной вал двигателя, корпус которого закреплен на траверсе. Одна из осей траверсы соединена также с выходным валом другого двигателя. Последний, в свою очередь, закреплен жестко на основании. На тягах смонтированы захватные элементы, выполненные возможностью взаимодействия устройства выдачи деталей. Манипуляционный механизм посредством основания связан с рукой

позиционера, который выносит механизм в исходное для начала цикла положение.

Привод левой шестерни срабатывает по сигналам системы управления. Вал, связанный с этим двигателем, вращается в опорах, увлекая за собой левую шестерню. При этом во вращение относительно опор приходит и вторая шестерня с валом. Тяги, закрепленные на ступицах шестерен, также движутся по криволинейным траекториям. Захватные элементы тяг по окончании углового перемещения шестерен производят зажим базовой детали в устройстве выдачи. Захватные элементы противоположных тяг также ориентируются относительно деталей, расположенных в соответствующих устройствах выдачи, и производят их зажим. Далее рука позиционера осуществляет перенос механизма и захваченных им деталей к сборочной позиции. В случае необходимости переориентации базовой детали в пространстве относительно, например, установочных баз сборочной позиции включается второй двигатель. Он вращает траверсы относительно осей, смонтированных в опорах. При этом весь манипулятор переориентируется в пространстве на заданный угол. Процесс переориентации манипулятора допускает выполняться при его транспортном перемещении рукой позиционера. В сборочной позиции деталь фиксируется на установочных базах. Подается команда на двигатель, связанный с шестерней, и захватные элементы тяг освобождают деталь. Одновременно с этим вращаются и шестерни в противоположных друг другу направлениях. Связанные со ступицами шестерен тяги движутся совместно с захватными элементами и деталями в них к базовой детали, размещенной в установочных базах сборочной позиции. В конце хода происходит сборка всех деталей.

При возвратном ходе происходит установка всего механизма в первоначальное положение рукой позиционера и реверсом второго двигателя, что обеспечивает вынос механизма в зону его взаимодействия с устройством выдачи деталей. Подготовлены условия для повторения цикла.

Конструкция манипулятора гарантирует стабильность рабочего цикла, исключает сбой в общем технологическом цикле, обеспечивает надежность работы. Рабочие траектории захватных элементов не пересекаются с другими подвижными и стационарными элементами манипулятора. Повышение надежности ведет к росту производительности и снижению трудоемкости эксплуатации.

Для разделения, поштучной выдачи и однозначного позиционирования в зоне захвата манипулятором изогнутых

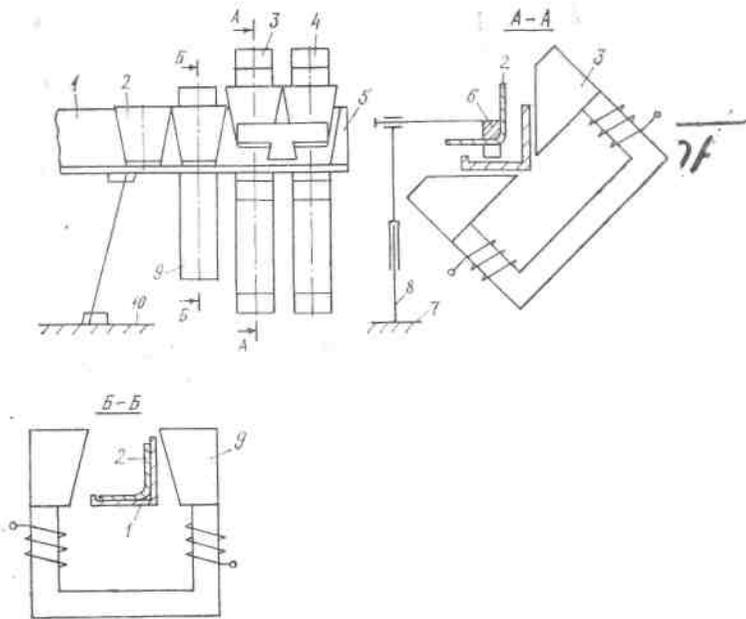


Рис. 16. Конструкция механизма позиционирования: 1 — виброток; 2 — заготовка; 3, 4 — электромагнит фиксации; 5 — упор; 6 — пластина диэлектрическая; 7, 10 — основание; 8 — стойка; 9 — электромагнит отсекателя.

деталей предназначен механизм<sup>1</sup> позиционирования немагнитных токопроводящих деталей. Механизм может работать в совокупности с вибрационным или шибберным устройствами предварительной ориентации.

Механизм позиционирования состоит (рис. 16) из виброток для подачи заготовок, двух электромагнитов фиксации деталей в зоне захвата их манипулятором, электромагнита отсекателя, диэлектрической пластины с пазами, копирующими профиль заготовок. Диэлектрическая пластина кинематически закреплена на стойке с возможностью вертикального перемещения в двух взаимоперпендикулярных направлениях. На виброток имеется упор. Электромагниты фиксации и электромагнит отсекателя расположены последовательно и вдоль виброток с шагом, равным ширине заготовки. Крайний электромагнит фиксации и упор разнесены относительно друг друга на расстояние, равное половине ширины заготовки. Обмотки всех электро-

магнитов непосредственно и через корректирующее устройство связаны с усилителем. Последний соединен с задающим генератором и устройством управления манипулятором. Корректирующее устройство, усилитель и генератор образуют блок питания. Стойка и виброток имеют индивидуальные основания. Грани полюсов электромагнитов фиксации выполнены параллельными опорным поверхностям виброток, а полюсы электромагнита отсекателя выполнены с гранями, образующими отрицательные углы над вибротком с заготовкой.

Заготовки поступают от механизма предварительной ориентации по виброток до упора. Заготовка, взаимодействующая с упором, и следующая за ней отрываются от базировочной поверхности виброток электромагнитным полем и прижимаются к базировочным поверхностям диэлектрической пластины. Включение всех электромагнитов производится управляющим устройством. Электромагнитное поле, образуемое каждым электромагнитом фиксации, создает силу, движущую заготовку диагонально относительно диэлектрической пластины. В результате этого заготовки размещаются в ее пазах и однозначно позиционируются. Заготовки, ориентированные на пластине, независимы от колебаний виброток из-за отсутствия связи между основаниями механизма. Одновременно с электромагнитами фиксации включается в работу и электромагнит отсекателя. Под действием создаваемых им электромагнитных сил заготовка, ближайшая к двум зафиксированным на диэлектрической пластине, прижимается к базировочным поверхностям виброток. В результате этого движение заготовок по виброток прекращается. Фиксация заготовок перед зоной их поштучной выдачи исключает нарушение электромагнитного равновесия и гарантирует надежную работу всего механизма. После захвата заготовок манипулятором, зафиксированных на диэлектрической пластине, и выноса их из устройства для поштучной выдачи, управляющее устройство выдает команду на отключение усилителя. Обмотки всех электромагнитов обесточиваются и заготовки беспрепятственно продвигаются по виброток до упора. Цикл автоматически повторяется.

Механизм позиционирования заготовок имеет относительно простую конструкцию и обеспечивает поштучную выдачу одновременно двух изогнутых деталей различных типоразмеров. Универсальность свойств механизма существенно снижает трудоемкость перестройки автоматической системы в пределах групповой технологии.

Снижение трудоемкости перестройки ведет к росту производительности и следовательно, экономической эффективности автоматизируемого процесса. Механизм обеспечивает стабильность фиксированного положения деталей из-за наличия специальных базирующих поверхностей; независимость положения деталей от колебаний электрических параметров блока питания, от изменения их толщины, от колебаний вибрототка устройства ориентации. С данным механизмом допустимо взаимодействие менее точного захвата манипулятора, что упрощает его конструкцию. Расширенным технологическими возможностями в отношении смены типоразмера захватываемых деталей, что выполняется автоматически, отличается захватная головка манипулятора, изображенная на рис. 17. Она состоит из корпуса, захвата, выполненного в виде двух шарнирно установленных на подвижной платформе подпружиненных рычагов с роликами, приводов захвата

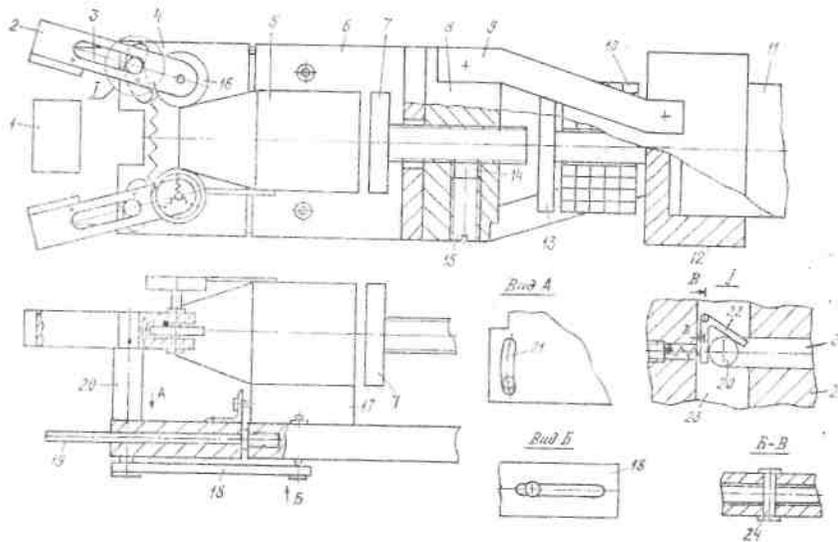


Рис. 17. Захватная головка манипулятора: 1—деталь; 2—рычаг; 3—паз; 4—платформа; 5, 17—приводы захвата и платформы; 6—корпус; 7—винт регулировочный; 8—ядро; 9—пружина; 10—электромагнит; 11—манипулятор; 12—основание; 13—сердечник; 14—прокладка; 15—винт стопорный; 16—ролик; 18—тяга; 19—направляющая; 20—палец; 21, 23—паз; 22—скоба; 24—ось.

мещения платформы, вибратора, выполненного в виде электромагнита, ядра, пружин. В ядре, установлены регулировочный и стопорный винты и прокладка. Сердечник, электромагнита неподвижно соединен с основанием. Основание неподвижно соединено с манипулятором. Один конец пружины закреплен на ядре, а другой — на основании электромагнита. В рычагах предусмотрены продольные, пазы, взаимодействующие с пальцем, выполняющим роль опоры рычага и закрепленным через тягу с корпусом с возможностью углового и линейного перемещения. В подвижной платформе при этом предусмотрен криволинейный, по дуге окружности паз, с которым контактирует палец. С обоих торцов рычагов выполнены также пазы, в которых посредством осей закреплены подпружиненные вдоль, оси пазов скобы. Последние выполнены с острым углом при вершине и с возможностью взаимодействия с пальцем для его однозначной фиксации к рычагу.

В исходном положении оба привода и электромагнит отключены. Подпружиненные рычаги разведены, торцовые поверхности ядра и сердечника под действием пружины образуют зазор между собой. Между регулировочным винтом и сердечником также имеется зазор. Первоначально, включают привод захвата, при этом рычаги поворачиваются относительно пальцев и захватывают деталь. Далее включается электромагнит, питаемый пульсирующим напряжением. За время срабатывания электромагнита ядро, соединенное в одно целое с корпусом, притягивается к сердечнику, сжимая пружину. За время отпускания электромагнита ядро возвращается в исходное положение под действием пружины. Таким образом, деталь совершает, колебания. Амплитуда колебаний регулируется винтом. Пружины, установленные под углом к оси электромагнита, обеспечивают поступательно-вращательные колебания, что необходимо при покрытии деталей сложной конфигурации. После отключения напряжения вибрация прекращается. По окончании технологического процесса отключается, привод захвата, рычаги освобождают деталь. Цикл повторяется автоматически требуемое число раз.

При смене типоразмера изделия—объекта производственного процесса — включается привод платформы, которая линейно перемещается вдоль направляющих, закрепленных в корпусе, и заставляет перемещаться пальцы вдоль продольных пазов в рычагах. При этом палец вращает скобу вокруг оси, причем скоба размещается посредством своей пружины в пазу таким образом, что ее свободный конец не выступает в продоль-

ном пазу рычага. Палец самоустанавливается в пазу платформы из-за вращения тяги и ее линейного смещения совместно с пальцем относительно оси, связывающей тягу с корпусом. Смена расположения оси пальца относительно продольного рычага приводит к изменению коэффициента усиления рычага, величин рабочих перемещений их концов. Причем конечные положения периферий зажимных губок после переналадки параллельны исходным их состояниям. Палец фиксируется на рычаге скобой при ее вращении вокруг оси под воздействием на подпружиненный конец скобы линейно перемещающегося пальца. Расфиксация пальца исключена из-за превышения рабочего усилия, развиваемого приводом платформы в сравнении с приводом захвата, что обеспечивается предварительной их настройкой. Автоматическая

смена параметров хватной головки сокращает подготовительное время операции, исключает участие оператора или наладчика в процессе переналадки. Бесштоковый силовой цилиндр серии P120 фирмы ORIGA<sup>1</sup> для работы на сжатом воздухе при давлении до 0,8 МПа выполнен таким образом, что гильза цилиндра по всей своей длине имеет сквозную щель (рис. 18). С поршнем цилиндра жестко связан хомут, выступающий за наружный габарит прорезанной гильзы и служащий для передачи усилия перемещаемому узлу. Уплотнение вдоль щели обеспечивается тонкой стальной лентой, перекрывающей щель с внутренней стороны гильзы цилиндра на всей длине. На участке между уплотнителями поршня стальная лента отгибается внутрь цилиндра и проводится снизу от крепежного хомута. С наружной стороны щель перекрывается второй стальной лентой, которая предохраняет цилиндр от загрязнения. Обе стальные ленты удерживаются в своем положении постоянными магнитами, расположенными вдоль щели. В сравнении с традиционными пневмоцилиндрами у бесштоковой конструкции вдвое сокращается монтажная длина, исключена опасность изгибания штока, нет необходимости в применении внешних направляющих. Отверстие в цилиндре (рис. 18) расположено эксцентрично относительно наружного контура, чем обеспечивается наибольшая прочность при наименьшем собственном весе. Крышки цилиндра имеют квадратное сечение и

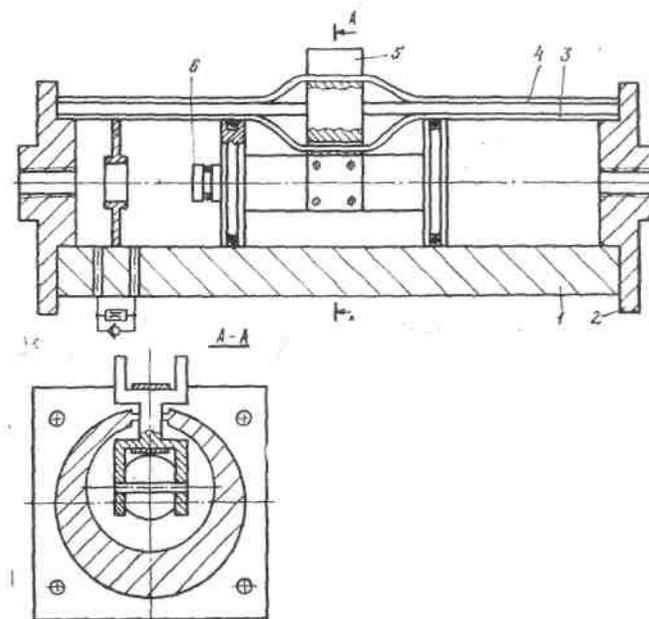


Рис. 18. Бесштоковый силовой цилиндр: 1 — цилиндр; 2 — крышка торцевая; 3, 4 — лента уплотнительная; 5 — хомут (ведомый элемент); 6 — поршень.

стягиваются четырьмя винтами. В крышках имеются отверстия с присоединительной резьбой и дроссель для регулирования процесса торможения в конце хода поршня. При торможении поршня цапфа демпфирования заходит в камеру на торце поршня, в результате чего воздух в полости выхлопа вытесняется через клапан с регулируемым дросселированием. Хомут, укрепленный в поршне, выполнен в профиле в виде сдвоенной вилки для прохождения двух уплотнительных лент. На хомуте могут монтироваться крепежные элементы для соединения поршня с перемещаемым узлом.

Стремление к компактности конструкции при непременном развитии их функциональных возможностей проявляется и в тех механизмах, которые труднее всего поддавались совершенствованию. Это в первую очередь относится к механизмам возвратно-поворотного действия. Выгодно отличается от многочисленных аналогов простотой и повышенной надежностью привод<sup>1</sup> (рис. 19) с пово-

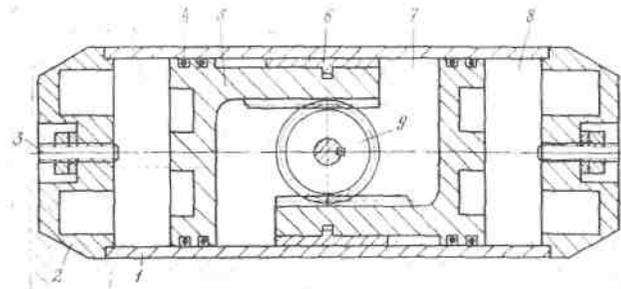


Рис. 19. Привод угловых перемещений: 1—цилиндр; 2—крышка; 3—упор; 4—уплотнение; 5—поршень; 6—пластина опорная; 7, 8—камеры центральная и торцевая; 9—шестерня.

ротным валом и соосно расположенными в цилиндре поршнями. Поршни снабжены направляющими опорными пластинами, воспринимающими радиальные нагрузки, и имеют зубчатые рейки, находящиеся в зацеплении, с шестерней поворотного вала. При подаче сжатого воздуха (рабочей жидкости) в центральную или торцевые камеры поршни разводятся или сводятся. Каждый поршень снабжен направляющей подшипниковой пластиной с крестовидными ребрами, которые входят в пазы, выполненные в теле поршня. Торцевые камеры цилиндра содержат упоры, ограничивающие ход поршней.

С целью автоматизации перестройки угловой информации, снимаемой с ведомого звена привода, предлагается набирать блоки из нескольких подобных приводов, выходные валы которых размещаются соосно и коаксиально. С последним приводом стыкуется дифференциальный редуктор, количество входов которого соответствует числу приводов. Для управления системой необходимо цикловое управляющее устройство. Вариант дифференциального редуктора показан в [3].

Универсальными по технологическим возможностям являются ротационные исполнительные механизмы следящего действия фирмы Mitsubishi (Япония), которые представляют собой гидроприводы, имеющие входной вал, служащий для управления. Если повернуть в произвольном направлении входной вал, то через управляющий клапан, который до этого находился в нейтральном положении, энергия подается в соответствующую рабочую полость, возвращая в требуемое положение ведомый вал. Эта спе-

цифическая обратная связь, присущая ротационным механизмам данной конструкции, отображена на рис. 20 посредством функциональной схемы.

Механизм состоит из лопастного моментного цилиндра, выполненного из корпуса, ротора, входного и выходного валов, смонтированных на подшипниках, следящего механизма, встроенного внутрь ротора (рис. 21). Если поворачивать входной вал, то за счет следящего механизма исполнительный механизм приходит в действие, и выходной вал поворачивается, следуя за входным валом.

На рис. 22 показаны фрагменты последовательной отработки ведомыми звеньями входных управляющих воздействий. Необходимость уменьшения сил трения в уплотнениях вращающихся исполнительных механизмов предопределяет более высокие, чем у цилиндров поступательного действия, требования к точности и качеству их обработки. Большое внимание уделяется форме уплотнений.

Исполнительные механизмы работают в со-вокупности с электро-механическими преобразователями и управляющи-

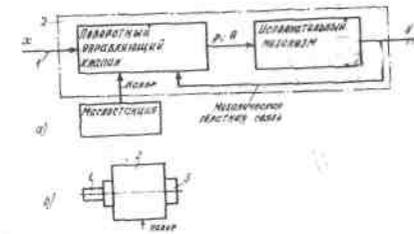


Рис. 20. Функциональная схема (а) и общий вид (б) механизма ротации: 1—вал входной; 2—механизм исполнительный; 3—вал выходной.

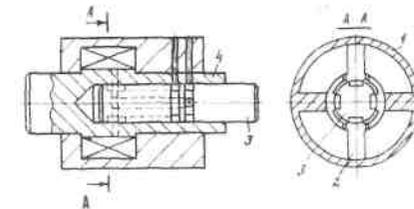


Рис. 21. Принципиальная схема механизма ротации: 1—корпус; 2—ротор; 3—вал входной; 4—вал выходной с механизмом отслеживания управляющей функции.

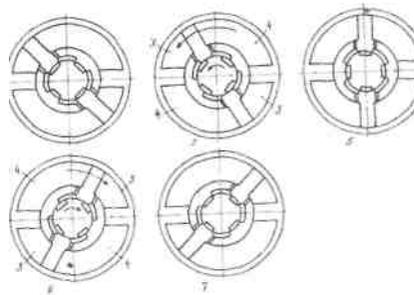


Рис. 22. Принцип действия механизма ротации: 1 — нейтральное положение вращения влево; 2 — вращение входного вала влево; 3 — полость с низким давлением; 4 — полость с высоким давлением; 5 — нейтральное положение; 6 — вращение входного вала вправо; 7 — нейтральное положение вращения вправо

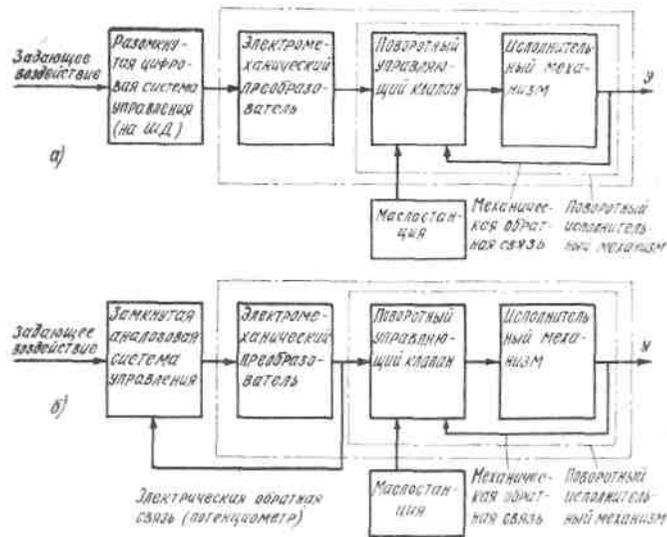


Рис. 23. Функциональная схема ротационного исполнительного механизма с разомкнутой цифровой (а) и аналоговой (б) системами управления

ми устройствами дискретного или налогового типа (рис. 23). Монтаж всех элементов ведется на кассете модульного типа. Входной вал исполнительного механизма стыкуется с валом шагового двигателя или двигателя постоянного тока, что определяет вид управления. Благодаря применению кассет упрощается монтаж и съем механизмов, их замена на время проверки и устранения повреждений, а также при текущем обслуживании. Кроме того, в сравнении с традиционными устройствами, управляемыми цикловой дискретной автоматикой, ротационные исполнительные механизмы позволяют произвольно управлять скоростью и перемещениями ведомых звеньев.

Так как конструкция энергомагистрали между управляющим клапаном и исполнительным механизмом выполнена относительно короткой (в едином корпусе), а высокое качество изготовления снизило утечки до минимума, то при небольшой степени открытия управляющего клапана с выхода можно получить большой крутящий момент. Это обеспечивает высокую жесткость приводу. Результаты замеров статической характеристики механизма приведены по данным фирмы на рис. 24.

Применение ротационных механизмов в про-

роботах упрощает конструктивные схемы последних, снижает их габариты и металлоемкость, расширяет функциональные свойства, позволяя упростить переход от простейших грузочных их вариантов к технологическим. На рис. 25 приведена кинематика манипулятора, при реализации которой возможно применение ротационных исполнительных механизмов.

Рабочий цикл манипуляционного механизма характеризуется нестабильностью технологических характеристик, зависящих от сопутствующих рабочим процессам изменений его кинематических и динамических показателей. На рис. 26 для схемы, работающей в цилиндрической системе координат, приведены зависимости быстрейшего от перемещаемых масс. Подобные

изменения в ходе темпа выполнения технологического процесса обязательно подлежат учету, а для их компенсации предусматриваются соответствующие регулировки взаимосвязей.

Электромеханический привод поворота ведомого звена, например, манипулятора изображен на рис. 27. Привод обеспечивает как равномерное вращение, так и режим движения с микроперемещениями без скачков ускорений. Это позволяет повысить качество проведения технологического процесса, например, в производственных установках для напыления слоев при производстве интегральных

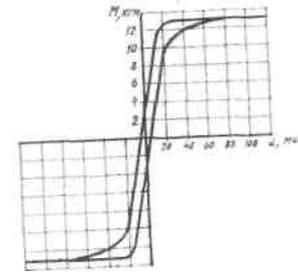


Рис. 24. Статическая характеристика ротационного исполнительного



Рис. 25. Кинематическая схема манипуляционного механизма

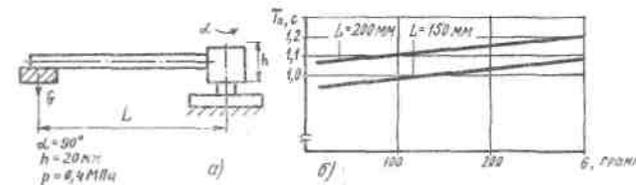
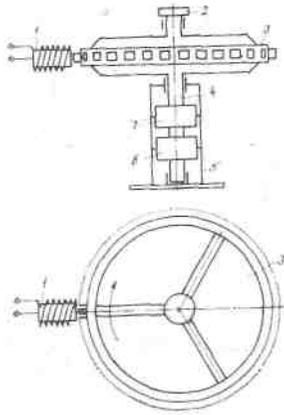


Рис. 26. Схема манипулятора (а) и зависимость (б) длительности его позиционирования ( $T_n$ ) от грузоподъемности ( $G$ )



схем или установках для выращивания кристаллов. Кроме того, возможность координатной остановки ведомого звена, запрограммированной заранее, позволяет дополнительно использовать привод для транспортных операций, что обеспечивает ему широкие эксплуатационные возможности. В приводе упрощена также операция реверса вращения.

Привод поворота состоит из основания с закрепленным на нем центральным валом, диска с зубчатым венцом по наружной периферийной поверхности, напротив которого установлен электромагнит; выходного вала, жестко соединенного с диском. С валом привода жестко связаны роторы электродвигателей.

Вращающий момент, развиваемый первым двигателем, превышает момент, развиваемый вторым двигателем, а направление вращения обоих двигателей противоположны. Напряжение питания подается на двигатель с меньшим вращающим моментом непрерывно в процессе работы, а подключение первого двигателя происходит по командам от системы управления, чем осуществляется реверс выходного вала. В случае, если момент первого двигателя вдвое превышает момент второго двигателя, то в конструкции привода необходим один электромагнит, обеспечивающий фиксацию диска как при вращении в прямом, так и обратном направлениях.

Работа привода протекает следующим образом. Включением в работу двигателя с меньшим вращающим моментом во вращение приводятся центральный вал, диск и выходной вал. Синхронно с его вращением подается напряжение на обмотку электромагнита. Пересечение зубцами диска магнитного потока электромагнита вызывает появление вектора магнитной индукции, что образует в токоведущей поверхности зубцов вихревые токи, взаимодействие которых с магнитным полем вызывает образование электромагнитных сил, затормаживающих вращение диска. При непрерывно генерируемой частоте напряжения, питающего электромагнит, осуществляются равномерные односторонние микроперемещения выходного вала. Снижение

частоты подачи напряжения на обмотку электромагнита снижает равномерность углового перемещения выходного вала, а при подаче на

обмотку электромагнита непрерывного сигнала диск затормаживается. При включении в работу двигателя, момент которого вдвое превышает момент непрерывного работающего

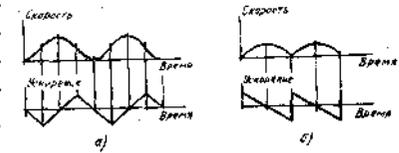


Рис.28. Режимы скорости и ускорения выходного вала привода поворота (а) и микроманипулятора угловых перемещений (б)

двигателя, обеспечивается вращение диска и выходного вала в противоположном направлении. Взаимодействие зубчатого венца диска с электромагнитом протекает подобным описанному выше образом. Дискретность углового перемещения и количество программируемых координат привода определяются количеством зубцов на диске.

Минимальная дискретность углового перемещения привода обеспечивается импульсной подачей напряжения на обмотку электромагнита, синхронной с вращением центрального вала, диска, выходного вала. То есть, при известных частоте вращения ( $n$ , об./с) центрального вала и числа ( $N$ , шт.) зубьев на венце диска частота ( $f$ , Гц) подачи импульсов напряжений на обмотку электромагнита от системы управления определяется выражением вида  $f = Nn$ .

Увеличение дискретности углового перемещения требует пропорционального относительно числа зубцов уменьшения частоты  $f$  в 2, 3, 4, 8, 9, 16, 27 и т. д. раз.

Таким образом, скорость ведомого звена привода периодически достигает максимума и нулевого значения. Однако в сравнении с известными вариантами (А. с. СССР № 1073088), у которых имеет место импульсное изменение вектора скорости, у него это изменение плавное, непрерывное (рис. 28). В результате этого у привода поворота отсутствуют скачки ускорения в экстремальных точках. Колебательный характер скорости выходного вала обусловлен его инерционными свойствами, а также той особенностью управления, при которой электромагнит включается с опережением по фазе основному движению.

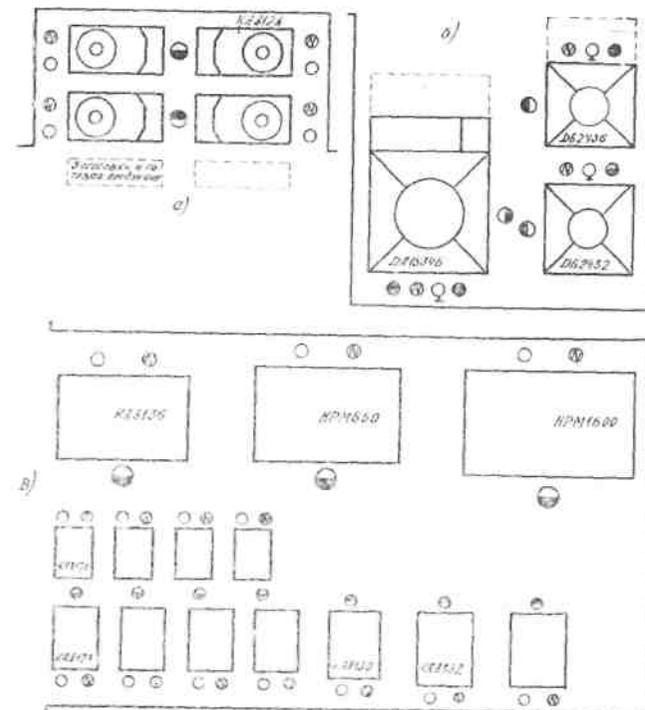
#### 4. Автоматизация в порошковой металлургии

Производство конструкционных и инструментальных изделий методом порошковой металлургии в отечественном приборостроении широко распространено и его масштабы непрерывно расширяются. Применение порошковой металлургии для определенных типоразмеров деталей исключает необходимость в таких традиционных процессах и технологиях, как плавка и литье, а механическая обработка либо исключается, либо сводится к минимуму.

Технологическая схема производства изделий методом порошковой металлургии состоит, как правило, из операций подготовки и смешения порошков, различных методов формования изделий, спекания и окончательной доводки. Некоторые изделия в дальнейшем могут быть подвергнуты обработке резанием, шлифованием, полированием. В зависимости от вида изделия, исходных материалов и конкретных условий технологическая схема метода может изменяться, вследствие чего количество операций в ней не постоянно. Формование выполняется механическими или гидравлическими прессами, цикл работы которых осуществляется автоматически. Контроль качества прессованных полуфабрикатов и дальнейшая их подготовка к спеканию выполняются оператором. Планировка прессовых участков создается на основе однотипного или разнородного оборудования. Создаются также укрупненные участки прессования из пресс-автоматов различной мощности, обеспечивающие заданную производительность и реализующие заданную производственную программу выпуска.

Прессовый участок является частью общего комплекса порошковой металлургии и дополняется участками смесеприготовительным, термическим, газоприготовительным, галтовочным, службами механика и энергетика. Все участки и службы располагаются на ограниченной производственной площади и предназначены для решения технологических задач производства. На рис. 29 показаны варианты участков различной мощности.

Операция подготовки изделий к спеканию, выполняемая оператором, заключается в отборе отпрессованных полуфабрикатов из приемного устройства пресса, складирования их по определенным правилам в накопитель. При этом дно накопителя и внутренние боковые поверхности покрываются порошком электрокорунда и не допускается соприкосновения между изделиями и накопителем, а так-



же между самими изделиями во избежание их сплавления. Допустима многослойная укладка изделий в накопитель (рис. 30). Вертикальная и горизонтальная ориентация полуфабрикатов способствует решению задачи их автоматической укладки. Накопители транспортируются к термическому участку и последовательно устанавливаются на конвейерную систему печи. На выходе из печи находится оператор, который извлекает спеченные изделия из накопителя, очищает их от порошка и складывает в тару. Работа операторов носит монотонный характер, а в социальном и в техническом аспектах неперспективна.

При решении задачи комплексной автоматизации данного производства не следует формальным наращиванием технической сложности исключать ручной труд. Это приведет к дорогостоящей и относительно специальной конструкции участка или цеха порошковой металлургии из-за ограниченных возможностей по введению в него управляю-

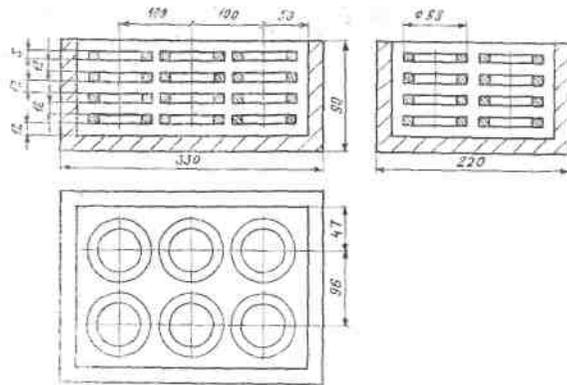


Рис. 30. Прямоугольная ориентация полуфабрикатов в накопителе

ших функций. В данном случае необходимы методы, применение которых возможно как для автоматизации отдельной производственной функции, так и при организации комплексно-автоматизированных участков и трудосберегающих технологий и которые являются эффективными средствами для объединения в систему качественно различающихся множеств орудий труда, осуществляющих процесс материального производства. В данном случае требуемый экономический, технический и социальный эффект может дать роботизация производства. Так как технологическим или конструктивным анализом известных технических решений невозможно охватить все их многообразие и тем более успешно прогнозировать перспективы развития, то рекомендуется применять методы формализации представления информации и структурно-логические исследования. Использование структурных представлений технологических систем для анализа перспектив их развития эффективно, так как позволяет с минимальной трудоемкостью проводить комплексное обследование производства и намечать рациональные пути решения поставленных задач в конкретных условиях.

Структура автоматической системы является рациональной в том случае, если она удовлетворяет технологическим задачам, стоящим перед разработчиками и обеспечивает максимально возможную производительность. Для обоснования рациональной структуры автоматической системы с точки зрения обеспечения наивысшей производительности допустимо применить понятие о цикловой про-

изводительности  $Q_u$ , которая в общем случае определяется по формуле  $Q_u = 1/T$ , где  $T$  — длительность рабочего цикла автоматической системы. В дальнейшем можно прийти к следующей зависимости [3]

$$Q_u = \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta_{mi} K_{mi}} + \sum_{j=1}^s \frac{1}{\eta_{oj} K_{oj}} \right)^{-1}$$

где  $K_{mi}$   $K_{oj}$  — технологическая производительность-манипулятора и основного технологического оборудования;  $\eta_{mi}$   $\eta_{oj}$  — коэффициент производительности манипулятора и основного технологического оборудования;  $n$  — число связей между элементами в структурной формуле системы без учета связей от манипулятора;  $s$  — количество технических средств, приводящих к простой манипулятора.

Структурная формула представляет собой [3] последовательность символов, обозначающих элементы роботизированной автоматической системы и раскрывающих взаимосвязи между ними. Дополнить структурную формулу можно указанием длительности  $T$  рабочего цикла, что позволит производить объективное сравнение вариантов. Символы записываются в порядке расположения элементов в системе, а прямой и обратной стрелками (связями) соединяют обслуживаемые манипулятором элементы. Допустимо вводить связи, отражающие дополнительные воздействия на элементы.

Структура автоматической системы, содержащая большее количество элементов менее производительна, что поясняется рис. 31, а также менее надежна.

Общим показателем надежности технологической системы является вероятность выполнения ею в заданное время  $\tau_3$  продукции заданного объема. Считаем, что часть времени  $\tau_3$  идет на выполнение производственного задания, а другая его часть расходуется на восстановление работоспособности:  $\tau_3 = \tau_r + \tau_b$

Примем за критерий надежности системы вероятность  $P$  выполнения производственного задания в установленные сроки, определяемую по формуле [4]

$$P = \sum_{i=0}^m \text{Вер}(n \geq i) \text{Вер}(m = i),$$

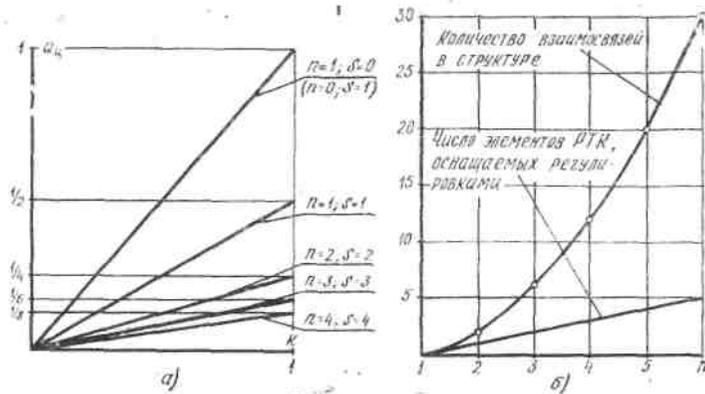


Рис. 31. Зависимость цикловой производительности автоматизированной системы с различной структурой от технологической (а) и трудоемкость конструкторской подготовки автоматизированного производственного процесса (б)

где  $\text{Вер}(n^i)$  — вероятность случайного числа восстановлений работоспособности;  $n$  — случайное число восстановлений;  $i$  — число отказов;  $\text{Вер}(m=i)$  — вероятность случайного числа отказов;  $m$  — случайное число отказов, причем, считая, что время восстановления работоспособности системы распределено по экспоненциальному закону, имеем

$$\text{Вер}(n \geq i) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^{-n} e^{-n}}{n!}; \quad \text{Вер}(m=i) = \frac{m^i e^{-m}}{i!},$$

где  $\bar{n}$  — математическое ожидание числа восстановлений работоспособности системы за время  $\tau_b$ ;  $m$  — математическое ожидание числа отказов системы в заданное время  $\tau_3$ . Выразим значения математического ожидания числа восстановлений работоспособности и математического ожидания числа отказов системы от количества элементов  $K$  в ней. Для этого представим их через параметр потока отказов  $\omega(t)$  и параметр потока восстановлений  $\mu(t)$  [4]

$$\bar{n} = \omega(t) \tau_3, \quad \bar{m} = \mu(t) \tau_6,$$

$$\text{причем } \omega(t) = \frac{1}{T} = K \frac{1}{T_i}, \quad \text{а } \mu(t) = \frac{1}{T_n},$$

где  $T$  — наработка на отказ (среднее время безотказной работы);  $T_i$  — наработка на отказ одного элемента системы;  $T_n$  — среднее время восстановления работоспособности системы. Определив время восстановления работоспособности системы

где  $t_j$  — длительность безотказной работы между отказами, а  $\tau_6$  — среднее время восстановления работоспособности

$$\tau_6 = \left( \tau_3 - \frac{t_p}{K} \right),$$

где  $t_p$  — время выполнения объема работ, закрепленного за системой оператором вручную,

$$\text{имеем } \bar{n} = \left( \tau_3 - \frac{t_p}{K} \right) \frac{1}{T_6}.$$

Нарботку на отказ вычислим по формуле [4]

$$T = \frac{1}{i} \sum_{j=1}^i t_j,$$

ности системы равно  $\Gamma 41$

$$T_6 = \frac{1}{i} \sum_{t=1}^i t_t,$$

где  $t_j$  — время восстановления  $t$ -го отказа.

Полагая в уравнении длительности восстановления работоспособности системы  $\tau_b$ , ( $\tau_3$ ;  $\tau_p$ ;  $K$ ), что  $\tau_b = 0$  и решив его относительно  $K$ , получаем зависимость для вычисления минимального числа элементов в системе:  $K_{\min} = t_p / \tau_3$ .

Кроме того,  $\text{Вер}(n > i) = ( \text{Pr}^i ) = \wedge$   
[0, при  $i > 0$ ,

следовательно  $P = e^{-\omega(t) t_p}$ , что определяет вероятность отсутствия отказов на протяжении времени  $\tau_p$ , потребного для выполнения полезной работы автоматической системой.

Учитывая полученные зависимости, вероятность выполнения системой заданной производственной программы в смену от числа элементов в комплексе можно выразить

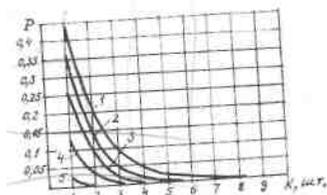


Рис. 32. Вероятность выполнения производственного задания системой в заданное время от числа компонентов в ней: 1—наработка на отказ одного компонента 10 часов; 2—8 часов; 3—6 часов; 4—4 часа; 5—2 часа

количества элементов в комплексе  $co(t) = K/Tt$ , следует, что для стабилизации  $co(t)$  при нарастании элементной сложности автоматической системы необходимо гарантировать адекватное увеличение длительности безотказной работы каждого элемента. В случае прямо пропорционального распределения значимости наработки на отказ между всеми элементами увеличение последнего показателя составит КТУ. Это ужесточает требования к техническому совершенству каждого компонента автоматической системы и технологии их изготовления.

графиками, показанными на рис. 32. Исходные для расчета данные представлены в табл. 3.

Из представленных зависимостей следует, что увеличение числа элементов в системе приводит к стремительному падению вероятности выполнения заданной работы. Это подтверждает необходимость дифференциации технологических процессов [5].

Из зависимости параметра потока отказов (вероятности возникновения отказа в единицу времени) от наработки на отказ одного элемента систем и

3. Параметры для расчета зависимости

Параметр	K	ΔK	$\tau_p$	$T_1$	$\Delta T_1$
Размерность	—	—		час.	
Величина	1...10	1	8,2	2...10	2

В большинстве случаев минимизация элементной базы автоматической системы позволяет реализовать решение конкретной технологической задачи при возможности наращивания функциональных свойств и автоматизации управления. Вместе с тем, автоматическая система как базовый компонент технологии определяет стратегию перехода к трудосберегающим технологиям.

В порошковой металлургии также наметилась дифференциация процессов и осуществляется переход к робо-

тизированным прессовым участкам. Известна схема роботизированной ячейки, в которой загрузка печи термообработки выполняется манипулятором, взаимодействующим с бункерно-вибрационным механизмом ориентации и поштучной выдачи полуфабрикатов. Пространственная удаленность друг от друга прессового и термического участков требует предварительного сбора отпрессованных полуфабрикатов с последующей их централизованной раздачей по ячейкам. При этом прочность манипулятора с кинематическим делением должна быть гарантирована, в результате чего область применения ячейки ограничена.

Манипулятор, планируемый к применению в роботизированной ячейке, характеризуется минимумом функциональных возможностей, но повышенными требованиями к производительности.

Конструкция манипулятора содержит (рис. 33) смонтированный на станине подъемно-поворотный вал 1, закрепленную на валу 1 руку 2 с захватом 3. Вал 1 разделен на две части демпферным устройством 4, связанным поступательной парой 24 со станиной и опирается нижним торцом на пружину 7, размещенную в стакане 21. Последний смонтирован на валу 20, который расположен соосно валу 1 и стакану 21 и закреплен с возможностью вращения и подъема в станине. Вал 20 имеет резьбовую часть 14, в зацеплении с которой находится гайка 13, жестко смонтированная на станине. На валу 20 смонтированы вращательная кинематическая пара 12 и кулачок 11. Валы 1, 20 и стакан 21 смонтированы в полом валу 5 с возможностью вращения и вертикального перемещения. Крутящий момент с полого вала 5 на валы 1, 20 и стакан 21 передается посредством шлицев или шпонок 23, 22, 19. Полюй вал 5 жестко соединен с коромыслом 8, связанным в свою очередь с шатуном 18, а через него с кривошипом 17. Кривошип 17 закреплен на выходном валу двигателя 16. Коромысло 8 и шатун 18 выполнены с возможностью как вращения, так и поступательного перемещения относительно друг друга. Двигатель 16 связан с валом 20 по-

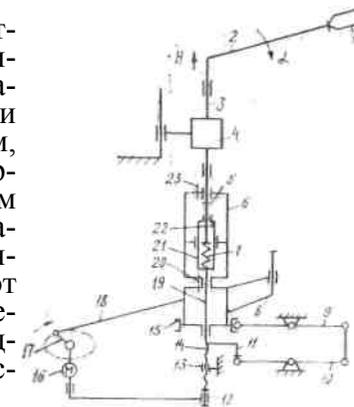


Рис. 33. Схема ячейкам. При этом прочность манипулятора с кинематическим делением должна быть гарантирована, в результате чего область применения ячейки ограничена.

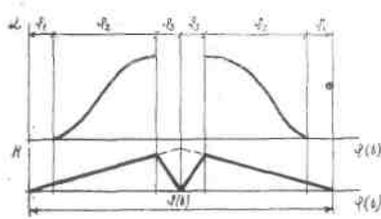


Рис. 34. Временные диаграммы углового горизонтального и вертикального перемещений схвата циклового манипулятора:  $\Phi$ -угол поворота кривошипа;  $H$ -величина вертикального перемещения схвата;

Работа манипулятора протекает следующим образом. В рабочем состоянии двигатель 16 вращает жестко связанный с его выходным валом кривошип 17. Далее через шатун 18 и коромысло 8 приводится в качение относительно вертикальной оси полый вал 5. Через шпонки 23, 22, 19 крутящий момент от полого вала 5 передается на валы 1, 20 и стакан 21. При повороте кривошипа 17 на угол  $\varphi_{\text{рт}}$  (рис. 34), являющийся частью полной окружности, происходит поворот полого вала 5, вала 20, стакана 21 и нижней половины вала 1 на тот же угол  $\varphi_{\text{р}}$ . Вращение поглощается демпферным устройством 4 и не передается на верхнюю половину вала 1, руку 2 и захват 3. Однако при этом вал 20 поднимается вертикально вверх из-за того, что его резьбовая часть 14 зацеплена с неподвижной гайкой 13. Совместно с валом 20 и его резьбовой частью 14 происходит подъем двигателя 16 из-за наличия между ними вращательной кинематической пары 12. При этом имеется возможность поступательного смещения шатуна 18 относительно коромысла 8. Движение от вала 20 через стакан 21, пружину 7 передается на вал 1, а через последний — на руку 2 и захват 3. Происходит вертикальный подъем полуфабриката, размещенного в захвате 3 манипулятора.

Дальнейшим поворотом кривошипа 17 на угол  $\varphi_{\text{р2}}$  обеспечивается поворот вала 1, руки 2 и захвата 3 на тот же угол.

В процессе дальнейшего на угол  $\varphi_{\text{р3}}$  вращения кривошипа 17 и угловых смещений коромысла 8, шатуна 18, полого вала 5 и валов 20, 1 кулачок и жестко закрепленный

средством вращательной кинематической пары 12, а со станиной с возможностью поступательного перемещения. Кулачок 11 выполнен с возможностью взаимодействовать с рычагом 10, противоположный конец которого кинематически связан с

рычагом 9, взаимодействующим с муфтой 15. Последняя жестко связана с полым валом 5. На валу 1 смонтирован жесткий упор 6, расположенный между стаканом 21 и верхним внутренним торцом вала 5.

на валу 20, своей профильной поверхностью воздействует на рычаг 10. Противоположный конец рычага 10, кинематически соединенный с рычагом 9, заставляет смещаться последний вертикально вверх. В этом случае противоположный конец рычага 9 опускается вертикально вниз. Поскольку он кинематически соединен с муфтой 15, закрепленной на полом вала 5, то последний также смещается вертикально вниз относительно станины. При этом движении полый вал 5 воздействует на жесткий упор 6 и вал 1 совместно с рукой 2 и захватом 3 смещается вертикально вниз, сжимая пружину в стакане 21. Кинематические параметры передачи ходовой винт 14 — гайка 13 и кулачок 11 — рычаги 10, 9 обеспечивают преимущественное движение вала 1 вертикально вниз. Происходит опускание объекта производственного процесса и размещение его на конвейере печи термообработки. В течение поворота системы на угол  $\varphi_{\text{р3}}$  верхняя часть вала 1 также не вращается, так как в работу вновь вступает демпферное устройство 4.

В дальнейшем происходит смена направления качания системы шатун 18, коромысло 8, полый вал 5 из-за специфических особенностей кривошипно-шатунного механизма. В этой фазе движения вся система первоначально поднимается вертикально вверх, затем поворачивается на угол  $\varphi_{\text{р2}}$  к исходной координате и опускается за полуфабрикатом вертикально вниз. При непрерывном вращении двигателя 16 цикл повторяется автоматически.

Конструкция демпферного устройства представляет собой самостоятельный объект и может иметь варианты. В качестве примера приведем конструктивное исполнение демпферного устройства, примененного в рассмотренном выше манипуляторе

Демпферное устройство выполнено в корпусе 1, который поступательной кинематической парой 2 связан с направляющей 3 станины 4. В корпусе 1 смонтированы зубчатые редукторы с зацеплениями 5, 6 и 7, 8. Валы шестерен 5 и 8 смонтированы соосно, но не связаны друг с другом, а также являются двумя составными частями подъемно-поворотного вала манипулятора. Валы шестерен 6 и 7 смонтированы соосно друг другу в корпусе 1, но соединены друг с другом посредством однооборотной муфты 9. Муфта



Рис. 35. Кинематическая схема демпферного устройства: 1 — корпус; 2 — опора скольжения; 3 — направляющая; 4 — станина; 5, 6, 7, 8 — зубчатые шестерни и колеса; 9 — муфта однооборотная; 10 — упор

9 выполнена с возможностью взаимодействовать с упором 10, жестко смонтированным на направляющей 3 станины 4. Число зубьев шестерен 5, 8 и 6, 7 равно, в результате чего передаточное отношение обоих редукторов обратно противоположное.

С началом цикла работы манипулятора несмотря на вращение вала шестерни 5 вал шестерни 8 неподвижен, так как муфта 9 разомкнута. Но происходит подъем корпуса 1 по направляющей 3 станины 4. В заданной координате упор 10 включает муфту 9 и на вал шестерни 7 передается один оборот, после чего муфта 9 автоматически размыкается. Зубчатое зацепление 7, 8 преобразует данное вращение в угол  $\alpha$ , необходимый для манипуляционного действия руки. Из-за того, что связь между двумя составными частями подъемно-поворотного вала вновь разорвана, происходит опускание корпуса и вновь его подъем согласно основному циклу работы манипулятора. При вторичном подъеме корпуса упор 10 повторно включает муфту 9. Происходит передача угловой информации на руку манипулятора. И после отключения муфты 9 рука окончательно опускается в исходной координате.

При анализе работы устройства следует учитывать тот факт, что входной вал шестерни 5 в цикле меняет направление своего вращения. Это обусловлено спецификой работы приводного кривошипно-шатунного механизма.

Преимуществом манипулятора является применение в конструкции нереверсивного привода, что при повышении надежности упрощает систему управления, обеспечивает возможность поступательного и вращательного движения ведомого звена как в прямом, так и в обратном направлениях в течение цикла, что при равных с цикловыми манипуляторами условиях обеспечивает повышение производительности.

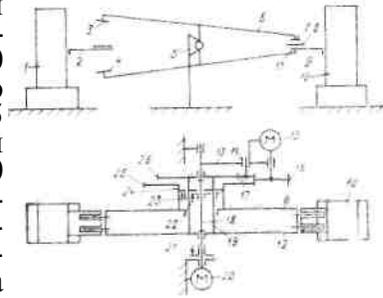
В случае объединения в технологическую ячейку пресс-автомата и печи термообработки рекомендуется применять захватно-транспортирующий манипуляционный механизм.

Манипулятор захватно-транспортирующего типа состоит (рис. 36) из неподвижной стойки 1 с закрепленным на ней с возможностью вращения валом 19. Последний связан с выходным валом двигателя 21, жестко смонтированного на неподвижной стойке 1. На валу 19 в подшипниковых опорах смонтирован полый вал 20, а на последнем, также в подшипниковых опорах, смонтирован полый вал 25. Центральный вал 19 выполнен с возможностью

взаимодействовать с полым валом 20 посредством управляемой муфты 23, а вал 20 выполнен с возможностью взаимодействия с валом 25 посредством управляемой муфты 24. На полых валах 20 и 25 жестко закреплены зубчатые шестерни 13 и 26 соответственно. Зубчатая шестерня 26 непосредственно, а зубчатая шестерня 13 через паразитную шестерню 15 зацеплены с зубчатым колесом 18. Последняя связано с выходным валом двигателя 17. Двигатель 17 жестко, а паразитная шестерня 15 кинематически посредством подшипниковой опоры 16 соединены с кронштейном 14. Кронштейн 14 смонтирован на центральном валу 19 жестко и с возможностью вращения совместно с ним.

На валах 20 и 25 также закреплены тяги 6 и 7 с губками 8, 11 и 5, 3 на противоположных их концах. Губки 8, 11 и 5, 3 выполнены с возможностью взаимодействовать с деталью 10, установленной как в узле 9 их выдачи основного технологического оборудования 12 (например, пресс-автомата), так и в приемном узле 4, например, печи термообработки 2. Вал 19 выполнен с возможностью взаимодействовать с неподвижной стойкой 1 через муфту 22.

В исходном состоянии концы тяг манипулятора 6 и 7 с губками 8 и 11 сведены, а губки фиксируют деталь 10, выданную в позицию захвата узлом 9 выдачи основного технологического оборудования 12. При этом концы тяг 6 и 7 с губками 5 и 3 разведены и деталь 10 остается на приемном устройстве 4 печи 2 термообработки. Кроме того, управляемые муфты 23, 24 замкнуты, а управляемая муфта 22 разомкнута. Вращением двигателя 21 осуществляется проворот на угол  $180^\circ$  вала 19 и жестко связанных с ним посредством муфт 23, 24 полых валов 20, 25 и как следствие, закрепленных на последних тяг 6, 7. Совместно



с валом 19 и тягами 6, 7 вращается кинематическая цепь шестерни 13, 26, 15 — колесо 18 — двигатель 17 — кронштейн 14. В этом случае губки 8, 11 с деталью 10 перемещаются от узла 9 к устройству 4, а губки 3, 5 совершают холостой ход в обратном направлении. Далее производится замыкание муфты 22, в результате чего центральный вал 19 жестко фиксируется относительно неподвижной стойки 1, и размыкание муфт 23, 24, что обеспечивает кинематическую свободу валам 20, 25. Работой двигателя 17 обеспечивается вращение колеса 18, которое непосредственно и через паразитную шестерню 15 зацеплено с шестернями 13, 26 полых валов 20, 25. При этом жестко связанные с валами 20, 25 тяги 6, 7 вращаются относительно центрального вала 19 в противоположные стороны таким образом, что губки 8, 11 расходятся, освобождая деталь 10, а губки 5, 3 сводятся друг к другу, зажимая деталь 10, выданную узлом 9 оборудования 12 в течение технологической паузы. Деталь 10, освобожденная губками 8, 11, остается в устройстве 4 печи 2 и выводится из зоны контакта с губками.

Подготовлены условия для автоматического повторения цикла.

Преимуществом манипулятора захватно-транспортного типа в сравнении с традиционными кинематическими структурами является исключение приводов надвига захвата на деталь, в результате чего цикл работы манипулятора сокращен на длительность рабочих и холостых перемещений этих приводов. Получен выигрыш производительности. Кроме того, объединение функций захватных и манипуляционных элементов в едином элементе через кинематическую цепь приводит к упрощению конструкции, снижению металлоемкости, улучшению динамического режима работы, что позволяет интенсифицировать этот режим, повышая производительность далее. Это особенно важно, так как при двухсменном режиме работы и двухгодичном сроке окупаемости роботизированный технологический комплекс не может быть экономичным, если время установки одной детали превышает 4 с (рис. 37).

Известна конструкция устройства автоматической укладки в тару или технологический накопитель хрупких кольцевых полуфабрикатов, отпрессованных методом

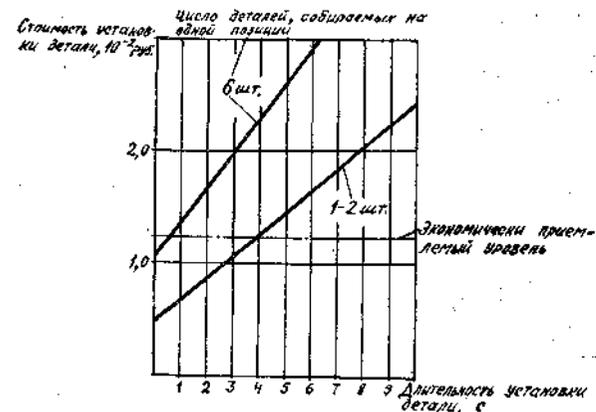


Рис. 37. Зависимость стоимости установки одной детали от длительности ее установки и числа деталей, собираемых на одной позиции

рошковой металлургии. Устройство содержит основание, на котором размещены гравитационный транспортный лоток с механизмом принудительной подачи и очистки изделий, примыкающий к нему накопитель, манипулятор с групповым захватом, механизм шагового перемещения тары и систему управления комплексом пресс — устройство укладки.

Накопитель выполнен в виде барабана поворотного типа с ручьями для нескольких типоразмеров изделий. Манипулятор включает в себя основание, в котором установлены поворотный вал с пневмоприводом и устройство возвратно-поворотного перемещения захвата. Последний состоит из корпуса и установленных в нем быстросъемных штырей. Каждый штырь представляет собой автономное захватывающее устройство с утапливаемыми выдвижными пластинками и кинематические связанным с ними пневмоцилиндром. В механизме шагового перемещения тары использована передача ходовой винт — гайка с приводом от двигателя постоянного тока. Перемещения тары производятся на двух скоростях: рабочей — для перемещения тары на шаг и ускоренной — для подачи пустой тары из положения загрузки в исходное перед укладкой изделий. Шаг перемещения тары задается набором соответствующих переключателей с дискретностью 0,1 мм.

Отпрессованные кольца сталкиваются с поверхности стола пресс-автомата шибером в лоток, где кольца принимают вертикальное положение, проходят через механизм

принудительной очистки и устанавливаются в накопителе.

После накопления необходимого числа колец групповой захват нанизывает кольца. Манипулятор поворачивает захват штырями вверх и возвращает его в исходное положение, освобождая накопитель, где устанавливается новый ряд колец. Захват изделий продолжается до тех пор, пока на каждом штыре захвата не наберется стопка колец заданной высоты. После этого срабатывает механизм захвата, выдвигаются пластинки для удержания колец и манипулятор поворачивает захват с кольцами в вертикальное положение, опускает его в тару, делает доворот захвата до контакта стопки колец с ранее установленными кольцами в таре, выключает привод захвата и весь ряд стопок устанавливается на место. При этом манипулятор производит смещение одного ряда стопок колец относительно другого на величину, равную половине наружного диаметра  $D$  кольца, а устройство шагового перемещения сдвигает тару на шаг  $0,866D$ .

Используемый принцип накопления ряда колец, их формирования в стопки на захвате и укладка стопок колец в тару в ромбическом порядке дает возможность использовать максимальную производительность пресс-автомата до 2800 шт./час и повысить заполняемость тары. Конструкция устройства позволяет перестраиваться на другой типоразмер кольца.

В дальнейшем тара с полуфабрикатами транспортируется на позицию подготовки их к спеканию и далее на термический участок.

Цель совершенствования производства порошковой металлургии заключается в создании автоматического модуля прессования и транспортирования при обеспечении беспрепятственного наращивания производственного потенциала последовательной или последовательно-параллельной стыковкой автоматических модулей.

## 5. ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ИЗДЕЛИЙ

### 5. 1. Автоматический модуль

Состоит из пресс-автомата, конвейера подачи и удаления накопителей, манипулятора загрузки отпрессованных изделий в накопитель, системы управления (рис. 38). Конвейер имеет автономный управляемый привод главного

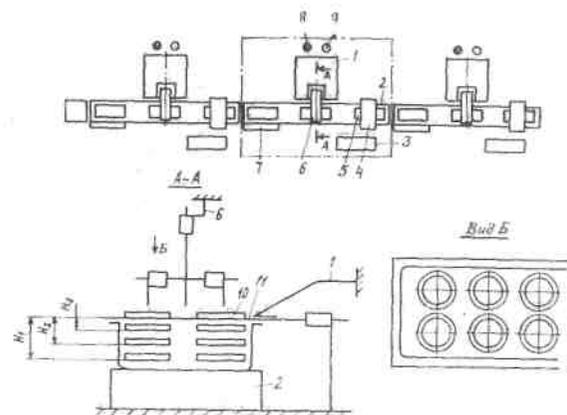


Рис. 38. Автоматическая система прессования и транспортирования: 1 — пресс-автомат; 2 — конвейер; 3 — система управления; 4 — механизм засыпки полуфабрикатов; 5 — накопитель; 6 — манипулятор; 7 — привод конвейера; 8 — источник электроэнергии; 9 — источник сжатого воздуха; 10 — полуфабрикат; 11 — устройство выдачи

движения, а также координатные регуляторы позиционирования накопителя. В модуле предусмотрено наличие механизма пересыпки уложенного слоя изделий порошком электрокорунда. К модулю подводится сжатый воздух и электропитание.

Расположение пресс-автомата относительно поперечной, оси конвейера не регламентируется и возможно будет определяться конструктивными особенностями производственного участка или цеха порошковой металлургии.

Следует учесть то, что в модуле имеются два объекта пылеобразования: узел заполнения пресс-формы порошком и механизм пересыпки изделий электрокорундом.

Пресс-автомат оснащается устройством ориентации отпрессованных изделий под захватное устройство механизма укладки. Ориентированное изделие, пресс-автомат и позиция размещения изделия в накопителе должны быть сосны. Тогда при условии заданной прямоугольной ориентации изделий в накопителе (рис. 30) смену координат в горизонтальном направлении можно возложить на конвейер. Смена уровней согласно рис. 38 может выполняться манипулятором.

Загрузка изделий в накопитель на каждом из вертикальных уровней выполняется по схеме, изображенной на рис. 39. К захвату манипулятором готовится столько из-

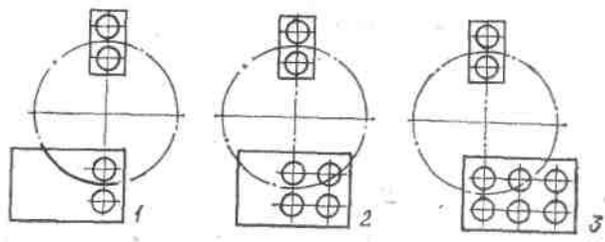


Рис. 39. Схемы этапов заполнения уровня накопителя полуфабрикатами

делий одновременно, сколько рядов в накопителе предполагается заполнить. Этим достигается снижение интенсивности работы целевых механизмов манипулятора. Технологическая производительность  $K_0$  остается на прежнем уровне, что определяется зависимостью [5]

$$K_0 = \frac{p}{(T_n + T_{пер}/a)\eta}$$

где  $p$  — количество одновременно захватываемых и транспортируемых изделий манипулятором;  $T_n$  — длительность переналадок;  $T_{пер}$  — длительность позиционирования манипулятора;  $a$  — размер партии деталей, обрабатываемых между переналадками;  $\eta$  — коэффициент производительности. Заполнение конкретных уровней можно осуществлять на соответствующем модуле (рис. 40а) или при обеспечении реверса привода конвейера того же модуля (рис. 40б). Автоматические модули прессования и транспортировки стыкуются друг с другом последовательно и независимо от мощности пресс-автомата и типоразмера изготавливаемого на последнем изделия. Варианты компоновок

прессовых участков из автоматических модулей показаны на рис. 41. Здесь приведены не все возможные, а типовые варианты компоновок, из которых выделяются линейные, прямоугольные, угловые. Универсальность модулей прессования характеризует

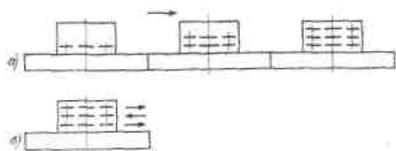


Рис. 40. Смена уровней расположения полуфабрикатов: а — при последовательном соединении модулей; б — при реверсе конвейера

Индекс компоновки	Номер варианта	
	1	2
а		
б		
в		
г		
д		
е		

Рис. 41. Варианты компоновок прессовых участков из автоматических модулей: а — линейная; б — прямоугольная; в, г, д, — угловая прямоугольная; е — угловая произвольная

произвольное расположение пресс-автомата относительно поперечной оси симметрии конвейера. Это позволяет располагать прессовые участки на ограниченных производственных площадях различного профиля.

В случае выхода из строя конкретного пресс-автомата или механизма укладки изделий в накопитель конвейер выполняет функцию накопителя и связывает друг с другом действующие модули. Смещение пресс-автомата в на-

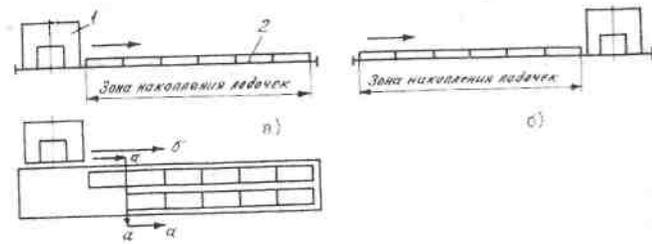


Рис. 42. Схемы относительного расположения пресс-автомата 1 и конвейера 2

чало (рис. 42а) или в конец (рис. 42б) конвейера позволяет создать зону для накопителей. Последние могут быть расположены в зоне выстояв один или два ряда.

## 5. 2. Конвейер

В общей системе производства порошковой металлургии автоматизированная транспортно-накопительная система является ключевым звеном. На ее структуру влияет множество технологических и организационных факторов, основные из которых — номенклатура транспортируемых объектов, их параметры (материал, габариты и конфигурация, масса, подобие установочных баз и их постоянство) и программа выпуска.

К технологическим факторам, оказывающим влияние на структуру транспортно-накопительной системы, относятся: основное технологическое оборудование (тип, модель, количество, габариты), оснастка (установочно-крепёжная, спутники), длительность рабочего цикла. К организационным факторам относятся: состав транспортной единицы, величина транспортных партий, последовательность обработки партий, число одновременно обрабатываемых типоразмеров изделий, ритмичность поставки транспортных партий на обработку, транспортные потоки, способ смены типоразмера деталей.

Кроме того, структура межоперационного транспорта зависит от планировки производственных помещений (высота, площадь, проезды и т. д.), характеристик вспомогательного оборудования (грузоподъёмность, скорость, режимы движения, число свобод, размеры рабочих зон, необходимость в обслуживании).

Конструктивное исполнение транспортно-накопительных систем может быть самое разнообразное, однако

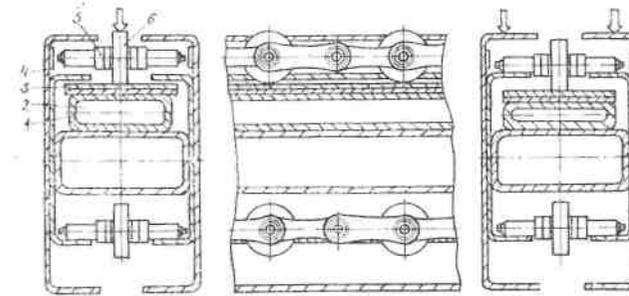


Рис. 43. Конструкция накопительного конвейера цепного типа: 1—камера; 2 — рабочая жидкость; 3 — плоскость опорная; 4—станина; 5—цепь; 6 — ролик несущий

преимущества в реализации получает то из них, в котором обеспечена автономность, возможность перекомпоновки, легкость в управлении, универсальность. Основные функциональные обязанности транспортно-накопительной системы, как компонента автоматической системы, заключается не только в выполнении транспортных операций с закрепленными на ней грузами, но и хранение изделий.

Накопительные роликовые конвейеры, полностью или частично состоящие из накопительных секций, позволяют выполнить это требование, то есть обеспечить возможность установки и накопления грузов непосредственно на работающем конвейере без дополнительных операций перегрузки с конвейера в зону хранения.

Конструкция накопительного конвейера цепного типа показана на рис. 43 (Liebherr Automation, Проспект фирмы Liebherr, 1985). По несущим роликам катятся транспортируемые объекты. Ролики размещены в станине и базируются на опорную плоскость, которая, в свою очередь, смонтирована на камере, наполненной рабочей жидкостью под давлением. Возврат роликов к исходной позиции осуществляется по нижнему уровню станины конвейера, причем ролики движутся уже на цапфах. Соединение камеры со сливной магистралью приводит к тому, что давление в ней падает, а масса опорной плоскости, роликов и объектов деформирует камеру и периферия ролика при этом утопает за плоскость станины. Объект же, располагаясь непосредственно на станине затормаживается. По сигналу от системы управления камера вновь наполняется рабочей жидкостью, ее стенки распрямляются и опорная плоскость поднимает ролик с объектом над профилем станины. Движение объекта продолжается.

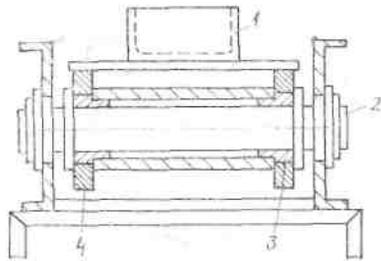


Рис. 44. Фрикционный ролик конвейера: 1-накопитель; 2-ось ролика; 3-втулка фрикционная; 4-ролика

Камера с рабочей жидкостью может быть выполнена цельной на всю секцию конвейера, тогда управлению подвергаются одновременно все транспортируемые объекты, либо разделяется на участки, что позволяет затормаживать объекты в заранее запрограммированных зонах. Из известных накопительных конвейеров рациональной совершенной конструкции является вариант с приводными фрикционным роликами. В них перемещение объектов производится за счет передачи движения

через вращающиеся и стационарно смонтированные ролики. Вращение роликам передается замкнутой втулочно-роликовой цепью. Конструкция ролика (рис.44) выполнена таким образом, что при остановке транспортируемого объекта вращение ролика затормаживается, в то время как ось ролика непрерывно вращается. При этом ролик способен передавать крутящий момент, что достигается за счет разности коэффициентов трения подшипников качения и скольжения. Ось ролика с напрессованной на нее приводной звездочкой вращается в подшипниковых опорах качения, а ролик вращается вокруг оси на функциональных втулках. На рис.45 представлены варианты модульных элементов транспортно-накопительных систем. При линейном расположении оборудования транспортная система собирается из модулей, содержащих рабочий и возвратный конвейеры (рис.45а). Последний обеспечивает возврат порожних приспособлений накопителей в исходную позицию. Спуск/подъем накопителя производят механизмы вертикального перемещения. В случае необходимости изменения направления перемещения транспортируемого потока накопителей целесообразно применять схему, изображенную на рис.45б также манипулятор (рис.45в).

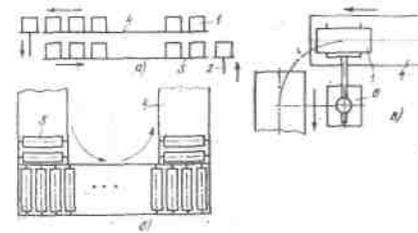


Рис. 45. Варианты транспортных систем: 1—накопитель; 2 — механизм вертикального перемещения накопителя; 3—конвейер возврата порожних накопителей; 4 — конвейер рабочий; 5 — ролик; 6 — манипулятор

### 5. 3. Манипулятор

Предназначен для транспортирования изделий, захваченных с устройства выдачи пресс-автомата схватом, размещения их в соответствующих координатах накопителя, находящегося на конвейере, а также для подготовки условий захвата.

Цикл работы манипулятора содержит координатные остановки его ведомого звена в шести точках по вертикали для конкретного типоразмера изделия. Из них четыре точки позиционирования соответствуют четырем уровням расположения изделий и не имеют стабильных размерных характеристик. Имеется уровень захвата изделий, а также вспомогательная координата, с которой осуществляется надвиг схвата на изделие.

Варианты кинематических структур манипулятора показаны на рис. 46. Общей особенностью структур на рис. 46а и 46б является то, что поступательная кинематическая пара, обеспечивающая установку изделий в накопитель, должна иметь до шести программируемых точек в вертикальном направлении. У структуры, изображенной на рис. 46в, таких точек должно быть четыре. Однако первые две структуры требуют для размещения манипулятора дополнительных производственных площадей ( $L_3 < L_2 < L_1$ ), а последняя (рис. 46в) размещается в габаритах накопителя, базирующегося на конвейере. Однако в данном случае манипуляционный механизм взаимодействует в совокупности с устройством выдачи изделий, выполненным с кинематической подвижностью в горизонтальном направлении.

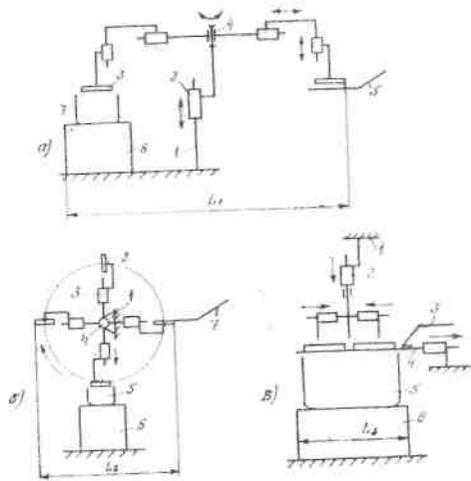


Рис. 46. Кинематические структуры ротационных (а, б) и следящую (в) манипуляторов:

1— стойка; 2— поступательная кинематическая пара; 3 — схват; 4 — вращательная кинематическая пара; 5 — устройство выдачи изделий; 6 — конвейер; 7—накопитель;

1—стойка; 2—схват; 3—поступательная кинематическая пара; 4 — вращательная кинематическая пара; 5 — накопитель; 6 — конвейер; 7 — устройство выдачи изделий; 1—стойка; 2— поступательная кинематическая пара; 3 — пресс-автомат; 4 — устройство выдачи изделий; 5 — накопитель; 6 — конвейер

Отсутствие стабильности размерных характеристик координат затормаживания ведомого звена и большое их количество (с возможностью изменения этого количества) требуют применения следящей конструкции привода манипулятора.

Конструкция следящего привода изображена на рис.47. Он состоит из корпуса 1 силового цилиндра, внутри которого размещены поршни 2 и 3, а также подвижная перегородка поршень 4. Поршень 2 посредством штоков 5 и 6 связан с неподвижной стойкой 7. Штоки 5 и 6 выполнены полыми для подачи через них рабочего тела в полости цилиндра 8 и 9. Штоки 10 и 11 поршня 3 несут фланец 12, являющийся управляемым элементом. В перегородке 4 выполнено коническое седло 13, с которым взаимодействует затвор 14. Свободный конец затвора 14 выступает за фланец

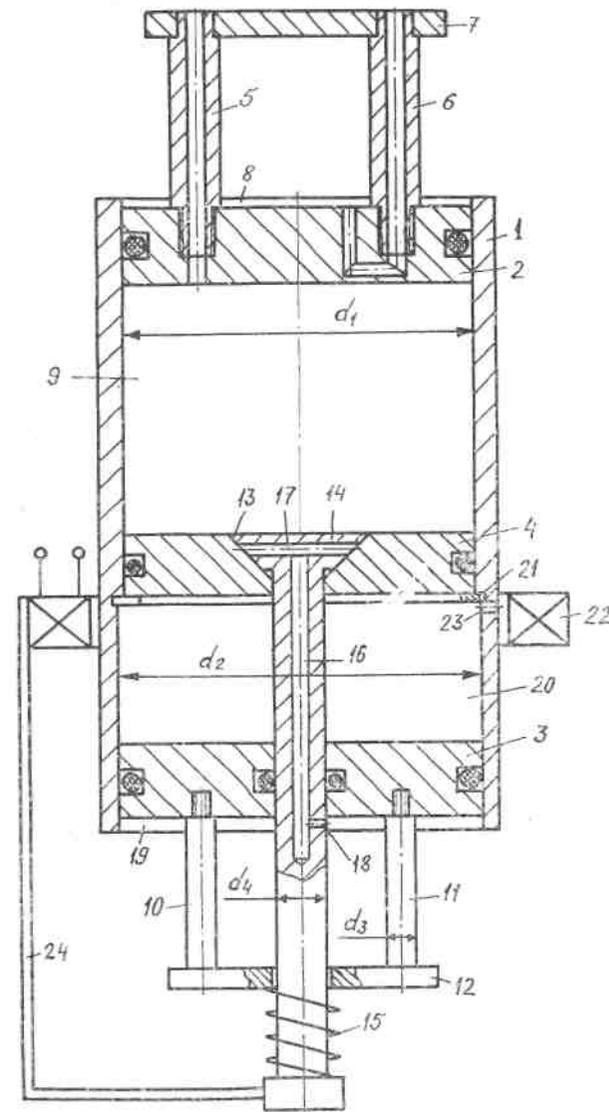


Рис. 47. Следящий привод манипулятора

12 и подпружинен относительно последнего пружиной 15 сжатия. В затворе 14 имеется глухое центральное отверстие 16, а также радиальные отверстия 17 и 18, связывающие центральное отверстие 16 с полостями 9, 19 цилиндра

соответственно. Диаметр поршня 3 превышает диаметр поршня 2 и перемычки 4 таким образом, что площади Бесштоковый поршня 2 и штыковой поршня 3 плоскостей равны между собой. Между полостями 9 и 20 цилиндра установлено стопорное кольцо 21, выполненное с возможностью взаимодействовать с перемычкой 4. Соосно корпусу 1 цилиндра смонтирована обмотка 22 электромагнита с возможностью поступательного перемещения. В корпусе 1 выполнено также отверстие 23 для связи полости 20 с энергосистемой. Кроме того, свободный конец затвора 14 соединен с обмоткой 22 электромагнита тягой 24.

В исходном для начала цикла положении корпус 1 цилиндра смещен в верхнее положение к стойке 7, перемычка-поршень 4 опирается на стопорное кольцо 21, поршень 3 смещен также в верхнее положение к кольцу 21. Далее от энергосистемы через отверстие 23 рабочее давление подается в полость 20 цилиндра. Поршень 3 со штоками 10 и 11, фланец 12 движутся относительно корпуса 1 вниз. По окончании хода поршня 3 может быть выполнена технологическая операция теми механизмами, которые монтируются на фланце 12, например, захват детали и т. д. По окончании технологической операции полость 20 через отверстие 23 сообщается с атмосферой. Рабочее давление по каналу в штоке 5 и поршне 2 подается в полость 9 цилиндра. Корпус 1 движется вниз относительно поршня 2, жестко связанного штоками 5 и 6 с неподвижной стойкой 7. Совместно с корпусом 1 вертикально вниз движется поршень 3 со штоками 10 и 11 и фланцем 12, а также перемычка 4 с затвором 14 и жестко с ним связанная тягой 24 обмотка 22 электромагнита. После того, как свободный конец затвора 14 упирается в жесткий упор (накопитель), движение затвора затормаживается. Из-за того, что движение перемычки 4 вниз совместно с корпусом продолжается, между затвором 14 и седлом 13, выполненным в перемычке 14, образуется зазор, через который энергия через полость 9 поступает в радиальное отверстие 17, центральное отверстие 18 и полость 19 цилиндра. При этом поршень 3, а вместе с ним штоки 10, 11 и фланец 12 начинают движение вертикально вверх относительно корпуса 1 цилиндра. Скорости перемещения поршней 2 и 3 равны, что обусловлено равенством эффективных площадей полостей 9 и 19, а направления перемещений — противоположны. Поэтому движение фланца 12 относительно жесткого упора исключено. Однако продолжается движение затвора 14 относительно

перемычки 4 и обмотки 22 электромагнита, жестко связанной посредством тяги 24 со свободным концом затвора 14, относительно корпуса цилиндра. После того, как плоскости обмотки 22 и перемычки 4 совпадут, последняя под действием электромагнитных сил движется вслед за обмоткой 22 электромагнита. Движения элементов (корпуса 1 и поршня 3) прекращаются после отработки ими полной величины рабочих ходов. При этом уровень, на котором расположен фланец 12 определяется высотой расположения жесткого упора. В этой позиции также выполняется технологическая операция (например, разжим детали).

По окончании технологической операции рабочее давление подается по каналу в штоке 6 и поршне 2 в полость 8. Корпус 1 привода поднимается вертикально вверх. Подготовлены условия к повторению цикла и рабочее давление через отверстие 23 в корпусе 1 подается в полость 20. Поршень 3 движется вниз и через штоки 10, 11, фланец 12, пружину 15 увлекает за собой затвор 14 и через него тягу 24 с обмоткой 22 электромагнита. Под действием электромагнитных сил вниз движется перемычка 4 до стопорного кольца 21. Электромагнитная фиксация перемычки 4 исключает ее неуправляемое движение при подаче энергии в полость 20 и позволяет контролировать работу седла 13 и затвора 14.

Следящий привод манипулятора имеет расширенные технологические возможности, которые обеспечивают произвольную координатную остановку ведомого звена без предварительного программирования этой координаты, а также подготавливают условия для выполнения определенных этапов производственного процесса (надвиг на детали для обеспечения их зажима и т. д.) при упрощении конструкции.

Уменьшение габаритов по оси привода может быть получено созданием телескопического варианта. При этом неподвижные штоки крепятся к поршню цилиндра, причем последний выполнен в виде шток-поршня и подвижным относительно наружного цилиндра, несущего захватный механизм. В данном случае отверстие в затворе конического седла связывается с полостью наружного цилиндра, обеспечивающего компенсирующее движение ведомому звену посредством телескопической энергомагистральной конструкции следящего привода манипулятора с телескопически связанными кинематическими парами изображена на рис.

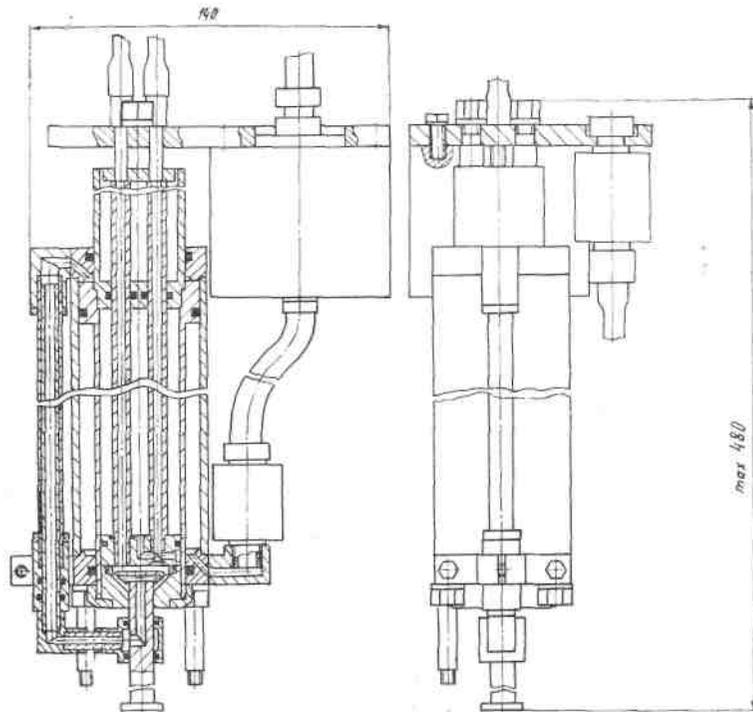


Рис. 48. Конструкция следящего привода манипулятора (телескопический вариант)

Манипулятор и прикрепленный к нему схват должны иметь габариты в поперечном сечении такими, чтобы они не превышали размеры внутренней полости накопителя (рис. 49). Кроме того, компенсирующие перемещения должны происходить с равными скоростями, что может

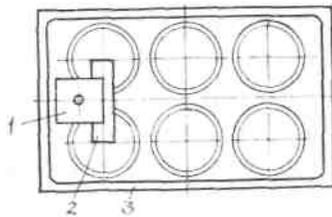


Рис. 49. Схема размещения манипулятора 1 со схватом 2 в накопителе 3

быть обеспечено равными поперечными сечениями рабочих объемов действующих цилиндров. В первом варианте конструкции следящего привода (рис. 47) размерная характеристика, полученная через уравнение равенства эффективных площадей и относящаяся к диаметрам поступающих кинематических пар, имеет следующий вид

$$d_1^2 = d_2^2 - 2d_3^2 - d_4^2,$$

где  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $d_4$  — диаметры соответственно полостей 9, 20 штоков 10, 11 и затвора 14.

Расчет конструкции может быть выполнен при том условии, если по трем заданным из стандартного ряда размера диаметров вычисляется четвертый. По звена следящего привода манипулятора значение последнего размера не представляется возможным. Поэтому на один из элементов конструкции требуется специальное уплотнение, под которое помимо всего следует изготовить канавку специальным инструментом.

Аналогичная ситуация возникает при проектировании второго варианта.

Для случая, при котором габариты манипулятора могут быть увеличены, появляется вероятность достижения у замыкающего звена размерной характеристики, приближающейся к стандартизованной.

На рис. 50 приведена зависимость  $d_4$  ( $d_2$ ) для конструкции следящего привода по первому варианту. Замыкающим звеном выбран диаметр  $d_4$  затвора, а остальные размеры  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , считаются заданными. Начало расчета может быть определено из следующего условия: при  $d_4 = 0$ ,

$$d_2 = \sqrt{d_1^2 - 2d_3^2}.$$

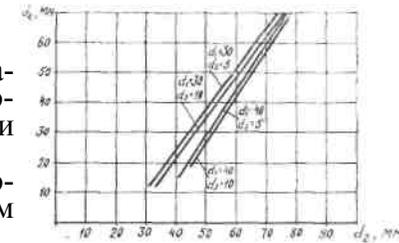
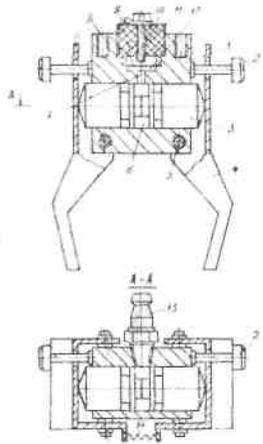


Рис. 50. Размерная характеристика замыкающего звена следящего привода манипулятора

#### 5. 4. Схват

Выполнение процедуры захвата полуфабриката порошковой металлургии должно происходить без нарушения их качественного состояния и переориентации их взаиморасположения. Зажим за базовые поверхности должен осуществляться в безударном режиме, а развиваемое усилие не должно разрушать полуфабрикат. Решение данной задачи выполнимо как на основе конструкций с механическим, так и на основе конструкций с вакуумным захватом.

Конструктивная схема схвата с механическим зажимом деталей показана на рис. 51. Схват состоит из корпуса с цилиндрической рабочей полостью, в которой размещены



поршни, взаимодействующие с зажимными губками. Последние выполнены в виде рычагов, закрепленных на корпусе посредством осей, и связаны между собой пружиной растяжения.

Для ограничения хода зажимных губок установлены упоры. В корпусе выполнена полость регистрации рабочего давления, соединенная с рабочей полостью каналом. Полость регистрации рабочего давления ограничена мембраной, закрепленной в корпусе посредством диэлектрического винта, в котором размещен регулируемый контакт. Мембрана также содержит контактный элемент, выполненный с возможностью взаимодейст

Рис. 51 Схват манипулятора с регулируемым контактом. В корпусе предусмотрены резьбовые упоры; 3—поршень; 4—отверстия для крепления губка зажимная; 5—ось; 6—полость рабочая; 7—канал; 8—отверстие резьбовое; 9—мембрана; 10—винт диэлектрический; 11—контакт регулируемый; 12—полость регистрации давления; 13—регулятор давления; 14—пружина растяжения с помощью регулятора давлением подается в рабочую полость схвата. Поршни воздействуют на зажимные губки и заставляют их перемещаться по направлению к деталям, между которыми находится профильная вставка. Развиваемое поршнями усилие достаточно лишь для деформации пружины, а скорость их движения к детали минимальна. После касания губками базовых поверхностей деталей и затормаживания поршней давление сжатого воздуха в рабочей и регистрирующей полостях возрастает. Под действием избыточного давления мембрана прогибается и своим контактом взаимодействует с регулируемым контактом. Электрическая цепь, соединяющая регулятор давления и источник питания, замыкается. Происходит рост рабочего давления, действующего на поршни рабочей полости, и нарастание усилия зажима. Этим обеспечивается надежный

захват деталей. Подготовлены условия к транспортированию деталей манипулятором.

Для разжима деталей следует рабочую полость сообщать с атмосферой. Тогда зажимные губки разводятся пружиной до упоров, освобождая детали.

Данная конструкция исключает деформацию поверхностей деталей зажимными губками независимо от их типоразмера из-за отсутствия ударных явлений в момент касания, а также обеспечивает технологически необходимое усилие.

Перспективно применение перфорированных вакуумных схватов [5].

## 5. 5. Энергоснабжение

Пневматическая схема автоматического модуля показана на рис. 52. Исполнительные механизмы манипулятора, схвата, устройства выдачи сообщены с источником энергии через блок распределителей с электромагнитным управлением. Для обеспечения регулирующего воздействия на исполнительные механизмы привода манипулятора применены управляемые дроссели.

Все распределители с электромагнитным управлением выполнены по клапанной схеме с целью упрощения блока управления. Состоят (рис. 53) из корпуса с центральным отверстием, в котором закреплен статор с коническим седлом. С последним взаимодействует как затвор якорь электромагнита, обмотка которого закреплена на корпусе.

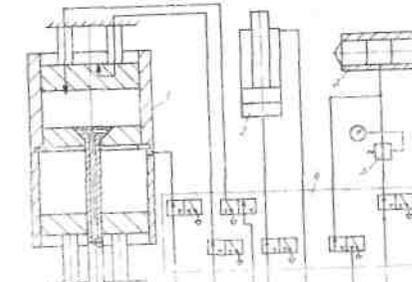


Рис. 52. Пневматическая схема автоматического модуля: 1 — следящий привод манипулятора; 2 — механизм устройства выдачи изделий; 3 — привод схвата; 4 — блок распределителей; 5 — регулятор давления

лод якоря ограничивает штифт. В корпусе выполнено также радиальное отверстие, предназначенное для выхода воздуха при возвратном ходе привода.

При подаче на обмотку электромагнита напряжения от системы управления якорь притягивается к статору, герметизируя напорную магистраль. Рабочая полость привода через радиальное отверстие в корпусе сообщена с атмосферой. При отсутствии

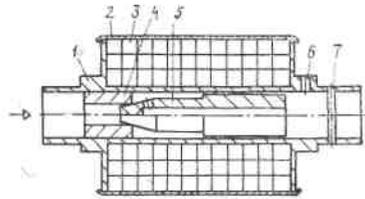


Рис. 53. Клапанный распределитель: 1—корпус; 2—кожух; 3—обмотка; 4—статор; 5—якорь; 6—отверстие радиальное; 7—штифт

обмотка электромагнита, содержащего также подпружиненный относительно корпуса якорь с клиновым пазом. В якоре выполнена подвижная шайба с осевым и радиальным отверстиями. Шайба имеет выточки и выполняет функцию дросселя с обратным клапаном в зависимости от направления движения потока воздуха. В шайбе установлен подпружиненный толкатель, взаимодействующий с клиновым пазом. Количество обмоток электромагнита определяется числом ступеней торможения. Переключающийся под действием электромагнитного отверстия в шайбе и, следовательно, расход через дроссель.

При разработке конструкции шайбы учитывается, что периметр ее должен иметь в профиле участки, выполненные по окружности для взаимодействия с направляющей цилиндрической поверхностью якоря, причем суммарная длина дуги направляющей части периметра не должна быть меньше суммарной длины дуги, по которой располагаются выточки; выточки целесообразно изготавливать в виде ок-

вии питания на обмотке якорь давлением сжатого воздуха передвигается до штифта и радиальное отверстие перекрывается. Через внутренний канал в якоре привод сообщается с

энергоматриалу.

Конструкция дросселя, выполняющего функцию регулятора режима движения, изображена на рис. 54

Внутри корпуса размещена обмотка электромагнита, содержащего также подпружиненный относительно корпуса якорь с клиновым пазом. В якоре выполнена подвижная шайба с осевым и радиальным отверстиями. Шайба имеет выточки и выполняет функцию дросселя с обратным клапаном в зависимости от направления движения потока воздуха. В шайбе установлен подпружиненный толкатель, взаимодействующий с клиновым пазом. Количество обмоток электромагнита определяется числом ступеней торможения. Переключающийся под действием электромаг-

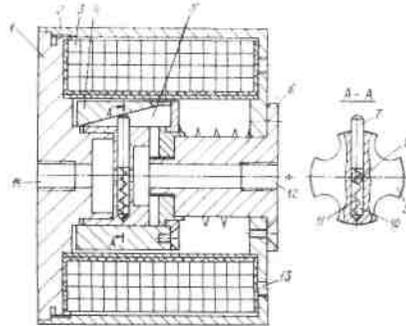


Рис. 54. Дроссель: 1—крышка; 2—корпус; 3—обмотка; 4—якорь; 5—паз клиновидный; 6—опора; 7—толкатель; 8—отверстие дросселирующее; 9—шайба подвижная; 10—отверстие радиальное; 11—пружина; 12, 14—отверстие для подвода энергии и связи с пневматикой; 13—отверстие резьбовое

ружностей, исходя из технологических соображений, а центр окружностей выточек выбирают так, чтобы получить максимальную пропускную способность шайбы, что имеет место при максимальной площади выточек [51].

Формирование законов дви-

жения пневмопривода с помощью дросселя осуществляется программированием и не требует участия в процессах сложной измерительной и вычислительной аппаратуры. Это упрощает не только конструкцию манипулятора, но и снижает трудоемкость его эксплуатации, что весьма важно при автоматизации производственных процессов. Улучшается и процесс настройки режимов, так как нет необходимости настраивать элементы конструкции, а достаточно проверить режимы по тестовым программам.

Характер скоростного режима элементов следящего привода на этапе, например, торможения может быть представлен следующим образом (рис. 55) при последовательном подключении двух обмоток электромагнита дросселя, что в идеализированном виде может быть аппроксимировано прямой. При этом режим управляющего воз-

действия оценим типовым единичным ступенчатым, а статическая и динамическая нагрузки на привод постоянны. Последние условия практически выполняются, если привод быстродействующий и при достаточно малом времени переходного процесса позиционная нагрузка и ведомые массы привода не успевают ощутимо измениться. Это в полной мере относится к следящему приводу манипулятора для порошковой металлургии.

Для установления параметров режимов работы привода, которые показаны на рис. 56, при ограничении скорости  $v$  и ускорения  $a$

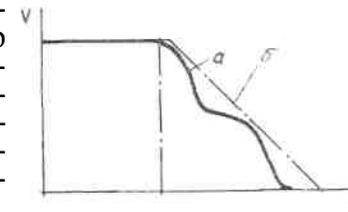


Рис. 55. Реальный (а) и симулированный (б) характер этапа торможения привода при последовательном включении двух обмоток электромагнита

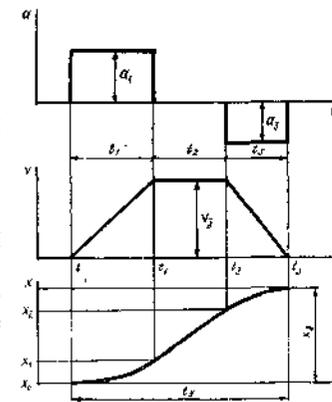


Рис. 56. Траектория движения привода при ограничении скорости  $v$  и ускорения  $a$

рости и ускорения Ведомых звеньев, рассмотрим следующие соотношения. Предельные ускорения на участках разгона и торможения равны

$$a_1 = a_{\text{разг.}} = \frac{(R_{\text{дв}} - R_c)(1 - \kappa)}{m}; \quad a_3 = a_{\text{торм.}} = -\frac{(R_{\text{дв}} - R_c)(1 + \kappa)}{m},$$

где  $R_{\text{дв}}$  — усилие, развиваемое приводом;  $R_c$  — сила торможения, действующая на привод;  $m$  — масса ведомых звеньев;  $\kappa$  — крутизна механической характеристики ( $\alpha = \arctg \kappa$ ). Изменение скорости ведомого звена при разгоне и торможении

$$V_1 = \int_0^1 a_1 dt = a_1(t_1 - t_1); \quad V_3 = - \int_2^3 a_3 dt = -a_3(t_3 - t_2),$$

где  $l$  — время запаздывания (разность между моментами подачи управляющего сигнала и начала движения привода;  $t_1$ ;  $t_2$  — время начала и окончания установившегося перемещения;  $t_3$  — время остановки привода. Скорость  $V_2$  на участке  $(U-1_2)$  установившегося движения равна  $V_2 = V_1$ , а ускорение отсутствует  $a_2 = 0$ . Изменение перемещений на трех участках определяется как

$$x_1 = \int_0^{t_1} a_1 t_1 dt = \frac{1}{2} a_1 t_1^2 + x_0;$$

$$x_2 = x_0 + x_1 + V_1(t_2 - t_1);$$

$$x_3 = x_0 + x_1 + x_2 + \frac{a_3(t_3 - t_2)^2}{2},$$

где  $x_0$  — величина начального перемещения ведомого звена привода.

Считаем постоянным усилие  $R_{\text{дв}} = \text{const}$ . Сила торможения будет определяться как функция пути  $R_c(x)$ . В связи с трудностью определения функции  $R_c(x)$  упрощенно считаем, что во время движения ведомых масс в одном направлении давление воздуха в магистрали неизменно, а рывки и заедания в приводе при движении отсутствуют. Тогда силу торможения определим из условия

$$R_c = R_{\text{пр}} + \kappa p_M$$

где  $R_{\text{пр}}$  — постоянная составляющая сил противодействия;

$\kappa$  — приведенный коэффициент пропорциональности, учитывающий давление в рабочей и тормозной полостях и являющийся функцией скорости;  $p_M$  — давление воздуха в полости торможения. Давление воздуха  $p_M$  в полости торможения является функцией перемещения  $x$  ведомых масс и может быть описано уравнением вида

$$p_M = p_0 \frac{x_T}{x_T - x},$$

где  $x_T$  — длина тормозного пути;  $p_0$  — давление в напорной магистрали. Линеаризуем данное уравнение по  $x$ , тогда

Согласно последней зависимости следует, что для

$$p'_M = p_0 \frac{x_T}{(x_T - x)^2}; \quad p_M(0) = p_0; \quad p'_M(0) = \frac{p_0}{x_T};$$

$$p_M = p_0 + \frac{p_0}{x_T} x$$

уменьшения тормозного пути требуется увеличение как противодействия в полости торможения, так и повышение интенсивности нарастания этого противодействия (рис. 57). Первое может быть достигнуто подачей управляющих сигналов на дроссель, а второе — изменением частоты управления.

### 5. 6. Уровень унификации автоматического модуля

Решение задачи управления как компонентами автоматического модуля, так и их взаимосвязями позволяет ориентироваться на применение групповых методов изготовления конструкционных и инструментальных изделий в порошковой металлургии. Варианты объектов — изделий, планируемых к изготовлению методом порошковой металлургии с применением автоматических модулей, показаны на рис. 58.

При рассмотрении автоматического модуля (рис. 59) прессования и транспортировки, как совокупности оборудования (пресс-автомата), манипулятора, конвейера, устройства выдачи, объединенных в комплекс согласованно взаимодей-

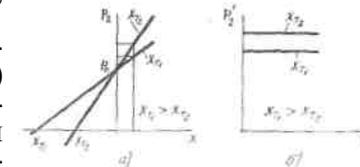


Рис. 57. Зависимость давления  $p_2$  и скорости  $p'_2$  изменения давления от тормозного пути

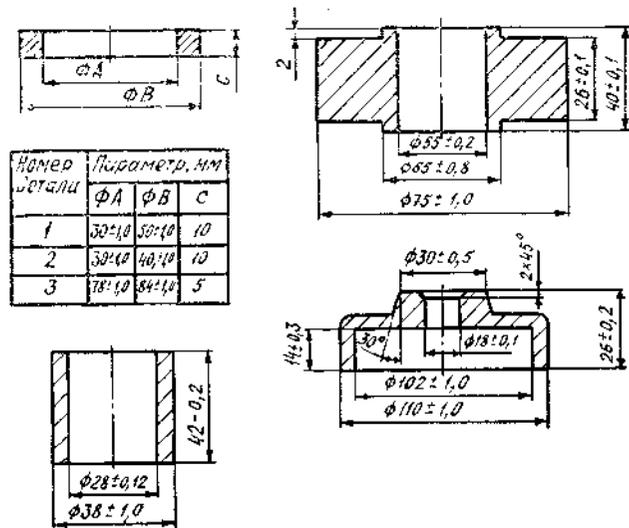


Рис. 58. Конструкции деталей

вующих элементов через систему управления, можно обеспечить технологически обоснованную их переналадку в пределах требований групповой технологии. В случае перехода к обработке детали иного типоразмера переналадке и регулировке подлежит часть механизмов модуля. У пресс-автомата изменяется оснастка, необходимая для осуществления формования полуфабрикатов, и устройство выдачи полуфабрикатов в зону захвата их манипулятором. Привод остается неизменным, но по отно-

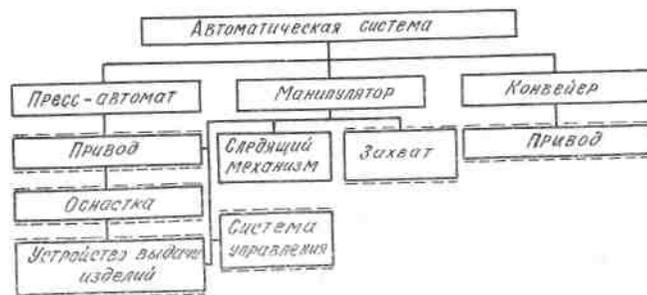


Рис. 59. Структура автоматического модуля (пунктиром показаны механизмы, которые подвергаются переналадке при смене типоразмера детали)

шению к нему выполняются операции по заданию режима формования и длительности рабочего цикла. На конвейере выставляются упоры, регламентирующие координаты позиций загрузки полуфабрикатов в накопитель.

На манипулятор устанавливается схват, обеспечивающий взаимодействие с конкретным типоразмером изделия, а следящий привод вертикального позиционирования манипулятора обеспечивает координатные перемещения схвата согласно схеме заполнения накопителя автоматически.

Взаиморасположение элементов модуля относительно друг друга обеспечивается регулировочными упорами и устройствами.

#### 4. Параметры и методы перестройки автоматического модуля

№ пп.	Изменяемые параметры или компоненты автоматического модуля	Метод изменения параметров	
		замена агрегата	регулировка
1.	Установочные базы устройства выдачи изделий	+	-
2.	Устройство выдачи изделий	+	-
3.	Технологическая оснастка	+	+
4.	Режим формования изделий	-	+
5.	Длительность рабочего цикла формования	-	+
6.	Механизм захвата изделий	+	-
7.	Величины рабочих перемещений механизмов манипулятора и схвата	-	+
8.	Длительность позиционирования манипулятора и схвата	-	+
9.	Последовательность выполнения рабочих и холостых перемещений	-	+
10.	Реализация схемы загрузки изделий в накопитель и транспортировки	-	+
11.	Задание координат затормаживания накопителя на конвейере для обеспечения схемы загрузки изделий	-	+
12.	Изменение взаиморасположения элементов модуля относительно друг друга	-	+

Характеристики параметров и методов перестройки автоматического модуля формования и накопления изделий поведены в табл. 4. Из представленной информации

можно сделать заключение о том, что переналадка модуля на 33% выполняется заменой агрегатов, а на 66% — регулировками. Подобное соотношение доказывает перспективность развития работ по совершенствованию такой техники.

## 6. ПОДГОТОВКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМ МОДУЛЕМ

### 6. 1. Особенности управления технологией

Автоматизация—это процесс совершенствования производства, характеризуемый прежде всего уменьшением потока информации от оператора к оборудованию и повышением самостоятельности различных уровней и звеньев управления. Система управления технологией построена, как правило, по иерархическому принципу.

Технологические системы — это сложные системы, в которых реализованы различные типы структур управления. Уровневая структура проявляется наиболее ярко в механическом производстве.

На самом низком первом уровне находится основное технологическое оборудование, на котором производится формообразование, сборка, сварка и т. п., и манипуляторы, с помощью которых осуществляются загрузка деталей в оборудование, снятие деталей, транспортировка их в пространстве, перенос рабочих инструментов и т. п. Поведение этих машин задается извне программой, в рамках которой каждая машина имеет различную степень самостоятельности. Цели управления этими агрегатами определяются заданием поведения с точностью до заданного программой многообразия. При позиционном управлении это многообразие — точка, для систем контурного управления — линия и т. п. Чем больше размерность многообразия, с точностью до которой задано поведение, тем больше возможностей для приспособления к непредвиденным заранее факторам.

Второй уровень включает в себя оборудование, манипуляторы и транспортную систему, которая их связывает, склады заготовок, приспособлений, инструментов и готовых изделий. На этом уровне в соответствии с заданным планом производства осуществляется распределение работы между агрегатами в зависимости от их исправности, обеспеченности инструментом, заготовками. Адаптационные возможности этого уровня должны обеспечить гибкое изменение распределения работы между агрегатами при наличии нескольких плановых заданий с разными приоритетами. Это уровень группового или централизованного управления оборудованием. На третьем уровне предусмотрены две структуры: первая обеспечивает координацию работы отдельных участ-

ков различных типов производства и тем самым реализацию плановых заданий в целом, а другая включает в себя отделы автоматизированного проектирования как тех изделий, которые должны выпускаться, так и приспособлений и иной технологической оснастки, необходимой для этого производства.

Четвертый уровень концентрирует в себе внешние связи, анализ конъюнктуры рынка, связь с поставщиками комплектующих изделий.

Унификация устройств управления на основе модульного принципа позволяет создать средства управления и контроля на базе единой универсальной системы микропроцессорных модулей и унифицированного интерфейса. Основными принципами создания такой системы модулей являются иерархическая структура системы; проблемная ориентация модулей на решение задач управления и контроля; функциональная ориентация, то есть специализация модулей для наиболее эффективного выполнения определенных функций; структурно-логическое соответствие функциональных и конструктивных свойств модулей; незамкнутость системы модулей, то есть возможность наращивать как уровни, так и функциональный набор модулей каждого уровня управления.

### 6. 2. Циклограмма работы автоматического модуля

В системах управления автоматическими системами, построенных по принципу ЭВМ, решающую роль играет программное обеспечение: совокупность программ, обеспечивающих реализацию функций управляющей ЭВМ. Основные требования, которым должна удовлетворять ЭВМ, заключаются в следующем: автоматическая система должна оперативно воспринимать изменения внешней, а иногда и внутренней среды и в соответствии с этим менять тактику выполнения задания; структура системы алгоритмов программного обеспечения (набора предписаний, однозначно определяющих содержание и последовательность выполнения операций для систематического решения определенной задачи) должна давать возможность осуществлять широкий круг самых разнообразных действий автоматической системе, выполняемых в произвольной последовательности; управление должно осуществляться в реальном масштабе времени, что определяет быстродействие алгоритмической системы управления, кроме того, последняя не должна ограничивать скорость выполнения системой заданной технологии, а должна обеспечивать

оперативную реакцию на изменения внешней и внутренней среды.

Разработка программного обеспечения начинается с анализа циклограммы работы автоматической системы и ее роли в системе комплексной автоматизации производства.

Цикл работы автоматического модуля, как средства гибкой автоматизации, рассмотрим применительно к комплексу взаимосвязанных элементов: пресс-автомата, манипулятора, конвейера, накопителя изделий, вспомогательного оборудования.

Этапы цикла следующие:

1. Осуществляется запуск приводов пресс-автомата, манипулятора, конвейера.

2. Производится загрузка накопителя на работающем конвейере.

3. Перед механизмом пересыпки накопитель воздействием на датчик Д1 обеспечивает выдвижение упоров У, У1, а также включение механизма пересыпки.

4. Засыпка дна в процессе движения накопителя.

5. Накопитель становится на упор У1 первого ряда.

6. Манипулятор загружает первый ряд 4-го слоя.

7. Накопитель становится на упор У2 первого ряда.

8. Манипулятор загружает второй ряд 4-го слоя.

9. Накопитель становится на упор У3 первого ряда.

10. Манипулятор загружает третий ряд 4-го слоя.

11. Реверс конвейера.

12. Накопитель становится на упор У и воздействует на датчик Д2.

13. Реверс конвейера.

14. То же, что и в п. 3.

15. То же, что и в п. 4.

16. То же, что и в п. 5.

•II. Манипулятор загружает первый ряд 3-го слоя.

18. То же, что и в п. 7. VI9. Манипулятор загружает второй ряд 3-го слоя.

20. То же, что и в п. 9. ^21. Манипулятор загружает третий ряд 3-го слоя.

22. То же, что и в п. 11.

23. То же, что и в п. 12.

24. То же, что и в п. 13.

25. То же, что и в п. 3.

26. То же, что и в п. 4.

27. То же, что и в п. 5.

1/28. Манипулятор загружает первый ряд 2-го слоя.

29. То же, что и в п. 7.

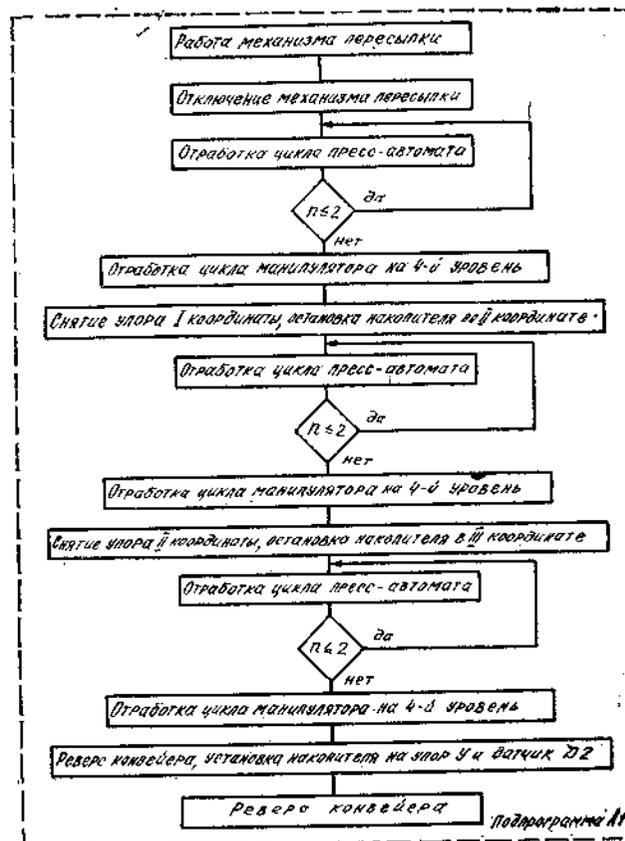


Рис. 60. Блок-схема подпрограммы управления загрузкой уровня в накопителе

30. Манипулятор загружает второй ряд 2-го слоя.

31. То же, что и в п. 9.

32. Манипулятор загружает третий ряд 2-го слоя.

33. То же, что и в п. 11.

34. То же, что и в п. 12.

35. То же, что и в п. 13.

36. То же, что и в п. 3.

37. То же, что и в п. 4.

38. То же, что и в п. 5.

39. Манипулятор загружает первый ряд 1-го слоя.

40. То же, что и в п. 7. 41. Манипулятор загружает второй ряд 1-го слоя.

- 42. То же, что и в п. 9.
- 43. Манипулятор загружает третий ряд 1-го слоя.
- 44. То же, что и в п. 11.
- 45. То же, что и в п. 12.
- 46. То же, что и в п. 13.
- 47. То же, что и в п. 3.
- 48. То же, что и в п. 4, но снятие упоров У и УЗ.
- 49. Съем накопителя с конвейера и загрузка накопителя на конвейер.

Далее цикл повторяется. В нем можно выделить четыре структурно идентичных этапа, различающихся между собой уровнем загружаемого слоя в накопитель.

Блок-схема подпрограммы управления автоматическим модулем по загрузке 4-го слоя в накопителе показана на рис. 60.

Блок-схема программы управления автоматическим модулем по загрузке накопителя показана на рис. 61.

Программное обеспечение системы управления должно обеспечить управление движением в цикловом, позиционном и контурном режимах целевым механизмам системы. Кроме того, должно быть обеспечено управление комплексом взаимодействующих компонентов этой системы. На следующем уровне можно обеспечить выполнение функций диспетчеризации работы технологического оборудования и манипуляторов, управление автоматизированной транспортно-накопительной системой и оперативно-календарное планирование работы систем.

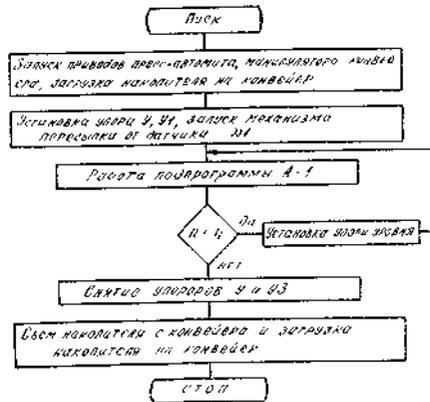


Рис. 61. Блок-схема программы управления

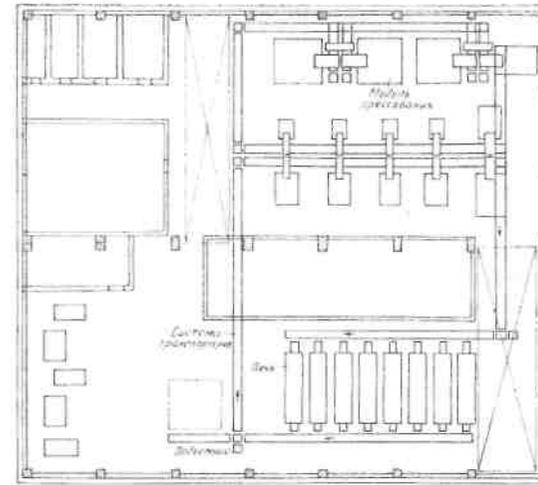


Рис. 62. Планировка роботизированного цеха порошковой металлургии

### 6. 3. Модернизация производства порошковой металлургии

На рис. 62 показан вариант роботизированного цеха порошковой металлургии. Прессовый участок образован совокупностью автоматических модулей, объединенных транспортно-накопительной системой. Посредством последней выполняется подача накопителей к термическому участку и на вход печей. Опорожненные накопители той же транспортно-накопительной системой возвращаются в исходные позиции загрузки. Уровень расположения узлов и механизмов транспортно-накопительной системы относительно основания цеха выбирается исходя из соображений обеспечения безопасности обслуживающему персоналу и исключения загромождения рабочего пространства. Поэтому для выноса накопителей на уровень транспортирования предусмотрены подъемники.

### ВАРИАНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Применение средств роботизации для выполнения вспомогательных операций весьма перспективно в различных производственных процессах. Однако опережающее проникновение идей автоматизации в производство и нарастание конкретных задач не может быть удовлетворено

достигнутым уровнем робототехники и требует новых конкретных результатов.

Задача по перестановке, переносу объекта производственного процесса с одной стационарной координаты в другую посредством манипуляционных механизмов равнозначна процессу загрузки основного технологического оборудования и успешно решена для многих известных случаев. Эта задача усложняется, если координаты входа и выхода, с которыми взаимодействует манипулятор, подвижны, а число типоразмеров транспортируемых объектов более двух.

Подобный производственный процесс имеет место при условии объединения в единую поточную линию конвейеров сборки изделий и контроля их параметров. На рис. 63 и 64 приведены варианты автоматизации.

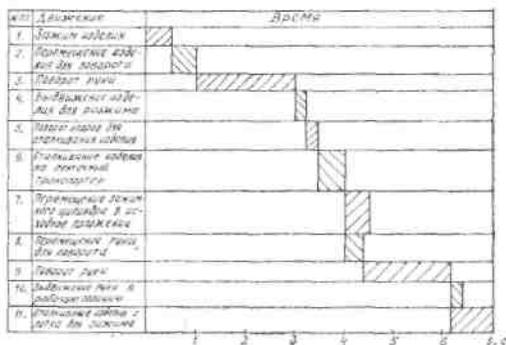
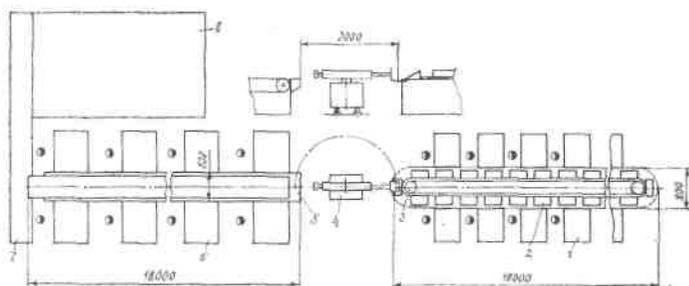


Рис. 63. Планировка транспортных систем с жесткой связью, на которых собираются и контролируются изделия и циклограмма работы средств роботизации: 1— рабочее место сборщика; 2— приспособление транспортное; 3 — транспортер цепной дискретного действия; 4 — позиционер-перекладчик; 5, 7 — конвейер ленточный непрерывного действия; 6 — рабочее место контролера; 8 — участок упаковки готовых изделий

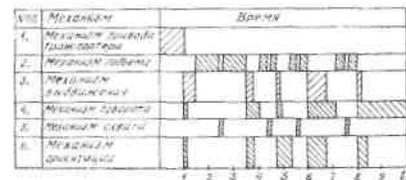
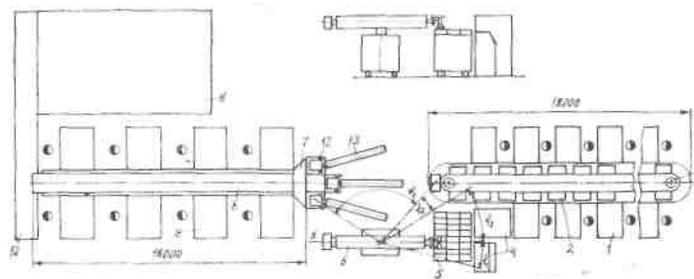


Рис. 64. Планировка транспортных систем сборки и контроля с гибкой связью и циклограмма работы средств роботизации: 1 — рабочее место сборщика; 2— приспособление транспортное; 3—• транспортер цепной дискретного действия; 4 — средства управления; 5 — магазин корпусов; 5 — манипулятор; 7 — стол; 8, 10 — конвейер ленточный непрерывного действия; 9 — рабочее место контролера; 11—участок упаковки готовых изделий; 12—изделие; 13 — толкатель

перегрузки изделий с цепного конвейера сборки дискретного действия на ленточный транспортер контроля параметров непрерывного действия. Связь двух транспортных систем осуществляется посредством роботизированных конструкций. Изделие представляет собой параллелепипед с габаритами 240x115x65 (90) мм, имеющий пластмассовую поверхность.

Первый вариант (рис. 63) позволяет обслуживать подвижные объекты без усложнения циклового управляющего устройства. При этом обеспечивается жесткая связь между транспортными устройствами. Позиция перегрузки включает с себя приспособление (рис. 65) для улавливания движущегося на цепном конвейере изделия и захватный механизм (рис. 66), который монтируется на позиционере - перекладчике. После захвата изделия на приспособлении оно транспортируется к ленточному транспортеру позиционером - перекладчиком. В качестве последнего может быть применен манипулятор с цикловой системой управления, работающий в цилиндрической системе координат.

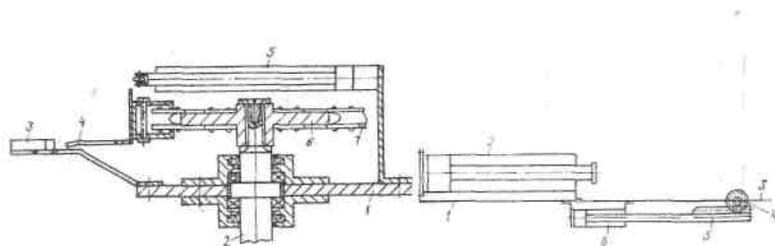


Рис. 65. Приспособление: 1 — корпус; 2 — вал; 3 — подставка для опоры; 2 — цилиндр зажима; 3 — изделия; 4 — лоток; 5 — толкатель; 4 — шестерня; 5 — рейка; 6 — тель; 6 — звездочка; 7 — цепь. Рис. 66. Захватный механизм: 1 — цилиндр вращения упоров

Приспособление (рис. 65) состоит из корпуса, лотков, подставки для изделия, опоры и толкателя, который крепится на последней. Лотки установлены на цепи конвейера и движутся совместно с ней и вдоль конвейера. На лотках расположены изделия, по отношению к которым выполняются сборочные технологические операции. Цепь установлена на звездочке, которая, в свою очередь, закреплена на валу.

При подходе лотка с изделием в конечную позицию сборки срабатывает толкатель, выполненный в виде силового пневмоцилиндра, который перемещает изделие из лотка в подставку, закрепленную на неподвижном корпусе. Далее рабочий орган толкателя возвращается в исходное для повторения цикла положение.

Захватный механизм (рис. 66) состоит из опоры, цилиндра зажима изделия, цилиндра вращения упоров, зубчато-реечного механизма.

Захватный механизм подается позиционером-перекладчиком под подставку с изделием. Затем срабатывает цилиндр вращения упоров, которые из горизонтального положения перемещаются в вертикальное. Тем самым создаются предпосылки для базирования изделия на опоре. После срабатывания цилиндра зажима изделие надежно фиксируется между упорами, которых два, и рабочим органом цилиндра зажима. Подготовлены условия для дальнейшего транспортирования изделия к ленточному транспортеру. Эту операцию выполняет позиционер-перекладчик. После установки захватного механизма с изделием над ленточным транспортером обеспечивается возвратное срабатывание цилиндра вращения упоров и последние занимают горизонтальное положение. При этом цилиндр зажима производит столкновение изделия с опоры на конвейер, а затем занимает исходное положение. Подготовлены условия для повторения цикла.

Применение манипуляционного механизма для загрузки базовыми элементами (например, корпусами) объекта лотков цепного конвейера сборки и перегрузки готовой продукции на ленточный транспортер позволяет перейти на групповую технологию производства модификаций изделий и стабилизировать производительность поточной линии.

По второму варианту (рис. 64) модернизации конструктивные схемы механизмов созданы на основе числовых приводов, а выполнение логических операций производится опросом датчиков внешних устройств, размещенных на устройстве выдачи, накопителях, пульте задания модификации изделия.

## 8. РОБОТИЗИРОВАННАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СВЯЗИ ДВУХ ДВИЖУЩИХСЯ КОНВЕЙЕРОВ И ОСОБЕННОСТИ ЕЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

### 8.1. Алгоритм работы

Взаимодействие элементов автоматизации на позиции перегрузки изделий между транспортными системами и загрузки корпусов как базовых компонентов изделия (рис. 64) осуществляется следующим образом. После перемещения на шаг цепного конвейера манипулятор захватывает из входного накопителя два корпуса и доставляет их на позицию загрузки. Далее манипулятор освобождает позицию перегрузки от готовых изделий и в зависимости от их модификации переносит в один из трех промежуточных накопителей. Изделия с накопителя на ленточный транспортер передаются толкателем. Возможен случай непосредственной установки изделий на ленточный транспортер. В зависимости от состояний, в которых находятся входной накопитель и позиция перегрузки, выполняются дальнейшие действия манипулятора. Причем за двенадцать циклов манипулятор последовательно обходит все позиции входного накопителя с корпусами. Затем происходит смена (вручную или автоматически) накопителя.

Таким образом, манипулятор осуществляет перенос из-

<sup>1</sup> Даровских В. Д., Юнев С. А. Роботизированная оснастка для связи двух движущихся конвейеров и особенности ее системы управления. — В кн.: Автоматизация производственных процессов в машиностроении. Тезисы докладов республ. научно-техн. конф. Ч. 2. — Фрунзе: ФПИ, 1986. — С. 23—24.



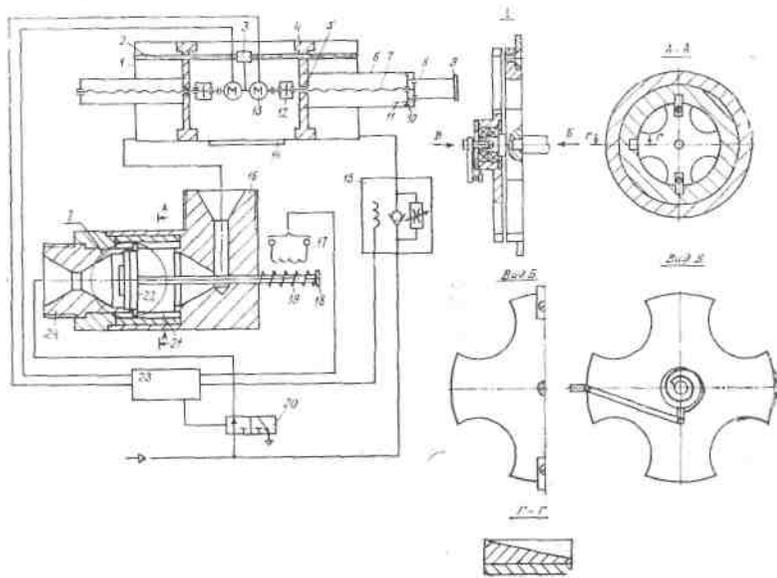


Рис. 68. Модульный привод манипулятора: 1—цилиндр; 2— направляющая; 3— поступательная кинематическая пара; 4— поршень; 5, Ю— гайка; 6— шток; 7— винт ходовой; 8— стакан; 9, 14— фланец присоединительный; 11— шпонка; 12— опора подшипниковая; 13— двигатель; 15— дроссель управляемый; 16— штуцер вертикальный; 17— обмотка электромагнита; 18— тяга; 19— пружина; 20— распределитель; 21— втулка; 22— элемент дросселирующий; 23— блок управления; 24— штуцер горизонтальный

го дросселирующий элемент соединен посредством тяги с якорем электромагнита. Регулятор выполнен из невращающейся и вращающейся частей, причем тяга жестко связана с невращающейся частью, к которой также прикрепена шпонка, выступающая за наружный диаметр регулятора для связи с пазом втулки. Вращающаяся часть регулятора смонтирована на не вращающейся части посредством подшипников, крышки и шайбы. Со ступицей жестко соединен рычаг, связанный с тягой толкателя. Последний подпружинен и взаимодействует с клиновым пазом, имеющимся у втулки. В обеих частях регулятора выполнены выточки от периферии к центру с профилями в виде сегментов окружностей. Электродвигатели, обмотки электромагнитов регулятора и распределительной аппаратуры связаны с блоком управления.

В рабочем цикле привода выполняются настройка размерной информации и силовое перемещение. При настрой-

ке размерной информации сигналы от блока управления подаются на двигателя. В результате поршни перемещаются относительно цилиндра, задавая величину и зону перемещения внутри полного хода ведомому звену. Стакан с ганкой движется при этом противоположно поршню, компенсируя потерю размерной информации, что достигается противоположным направлением винтовой поверхности на данном участке ходового винта. Далее от блока управления команда подается на распределитель и система, состоящая из жестко связанных между собой поршней, совершает возвратно-поступательное перемещение.

При необходимости увеличения расхода сжатого воздуха через регулятор по определенному закону управляющие импульсы следуют на обмотку электромагнита. Тяга под действием электромагнитных сил смещается и толкает дросселирующий элемент. Его толкатель скользит по клиновидной поверхности втулки и заставляет вращаться подвижную часть регулятора. Перфорированные выточки в подвижной части регулятора открываются из-за смещения выступов вращающейся части, в результате чего увеличивается эффективная площадь для прохождения расхода сжатого воздуха.

Абсолютная величина расхода сжатого воздуха, как энергетическая характеристика привода, обеспечивает скорость движения ведомых масс привода. Снижение расхода по мере приближения к координате останова позволяет улучшить динамический режим работы манипулятора, несущего в схвате объект производственного процесса.

Повышение точности, надежности, а также автоматизация процедур управления циклом и режимом движения существенно расширяют эксплуатационные возможности привода и область его практического применения.

В некоторых случаях требуется повысить и стабилизировать (обеспечить независимость от возмущающих воздействий) точность приводов как целевых механизмов манипуляционных устройств и средств автоматизации. Рассмотрим, как данный эффект может быть достигнут в конструкциях с цикловым и следящим принципом действия.

Позиционер<sup>1</sup> с цикловым электромеханическим компенсатором показан на рис. 69. Он выполнен в виде силового цилиндра 1 со шток-поршнем 2. В корпусе цилиндра 1 выполнено сквозное отверстие 3, в котором размещена направляющая 4. На последней закреплено с возможностью

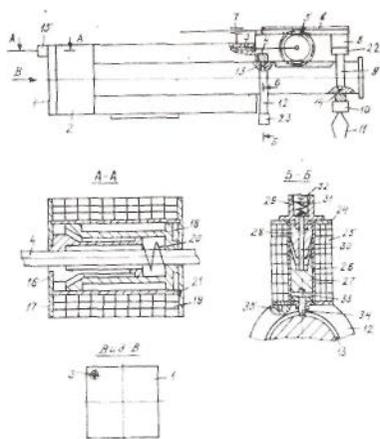


Рис. 69. Конструктивная схема позиционера с электромеханическим компенсатором

вращения зубчатое колесо 5, которое зацеплено с рейкой, выполненной на шток-поршня 2, и с рейкой 6, смонтированной на направляющей 7 корпуса цилиндра 1. Рейка 6 посредством скобы 8 зацеплена со втулкой 9, смонтированной с возможностью возвратно-поступательного перемещения на шток-поршня 2. На втулке 9 жестко закреплен фланец 10, к которому крепится, например, схват 11. К направляющей 4 жестко прикреплен втулка 12, образующая поступательную пару со шток-поршнем 2. В местах установки втулок 9 и 12 на штоке выполнены кольцевые проточки 13 и 14. Ширина втулок превышает ширину канавок. Направляющая 4 взаимодействует также с фиксатором 15 электромеханического типа, жестко закрепленным на цилиндре 1. Фиксатор 15 выполнен из следующих элементов, расположенных коаксиально направляющей 4: цанги 16, связанной с корпусом 17 и выполняющей роль статора; подвижного в осевом направлении якоря 18, обмотки 19 электромагнита. Между цангой 16 и якорем 18 установлена пружина 20. Кроме того, якорь 18 своей наружной цилиндрической поверхностью базируется в стакане 21. Внутренняя поверхность цанги 16 выполнена с возможностью взаимодействия с наружной поверхностью направляющей 4. На втулках 9 и 12 закреплены фиксаторы 22 и 23. Они состоят из корпуса 24 обмотки 25 электромагнита, стакана 26, внутри которого смонтированы якорь 27, статор 28 и опора 29 механизма возврата якоря 27. Механизм возврата помимо опоры 29, жестко

связанной с корпусом 24, содержит толкатель 30, установленный соосно фиксатору 22 или 23, один конец которого оперт на якорь 27, а второй — на пружину 31. Свободный конец пружины 31 воздействует на регулировочный винт 32, установленный в опоре 29. К якорю 27 посредством штифта 33 прикреплен палец 34, выполненный с возможностью взаимодействия с проточкой 13 или 14. Фиксатор 23 (24) связан с втулкой 9 (12) посредством винтов 35.

В исходном перед началом цикла состоянии обмотка 19 цангового фиксатора 15, а также обмотка 25 фиксаторов 22 и 23 обесточены. Направляющая 4 расфиксирована и может свободно перемещаться в отверстии 3 корпуса цилиндра 1. Якорь 27 пружиной 31 отжат от статора 28, в результате чего палец 34 каждого из фиксаторов 22 и 23 западает в кольцевые проточки 13 и 14 шток-поршня 2. При этом направляющая 4, фланец 10 и рейка 6 жестко связаны со шток-поршнем 2.

По команде из системы управления энергия подается в бесштоковую полость цилиндра 1. Шток-поршень 2 движется слева направо. При необходимости его останова в любой координате отключается подача энергии в бесштоковую полость и подается питание на обмотки 19 и 25 электромагнитов фиксаторов 15, 22, 23. У фиксатора 15 якорь 18 под действием электромагнитных сил движется на цангу 16, сжимая пружину 20, вдоль стакана 21. При воздействии внутреннего конуса якоря 18 на наружный конус цанги 16 лепестки последней обжимают наружную поверхность направляющей 4 и затормаживают ее. Одновременно с этим якорь 27, сжимая пружину 31, притягивается к статору 28, а палец 34 выходит из зоны взаимодействия с проточками 13 и 14. В этом случае обеспечивается свобода перемещения втулкам 9 и 12 в осевом относительно шток-поршня 2 направлении.

В процессе продолжающегося инерционного перемещения шток-поршня 2 происходит проворот зубчатого колеса 5, зацепленного с рейкой, выполненной на штоке. При этом колесо 5, ось которого смонтирована на направляющей 4, не имеет линейного смещения. Вращение с колеса 5 передается на рейку 6 и последняя линейно перемещается в направлении, противоположном инерционному движению шток-поршня 2, компенсируя это движение. Совместно с рейкой 6 относительно шток-поршня 2 движется и втулка 9 с фланцем 10 из-за наличия связи между ними, выполненной в виде скобы 8. Таким образом, инерционные свойства шток-поршня 2 не сказываются на точностные показатели позиционера.

В процессе выполнения возвратного хода вновь выполняются все подготовительные операции и при разгоне шток-поршня 2 ведомые массы смешаются вдоль него и пальцы 34 западают в проточки 13 и 14.

Повторение цикла в любом направлении выполняется автоматически.

Конструкция позиционера отличается относительной простотой при возможности автоматической смены координаты затормаживания. Применение жестких упоров исключает колебательные процессы при управлении положением, повышая производительность. Инерционные перебеги штока компенсируются возвратным движением схвата, который крепится на подвижном относительно штока кольце. При этом возврат схвата пропорционален инерционному перебегу из-за обеспечения кинематической связи штока с кольцом, на котором крепится схват, выполненной в виде зубчато-реечной передачи при обеспечении возможности жесткой фиксации шестерни и расфиксации кольца. Это повышает точность позиционирования конструкции.

Конструкция манипулятора с самокоррекцией координаты затормаживания изображена на рис. 70. Манипулятор с захватом смонтирован на направляющих с возможностью линейного перемещения относительно устройства поштучной выдачи деталей. Направляющие и устройства поштучной выдачи закреплены на неподвижном основании. Устройство выдачи содержит лоток для размещения в нем детали и кронштейны для крепления штуцеров с соплом и дросселей. Штуцеры с дросселями соединены последовательно. Дроссели соединены, в свою очередь, энергомагистралями с соответствующими полостями датчика давления мембранного типа. Полости датчика соединены с напорной магистралью через регулятор давления и делитель расхода, связанных последовательно. Штуцеры с соплами установлены в кронштейнах таким образом, что имеют единую осевую, пересекающую плоскости зажимных губок. Шток датчика жестко соединен с усилителем золотникового типа. Золотник энергомагистралями связан с источником энергии и с силовым цилиндром. Шток цилиндра жестко соединен с манипулятором. Датчик, золотник и цилиндр также смонтированы на неподвижном основании. Энергомагистрали соединены с полостями цилиндра через замки типа дроссель с обратным клапаном.

Манипулятор выносит захват в зону взаимодействия с деталью, расположенной в лотке. При этом зажимные губки захвата пересекают ось, вдоль которой на кронштейнах

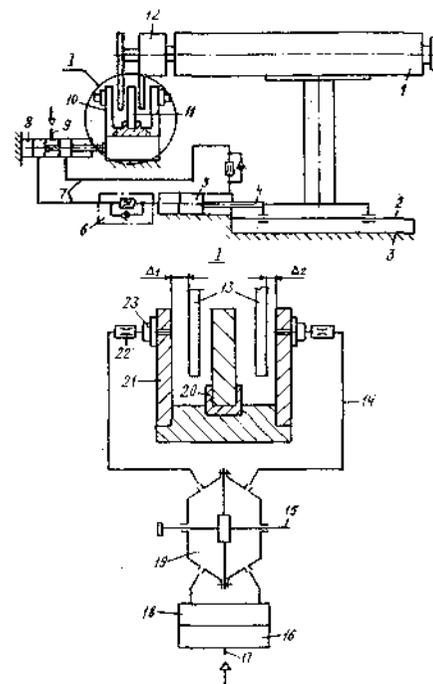


Рис. 70. Конструкция манипулятора: 1 — манипулятор; 2 — направляющая; 3 — основание; 4, 15 — шток; 6 — дроссель с обратным клапаном; 7, 9, 14, 17 — энергомагистраль; 8 — золотник; 10 — устройство выдачи; 11 — деталь; 12 — схват; 13 — губки зажимные; 16 — регулятор давления; 18 — делитель расхода; 19 — датчик давления; 20 — лоток; 21 — кронштейн; 22 — дроссель; 23 — штуцер

смонтированы штуцеры с соплами для подачи струи сжатого воздуха к зажимным губкам. Расход воздуха регулируется посредством дросселей, а давление — регулятором.

Если захват вышел к детали с погрешностью и расстояния от наружных поверхностей зажимных губок до торцов штуцеров с соплами не равны, то возникает перепад давления в полостях датчика, из-за которого возникает движущая сила на ведомом элементе. Последний смещается, так как связан с мембраной датчика, увлекая за собой плунжер золотника. При этом одна из магистралей сообщается с напорной магистралью, а другая —

разгружается. Шток цилиндра смещается вместе с манипулятором, компенсируя погрешность предварительной настройки. Зажимные губки выставляются симметрично относительно детали. Теперь при ее зажиме исключена возможность деформации как зажимных губок захвата, так и непосредственно детали.

Для экономии расхода энергии допустимо в напорную магистраль встроить логический элемент, связанный с единым управляющим устройством.

Замки обеспечивают жесткую фиксацию штока цилиндра посредством герметизации его полостей.

Применение следящей конструкции упрощает настройку взаиморасположения элементов в комплексе, которая выполняется в автоматическом режиме, на что достаточно затратить лишь первый цикл, в процессе выполнения которого устанавливаются требуемые параметры; снижает общую трудоемкость эксплуатации, в процессе которой неоднократно выполняются переналадки; сокращает подготовительно-заключительное время, что обеспечивает рост производительности производственного процесса; сокращает затраты на программирование работы манипулятора.

### 8.2.1. Методика расчета

Эффективность разработки средств автоматизации зависит от многочисленных факторов, регламентирующих производственный процесс. В табл. 5 приведена совокупность зависимостей для комплексного расчета параметров роботизированной позиции (в общем случае роботизированного технологического комплекса).

Далее приводим зависимости, дополняющие табл. 5:  
 $\Delta_{\text{пр}} = 0,06 - 0,101v + 0,233v^2 + 3,853v^3 - 10,713v^4 + 10,310v^5 - 2,328v^6 - 4,832v^7 + 8,053v^8 - 5,055v^9 + 3,211v^{10} - 4,225v^{11} + 0,817v^{12} - 1,314v^{13} + 1,089v^{14} + 4,313v^{15} + 0,103v^{16} - 3,233v^{17} + 0,462v^{18}$ ,  
 $\Delta_{\text{обр}} = 0,410 + 2,963v - 22,668v^2 + 46,181v^3 - 37,082v^4 + 10,541v^5$ ,

где  $\Delta_{\text{пр}}$ ;  $\Delta_{\text{обр}}$  — погрешности позиционирования механизмов манипулятора при прямом и обратном ходах. Формулы  $\Delta(v^N)$  могут быть применены для расчета цикловых исполнительных механизмов с пневмоприводом, движущихся по жестким упорам типа ходовой винт — гайка. Манипуляторами подобного типа являются модели Бриг-10 (10Б), РФ-1 (2).

### 5. Зависимости для расчета

№ пп	Наименование	Обозначение	Единица измерения	Формула
1	2	3	4	5

- Фактическая...производительность комплекса  $Q_{\text{ф}}$  шт./мин
- Технологическая производительность комплекса  $Q_{\text{с}}$  шт./мин
- Коэффициент производительности  $\eta$
- Длительность рабочего цикла технологического оборудования  $T_{\text{р}}$   $T_{\text{р}} = T_{\text{п}}$
- Длительность вынужденных рабочих ходовосновного технологического оборудования  $t_{\text{н}}$  с
- Угол наклона практической кривой времени выполнения рабочих ходов
- Коэффициент использования
- Длительность переналадок комплекса  $T_{\text{пер}}$  мин
- Количество одновременно обрабатываемых деталей  $p$  шт
- Размер партий деталей  $a$  шт.
- Длительность позиционирования (быстродействие) манипулятора, содержащего механизмы

дитель-изводи-плекса

$$i \text{ тр} / T_{\text{р}} = C_{\text{тг}} \text{ар}$$

Определяется при кинематическом расчете

Назначается ориентировочно из опыта эксплуатации подобного обо-

транспорти-Целесообразно принимать от 1 до 3

Назначается исходя из технологических потребностей

$T_{\text{п}}$  с

возвратно-поступательного действия

$$\frac{\sum_{i=1}^q \sqrt[3]{G_i} + \sum_{j=1}^k \sqrt[3]{G_j}}{\sqrt{\Delta}}$$



1	2	3	4	5
	возвратно-поворотного действия			
				$\frac{\sum_{i=1}^q \sqrt{\varphi_i} \sqrt[3]{I_{\text{сум.}i}} + \sum_{j=1}^k \sqrt{\varphi_j} \sqrt[3]{I_{\text{сум.}j}}}{0,25 \sqrt[4]{\Delta}}$
	совокупность перечисленных механизмов			
				$0,25 \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt[3]{G_i} + \sum_{n=1}^{q-n} \sqrt{\varphi_n} \sqrt[3]{I_{\text{сум.}n}}}{0,25 \sqrt[4]{\Delta}} +$ $0,25 \frac{\sum_{j=1}^p \sqrt[3]{G_j} + \sum_{p=1}^{k-p} \sqrt{\varphi_p} \sqrt[3]{I_{\text{сум.}p}}}{0,25 \sqrt[4]{\Delta}}$

- / 12. Число подвижностей Манипулятора Определяется из конструктивных особенностей, Обусловленных технологической необходимостью
- 13. Число подвижностей Захвата к — 1
- 14. Масса ведомых частей манипулятора G<sub>i</sub> кг
- 15. Масса ведомых частей захвата G<sub>j</sub> кг
- 16. Угол поворота ведомого звена манипулятора (захвата) φ<sub>i</sub> (φ) град. Конструктивный может быть рассчитан и ориентировочно с последующим уточнением.
- 17. Суммарный приведенный момент инерции ведомых звеньев манипулятора (захвата) (∑/∑) кг.м<sup>2</sup>
- 18. Погрешность позиционирования ▲ мм Определяется ской необходимостью импуль-
- 19. Частота следования сов переключения исполнительных механизмов манипулятора и захвата f Гц 
$$\frac{2t(o+K1)}{Tп+2t(q+k)}$$
- 20. Быстродействие системы управления t Определяется при расчёте или исследовании системы управления
- 21. Скорость движения исполнительных механизмов
- 22. Расход сжатого воздуха для обеспечения требуемого скорост-

1	2	3	4	5
	ного режима работы манипулятора			Q, м <sup>3</sup> /мин Назначается в зависимости от имеющейся аппаратуры
			d мм	
	23. Условный проход золотникового распределителя			
	24. Рабочее давление того воздуха	p МПа		p <sup>сж</sup> 6,3
	25. Диаметр цилиндра исполнительного механизма манипулятора	D мм		D(d; p)

Расходные характеристики направляющей аппаратуры, выполненной в виде золотниковых распределителей, могут быть получены по следующей формуле Q = ad + b. Зависимости диаметра цилиндра от параметров управляющих устройств D(d; p) также носят линейный характер. Однако расчеты справедливы только для диаметров проходной части распределителя от 5 до 11 мм. Коэффициенты a; a<sub>f</sub> и b; b<sub>i</sub> определяются по табл. 6.

### 6. Значения коэффициентов

Параметр	Рабочее давление, МПа				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
a	0,050	0,067	0,076	0,091	0,094
b	0	0	0,061	0,044	0,183
a <sub>f</sub>	2,804	2,571	2,054	1,161	1,732
b <sub>i</sub>	10,929	19,429	26,715	28,286	35,358

С целью снижения трудоемкости расчетов предлагается их выполнять на ЭВМ, что позволяет автоматизировать процесс вычислений и производить сравнение полученных при этом ряда вариантов.

Рассмотрим программу расчета на ЭВМ длительности позиционирования манипулятора с приводами возвратно-поступательного перемещения, весьма широко применяемых в машиностроительной практике.

Блок-схема программы, расчета приведена на рис. 71. Следует учесть, что исходные данные могут быть изменены при неизменном алгоритме расчета и беспрепятствен-

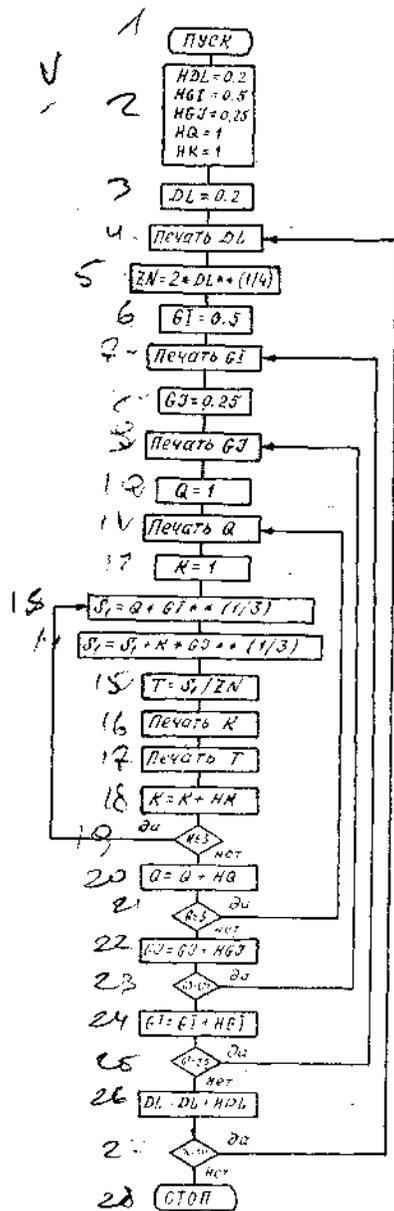


Рис. 71. Блок-схема расчета длительности позиционирования манипулятора на ЭВМ

но введены в программу сменой соответствующих перфокарт. Для этой цели исходным переменным присваиваются соответствующие значения и образуется двумерный массив данных  $G_i$ ;  $G_j$ ;  $A$  согласно значениям  $G_{ij}$   $G_f$ ,  $D$ . Переменные  $q$  и  $k$  описываются в программе как целые.

Массивы  $G_i$ ,  $G_j$ ;  $A$  имеют одинаковый формат и выводятся по формату 5F4.1. Коэффициент 5 соответствует количеству элементов массива, а индекс F4.1 означает, что число занимает четыре позиции вместе с запятой и одним знаком после запятой.

В блок-схеме (рис. 71) организован внешний цикл по  $A$ . При этом производится расчет знаменателя по алгоритмическим данным при первом исходном значении  $A$ . Значение  $A$  регистрируется на алфавитно-цифровом печатающем устройстве.

Далее следуют циклы по  $G_j$ ;  $G_i$ ;  $Q$  с выводом значений  $G_i$ ;  $G_j$ ;  $q$  на печать. Первый внутренний цикл по  $k$  вычисляет знаменатель исходной формулы, значение  $T_n$  и передает на печать величины  $k$  и  $T_n$ . Все циклы последовательно закрываются. Исходные данные перфорируются для трех массивов на трех отдельных перфокартах с первой позиции согласно формату. Напри-

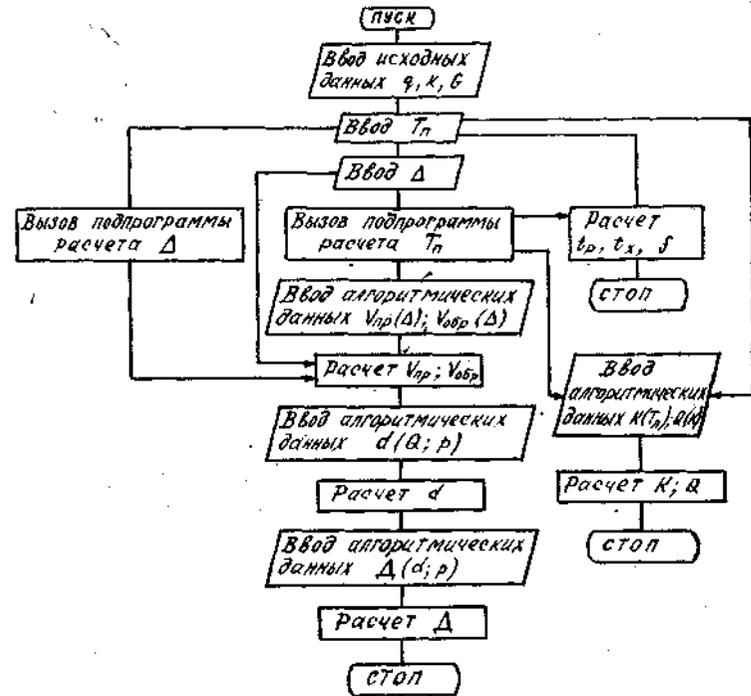


Рис. 72. Блок-схема расчета параметров роботизированного комплекса на ЭВМ.

мер, на карте с данными для массива  $A$  (5) необходимо отперфорировать: 0. 2 0. 4 0. 6 0. 8 1 0.

Перфокарты с данными идут в программе за управляющей картой //EXEC. Затем следует признак /\* — конец данных и / — конец задания.

В дальнейшем, вычисленные значения  $T_n$  используются в подпрограммах расчета технологической  $K$  и фактической  $Q.I$ , производительности, частоты следования тактовых импульсов управляющего устройства, кинематических параметров основного технологического оборудования.

В блок-схеме расчета конструктивных параметров комплекса, (рис. 72) предусмотрена возможность задавать значения  $T_n$  и  $A$ , определяемые технологической необходимостью, или при отсутствии этих данных в виде исходных производить соответствующие расчеты на ЭВМ.

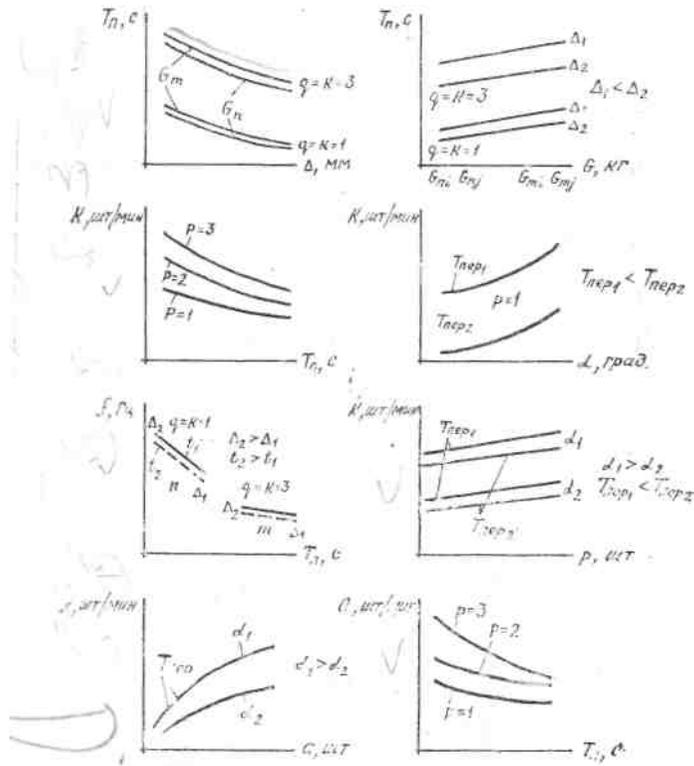


Рис. 73. Зависимости, которые можно построить при обработке результатов расчета роботизированного комплекса

Печать расчетных данных и их сопоставление с исходными выполняется в виде таблиц. Анализ таблиц позволяет построить следующие зависимости (рис. 73).  $T_n(\Delta)$ ;  $T_n(G)$ ;  $K(T_n)$ ;  $K(a)$ ;  $f(T_n)$ ;  $f(t)$ ;  $K(p)$ ;  $K(a)$ ;  $Q_f(T_n)$ , а также временные гистограммы (рис. 74) работы комплекса, по которым становятся известными резервы времени в общем фонде затрат на обработку деталей одного типоразмера. Выявленные резервы времени используются для обработки деталей иных типоразмеров при соответствующей переналадке комплекса. В исходных данных отражаются параметры управляющего устройства  $d(p)$ , манипулятора  $D(p)$ . Возможно предусмотреть графическое

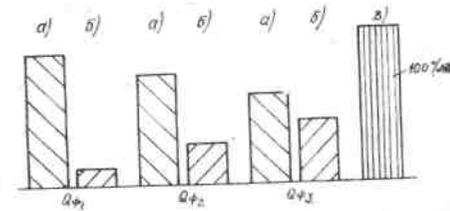


Рис. 74. Гистограмма работы роботизированного технологического комплекса: а — затраты времени на обработку годовой программы деталей; б — резерв времени; в — действительный фонд рабочего времени

отображение данных зависимостей с учетом всех переменных параметров.

Конструктор, имея информацию о параметрах комплекса и его элементах, может приступить к проектированию. Табличное представление расчетных параметров и графическое изображение требуемых зависимостей является справочным пособием по проектированию. Конструктору нет необходимости выполнять сложные и многовариантные расчеты. Производится просмотр ориентировочно выполненных расчетов и после уточнения исходных данных и корректировки перфокарт выполняются окончательные расчеты.

Предварительное опробование методики обоснования параметров роботизированных технологических комплексов показало необходимость приведения исходных зависимостей к единой графической схеме [5]. Удобство пользования схемой в наглядности представления комплексной информации и в том, что нет необходимости производить вычисления, которые заменены логическими оценками и корректировкой.

### 8.3. Захватное устройство

Специфика циклов работы манипулятора переносе изделий между транспортными средствами и загрузке корпусов на начальной позиции требует для выполнения функций их фиксации угловую координатную ориентацию захватных элементов относительно базовых поверхностей

корпусов изделий. Иными словами должно быть обеспечено плоскопараллельное движение зажимных губок схвата в зонах расположения корпусов или непосредственно изделий. При этом должна быть создана кинематическая подвижность опоры захватных элементов относительно руки манипулятора, что реализуется вращательной парой. Конструктивная схема захватного устройства изображена на рис. 75. На руке манипулятора смонтирована стойка с шарнирной опорой рычага, к концам которого прикреплены захватные элементы. Концы рычага, кроме того, кинематически связаны один со штоком поршневого привода, а другой с якорем соленоида. Корпусы поршневого привода и соленоида кинематически связаны со стойкой, которая соосна руке манипулятора. Привод соединен с энергосистемой

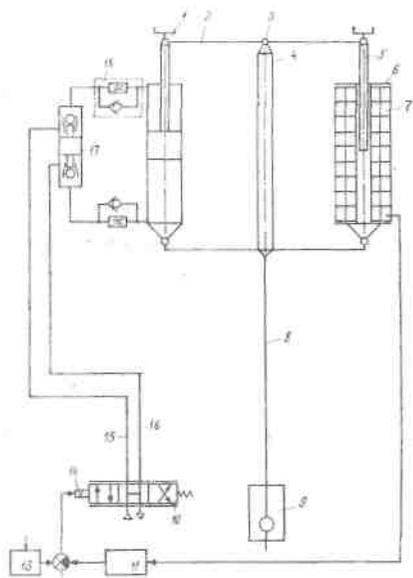


Рис. 75. Захватное устройство: 1 — элемент захватный; 2 — рычаг; 3 — опора шарнирная; 4 — стойка; 5 — якорь; 6 — соленоид; 7 — обмотка; 8 — рука; 9 — манипулятор; 10 — золотник следящий; 11 — усилитель; 12 — блок суммирования сигналов; 13 — блок управления; 14 — обмотка электромагнита следящего золотника; 14, 15 — энергоматрицы; 17 — замок; 18 — регулятор скорости

энергоматрицей и через регуляторы скорости и энергосистемой через золотнико

вый распределитель следящего типа посредством энергоматрицы и через регуляторы скорости и замок. Обмотка электромагнита золотникового распределителя электрически соединена с блоком суммирования сигналов. Последний взаимосвязан с блоком управления и через усилитель с обмоткой соленоида. Блок суммирования выполнен с возможностью вычитания сигнала от усилителя из сигнала блока управления, предварительно заданного программой. посредством захватного устройства производится удержание двух корпусов одновременно в процессе их целенаправленного переноса по ходу технологического процесса. Блок управления выдает командный импульс блоку суммирования сигналов одновременно началом движения руки манипулятора вокруг

своей оси. При этом отсутствует сигнал от измерительной обмотки соленоида и на усилитель и блок суммирования он не поступает. Под воздействием команды от блока управления срабатывает электромагнит и золотниковый распределитель соединяет одну полость поршневого привода с энергосистемой, а противоположную — разгружает. Шток-поршень привода движется и увлекает за собой через вращательную кинематическую пару рычаг. Движение рычага относительно шарнирной опоры, связанной через стойку с рукой манипулятора, происходит в сторону, противоположную вращению руки. Тем самым обеспечивается компенсация относительного смещения продольной оси зажимных элементов с деталями при их вращении манипулятором. Движением рычага обеспечивается линейное перемещение якоря соленоида. В измерительной обмотке соленоида происходит пропорциональное нарастание силы тока, который после усиления компенсирует посредством блока суммирования действие командного сигнала от блока управления. Питание на обмотку электромагнита золотникового распределителя не поступает и последний герметизирует полости поршневого привода. Стабилизацию координатной ориентации привода, а, следовательно, зажимных элементов схвата обеспечивает замок. В процессе движения регулятором может быть задан скоростной режим движения штока-поршня привода.

В процессе движения руки манипулятора в противоположную сторону все операции по плоскопараллельному переносу зажимных элементов повторяются.

Манипулятор, оснащенный подобным захватным механизмом, приобретает универсальные возможности из-за обеспечения плоскопараллельного переноса ведомых элементов независимо от угла поворота руки манипулятора в автоматическом режиме. При этом плавный разгон и безударное торможение штока-поршня привода, приводящего в движение элементы конструкции, также осуществляются автоматически. Автоматическое перепрограммирование параметров цикла, что может выполняться дополнительно к вышеуказанным операциям, приводит к сокращению в нецикловых потерях и обеспечивает рост производительности работы манипулятора в комплексе.

Практическая реализация захватного устройства с вакуумными зажимными элементами может иметь вид согласно рис. 76.

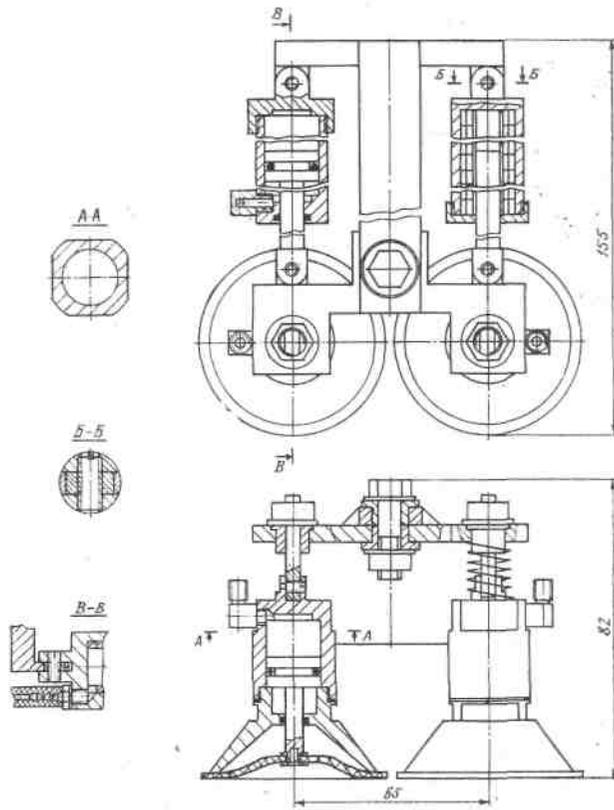


Рис. 76. Захватное устройство с вакуумными зажимными элементами

#### 8.4. Структура и элементы системы управления

Цикл работы роботизированной позиции делится на этапы загрузки цепного конвейера и его разгрузки. Внутри цикла функционируют механизмы накопителя, толкателей и ленточного транспортера. Система управления предназначена для преобразования, формирования и усиления сигналов управления и подачи управляющих сигналов к исполнительным элементам устройств.

В структуре (рис. 77) системы управления выделяются три части. Первая относится к устройству ввода и включает блоки считывания, усиления, формирования, контроля, дешифрации и хранения управляющей информации в памяти. Вторая — к вычислителю и содержит блок задания

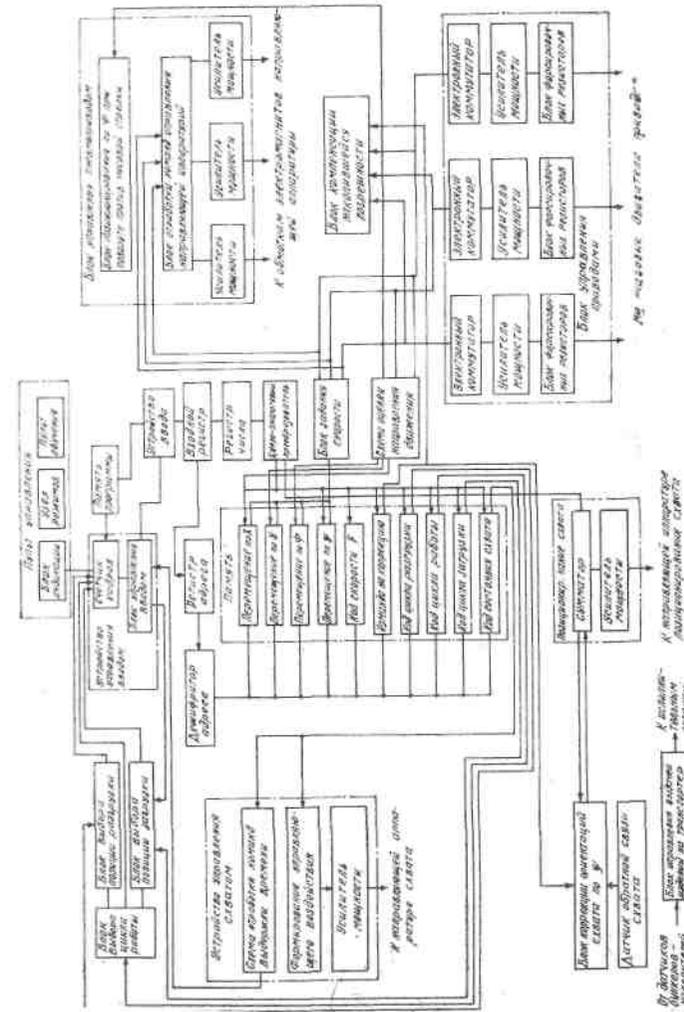


Рис. 77. Функциональная схема системы управления роботизированной позицией перегрузки издедий

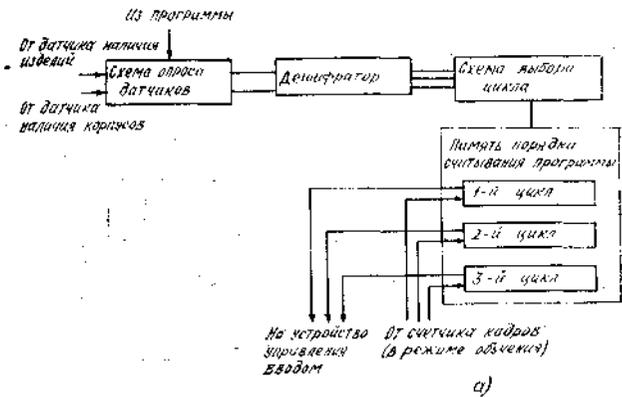
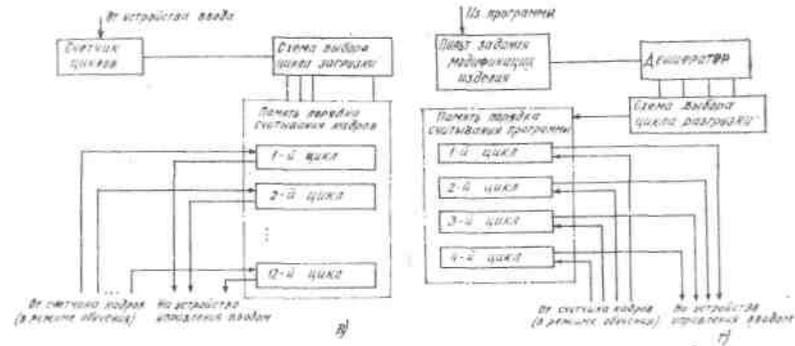
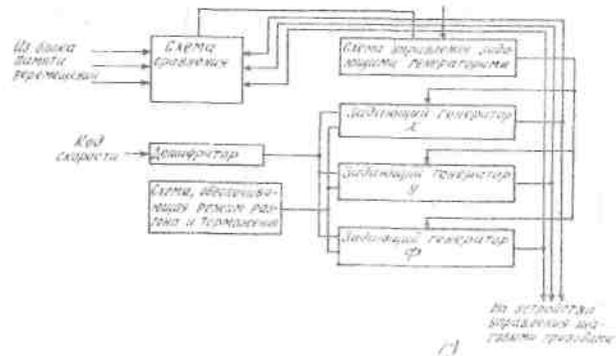


Рис. 78. Функциональные структуры блоков ввода (а), задания скорости (б), выбора циклов загрузки (в), разгрузки (г), аналого-цифрового преобразователя (д), управления выдачей изделий на конвейер (е)

скорости, преобразователь и рабочую память. Третья — это устройство связи с исполнительными приводами и имеет в своем составе коммутаторы и блоки усиления.

Узел ввода (рис. 78а) обеспечивает выбор режима (автоматический, покадровый, ручной ввод программы), прямое или дистанционное управление оборудованием, пуск и остановку по программе, вызов автоматических циклов, управление программносителем, остановку на выбранном кадре, индикацию готовности оборудования к работе.

Задача управления скоростью целевых механизмов манипулятора решается с помощью блока задания скорости (рис. 78б). Он выполнен в виде задающих генераторов, пуск которых осуществляется после окончания считывания кадра, а останов — после того, как количество импуль-



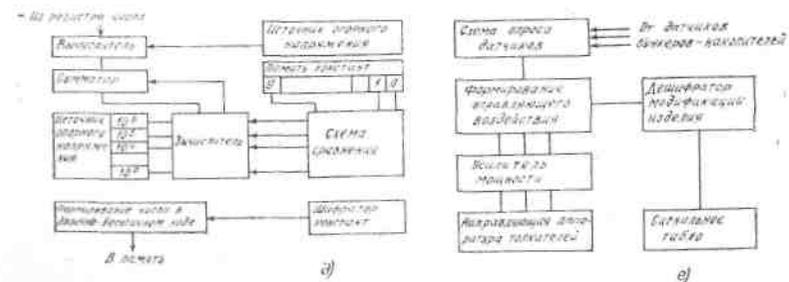
сов, обрабатываемых генератором будет равно числу импульсов, предусмотренных программой. Возможно плавное изменение частоты импульсов с выхода задающих генераторов, чем определяется варьирование скорости исполнительных механизмов, требуемой на конкретном переходе.

Устройство выбора цикла загрузки (рис. 78в) обеспечивает роботизированной позиции двенадцать возможных периодов работы по связи входного накопителя с цепным конвейером, а устройство выбора цикла разгрузки (рис. 78г) организует четыре возможных цикла удаления изделий с цепного конвейера на промежуточные накопители.

В аналого-цифровом преобразователе (рис. 78д) аналоговый десятичный сигнал (потенциал) преобразуется в форму двоичного кода.

Команды на выдачу изделий из промежуточных накопителей на транспортер контроля параметров формируются в блоке управления, представленном на рис. 78е.

В системе управления предусмотрена компенсация накопившейся погрешности и в конце каждого цикла, и в процессе обработки программы.

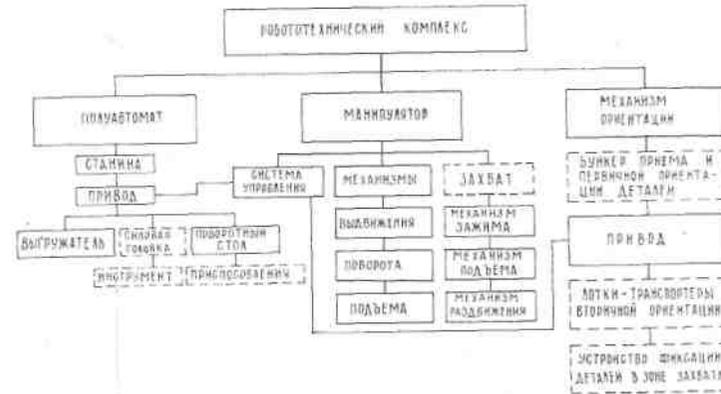


## 9. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ РТК РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЯ

### 9.1. Принципы построения РТК

При создании технологического процесса выбирают метод и последовательность обработки, режущий и мерительный инструменты, установочные технологические базы, способы загрузки и разгрузки деталей. Это так называемая качественная сторона технологического процесса. Количественная сторона предусматривает выбор структуры комплекса, обоснование числа рабочих позиций оборудования, расчет режимов обработки, длительности рабочего цикла, рабочих ходов и ожидаемой фактической производительности.

У оборудования с полуавтоматическим циклом работы важно автоматизировать процессы загрузки и выгрузки деталей разнообразных типоразмеров, контроля качества и межоперационного транспортирования. Автоматизация процесса смены инструмента является наиболее сложной с точки зрения технической реализации и не всегда оправданной. Эту операцию необходимо выполнять в регламентированные перерывы. Из всех работ и функций, выполняемых операторами на металлорежущем оборудовании и подлежащих автоматизации, только целенаправленный перенос деталей при загрузке и выгрузке, передача их со станка на станок и зажим-разжим универсальных токарных патронов могут быть возложены на манипуляционные механизмы. При этом должны соблюдаться следующие условия: полная автоматизация обработки деталей; вспомогательные операции (например, удаление стружки) полностью автоматизированы или исключены; согласование рабочего цикла оборудования и длительности позиционирования манипулятора; дополнительные операции, кроме возложенных на манипулятор, должны быть любым образом автоматизированы или переданы другому комплексу; манипулирование составляет до внедрения средств автоматизации главную нагрузку рабочего; заготовки и инструмент должны быть однозначно позиционированы и ориентированы. При этом манипулятор должен продолжать выполнять свои функции независимо от конфигурации изготавливаемых деталей, для чего допустимы незначительные переналадки его конструкции (смена или переналадка схвата, программы). Аналогичные требования следует распространить и на элементы, работающие в комплексе с манипулятором: метал-



ке при смене типоразмера детали)

лорежущее оборудование, механизмы ориентации и поштучной выдачи деталей. Следовательно, РТК должен быть технологически, конструктивно и организационно подготовлен к выпуску партий деталей требуемых типоразмеров. Вместе с тем время на переналадку  $T_{пер}$  комплекса должно быть минимально. Техническое воплощение отмеченного выше оптимальным образом может быть реализовано на основе агрегатного принципа конструирования. Один из вариантов РТК

7. Параметры и методы перестройки РТК

Изменяемые параметры РТК	Метод изменения параметра	
	замена агрегата	регулировка
Установочные базы приспособления	+	—
Скорость вращения инструмента	+	—
Длительность рабочего цикла	+	—
Инструмент и форма его рабочей части	+	—
Направление рабочей подачи	+	—
Захватные элементы манипулятора	+	—
Величины рабочих перемещений исполнительных механизмов и схвата	—	+
Длительность позиционирования манипулятора	—	+

Рис. 79. Агрегатное построение РТК обработки деталей электроаппаратуры (пунктиром показаны механизмы, которые подвергаются переналад-

Изменяемые параметры РТК	Продолжение	
	Метод измен параметра замена	T
	агрегата	регули

Последовательность выполнения рабочих и холостых перемещений	—	+
Форма рабочей части лотка-накопителя	+	—
Форма рабочей части устройства для поштучной выдачи деталей	+	—
Производительность поштучной выдачи деталей	+	—
Форма рабочей чаши бункера	—	+
Изменение взаиморасположения элементов комплекса (позиционирование)	—	+

лежит часть агрегатов комплекса. У полуавтомата меняются установочные приспособления, инструмент, выставляются на требуемый размер силовые головки. Число последних может быть увеличено или уменьшено в зависимости от параметров технологического процесса. Направление рабочей подачи обусловлено горизонтальным или вертикальным исполнением силовых головок. Длительность рабочего цикла полуавтомата и скорость вращения инструмента задаются сменными узлами привода. При перестройке манипулятора сменяется хват, задается рабочая программа, размерная информация и длительность позиционирования. Основную часть составляют регулировочные работы. Механизм ориентации в большой степени подвергается перестройке. Неизменными остаются основание и привод. Быстрота переналадки обеспечивается унифицированными зажимными элементами и взаимозаменяемыми посадочными местами. Отличительной особенностью РТК является необходимость в устройствах изменения (регулировки) взаиморасположения элементов: полуавтомата, манипулятора, схвата, механизма ориентации, устройства для поштучной выдачи. Причем в комплексе, объединяющем  $n$  элементов, регулировочные устройства необходимо предусмотреть  $(n-1)$  элементе. Универсальность РТК за счет использования переналаживаемых и регулируемых технических средств ведет к росту коэффициента загрузки и предотвращению морального старения комплекса. Таким образом, коэффициент  $A$  технического агрегати-

рования РТК, вычисленный отношением числа агрегатных изменений параметров  $a$ , к общему числу изменений со, необходимых для переналадки в пределах групповой технологии, равен 0,623. Этот параметр показывает удовлетворительную способность РТК к переналадкам.

Принципиальные схемы РТК резбонарезания и циклограммы их работы приведены на рис. 80. Одна из позиции делительного стола полуавтомата в зоне, где производится механическая обработка, используется для автоматической загрузки приспособления. Детали после механической обработки выбрасываются из приспособления в специальный контейнер. В устройство для поштучной выдачи детали поступают из механизма ориентации. Манипулятор загружает детали в приспособление полуавтомата.

Установлено, что повысить производительность РТК резбонарезания возможно совмещением отдельных движений манипулятора и схвата и сокращением длительности позиционирования; увеличением числа одновременно обрабатываемых деталей; введением дополнительных исполнительных механизмов аналогичной конструкции, но цикл работы которых сдвинут по фазе; увеличением числа параллельных потоков.

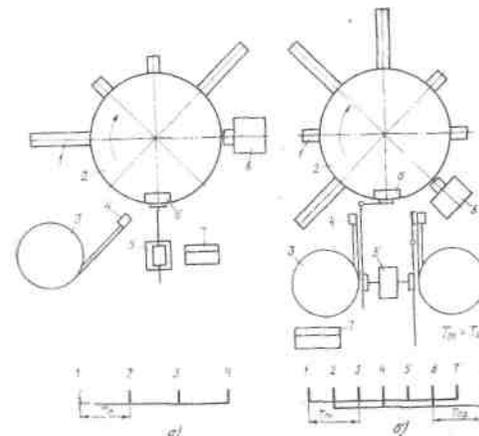


Рис. 80. Схемы автоматической загрузки и разгрузки деталей в полуавтомат резбонарезания с использованием манипулятора и циклограммы их работы: 1—головка силовая; 2 — полуавтомат; 3 — механизм ориентации; 4 — устройство для поштучной выдачи деталей; 5 — манипулятор; 6—приспособление; 7 — система управления; 8 — тара приема готовых деталей

Первые два резерва повышения производительности имеют ограничения. Число совмещаемых движений не может превышать, как правило, двух, а количество одновременно загружаемых деталей — трех. В схеме с параллельными потоками допустима обработка одновременно не более двух деталей, в каждой из которых не более одного отверстия. Это ограничивает функциональные возможности РТК-

Наиболее прогрессивным является вариант с введением дополнительных исполнительных механизмов и сдвинутым по фазе циклом работы (рис. 80б). Манипулятор по данной схеме оснащен двумя схватами, каждый из которых способен транспортировать от 1 до 3 деталей одновременно, что дает двойной выигрыш производительности по сравнению с РТК, оснащенным одним схватом (рис. 80а) при прочих равных условиях.

### 9.1.1. Основное технологическое оборудование

Выбор кинематики основного технологического оборудования диктуется двумя основными факторами: технологическим назначением, определяющим вид технологических перемещений, и принятой системой управления, которая определяет характер взаимодействия управляющих механизмов и устройств.

В основу технологии изготовления анализируемых деталей положены резбонарезные и опилоочные операции. Для обработки каждого отверстия или поверхности корпусной детали, требующей, как правило, индивидуальный инструмент, предусматривается рабочая позиция. С точки зрения эффективности и рациональности переналадок рекомендуется индивидуальный приводной механизм на каждый инструмент, выполненный в виде силовой головки и с возможностью регулировочных перемещений относительно обрабатываемых деталей. Указанное решение приводит к тому, что деталь последовательно перемещается от позиции к позиции. Количество позиций  $z$  основного технологического оборудования с учетом всевозможных вариантов переналадок определяется следующим образом. Максимальное количество одновременно обрабатываемых деталей  $p$  не превышает трех. В каждой детали соответствующего типоразмера имеется  $n$  резьбовых отверстий. В деталях электроаппаратуры  $n$  изменяется от 1 до 4. Необходимо предусмотреть  $z_{всп}$  вспомогательных позиций для загрузки, разгрузки деталей и очистки приспособлений. Таким образом,  $z = pn + z_{всп}$ .

Полученный результат корректируется до величины, обусловленной удобствами кинематических и конструктивных разработок.

Для групповой обработки деталей достаточно оснастить основное технологическое оборудование механизмами, осуществляющими смену позиций, фиксацию поворотного стола на период обработки, вращение инструмента в прямом и обратном направлениях, его рабочую подачу и холостой ход, выброс обработанных деталей из приспособлений.

Опиловка корпусных деталей и снятие облоя осуществляются силовыми головками, выполненными в виде цилиндров, причем инструмент крепится к штоку цилиндра. Каждый цилиндр управляется распределителем, который получает командные импульсы от конечных выключателей, взаимодействующих с распределительным валом.

Полуавтомат резбонарезания комплектуется приспособлениями для установки деталей. При проектировании учитываются следующие данные: количество одновременно обрабатываемых деталей, их установочные поверхности, конфигурация, способы закрепления и извлечения деталей из приспособления, удобство наладки и минимальная трудоемкость смены. Для разных типоразмеров деталей приспособления выполняются на единой опоре. Циклограмма работы манипулятора может быть построена на основе последовательного срабатывания исполнительных механизмов без использования совмещений рабочих и холостых перемещений или с их совмещениями. Последний вариант содержит резервы повышения производительности. Следовательно, по мере совершенствования конструкций и непосредственно показателей технологического процесса следует увеличивать быстроходность манипулятора совмещениями перемещений исполнительных механизмов и повышением скоростей их перемещения. В связи с этим в конструкциях основного технологического оборудования предусматриваются элементы настройки, позволяющие корректировать длительность рабочего цикла при неизменных рациональных режимах обработки. Для определения цикловой и фактической производительности и установления резервов их повышения проанализируем рабочий цикл полуавтомата, в течение которого выполняется технологический процесс обработки деталей. В рабочий цикл (промежуток времени, по истечении которого положения рабочих органов повторяются)  $T_p$  входит время  $t_p$ , затрачиваемое на нарезание резьбы и вывинчивание метчика, и  $t_x$ , затрачиваемое на поворот стола и подвод силовой головки  $T_p = t_p + t_x$ . 115

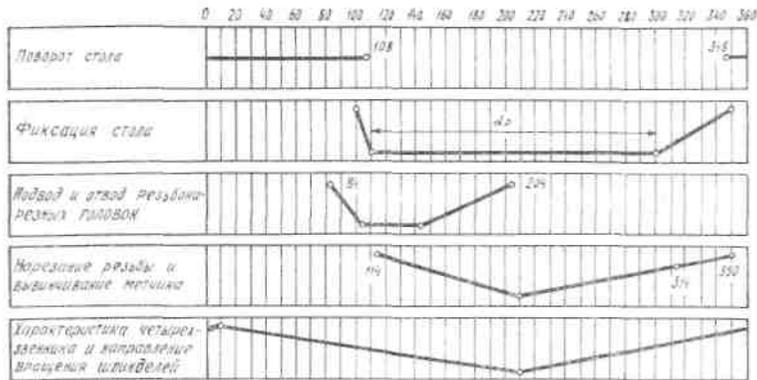


Рис. 81. Циклограмма работы механизмов полуавтомата в углах поворота распределительного вала

Согласно циклограммы работы полуавтомата (рис. 81) рабочий процесс осуществляется за поворот распределительного вала на  $\alpha_p = 200^\circ$ . При повороте последнего оставшиеся  $\alpha_x = 160^\circ$  имеют место цикловые потери. Распределительный вал и кривошип полуавтомата вращаются с равными скоростями. Следовательно, по известному количеству радиальных пазов  $z$  мальтийского креста, создающему дискретность вращению, и известной скорости вращения  $n_{кр}$  кривошипа возможно вычислить абсолютные значения параметров  $t_p$  и  $t_x$  (см. Первицкий Ю. Д. Расчет и конструирование точных механизмов. Л.: Машиностроение, 1976. — С. 456)

$$t_p = \frac{z \cdot \alpha_p}{2 \pi n_{кр}}; \quad t_x = T_p - t_p$$

Непосредственно длительность рабочего цикла  $T_p$  и цикловая производительность  $Q_u$  полуавтомата равны

$$T_p = \frac{60}{n_{кр}}, \text{ с}; \quad Q_u = \frac{z}{T_p}, \text{ шт./мин.}$$

Изменение скорости вращения кривошипа  $n_{кр}$  с 10 до 30 об/мин (этот параметр образуется из характеристик кинематики полуавтомата) позволяет варьировать рабочий цикл с 2 до 6 с (рис. 82). Цикловая производительность (рис. 83) полуавтомата может меняться с 10 до 20 шт./мин при загрузке одной, с 20 до 40 шт./мин — при одновременной загрузке двух и с 30 до 60 шт./мин — при одновременной загрузке трех деталей в приспособление в зависимости от рабочего цикла.

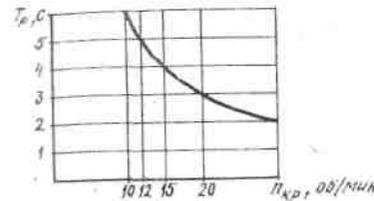


Рис. 82. Зависимость рабочего цикла  $T_p$  полуавтомата от скорости  $n_{кр}$  вращения кривошипа мальтийского креста

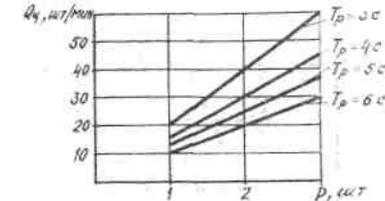


Рис. 83. Зависимость цикловой производительности  $Q_u$  от количества  $p$  одновременно загружаемых в приспособлении деталей

Технологическую производительность  $K$  и коэффициент производительности  $\eta$  определим [10] по формулам

$$K = \frac{p}{t_p}, \text{ шт./мин.}; \quad \eta = \frac{Q_u}{K}$$

На основании расчетов построены графики взаимозависимости времени рабочего цикла с его составляющими (рис. 84) и цикловой производительности от технологической (рис. 85). Расчеты подтверждают возможность полуавтомата работать с разной длительностью рабочего цикла, а также использование приема загрузки деталей через позицию, увеличивая тем самым время цикла вдвое. При среднем соотношении времени холостых и рабочих ходов 0,55 можно менять цикловую и технологическую производительность изменением количества одновременно загружаемых в приспособление деталей соответственно 10 до 60 шт./мин и с 18,02 до 107,91 шт./мин. Для этого не требуется кинематических изменений в полуавтомате, а используется лишь возможность конструктивного исполнения в приспособлении трех пазов для установки деталей. В зависимости, от необходимости и технических возможностей приспособление может загружаться не полностью.

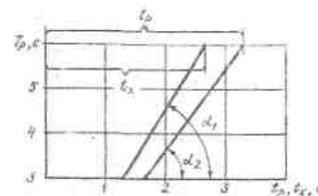


Рис. 84. Взаимосвязь времени выполнения рабочего процесса  $t_p$ , цикловых потерь  $t_x$  и рабочего цикла  $T_p$

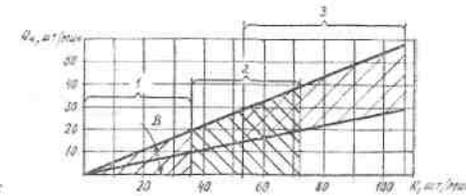


Рис. 85. Взаимосвязь цикловой  $Q_u$  и технологической  $K$  производительности полуавтомата

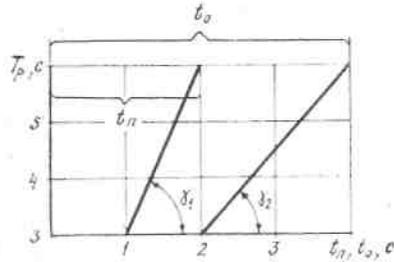


Рис. 86. Взаимосвязь времени выстоя  $t_0$  стола, его поворота  $t_n$  и рабочего цикла  $T_p$

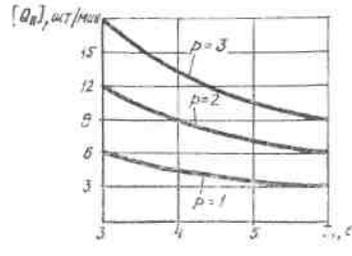


Рис. 87. Зависимость  $[Q_n]$  ( $T_p$ ) при загрузке одной, двух и трех деталей в приспособление

Вместе с тем длительность рабочего цикла  $T_p$  полуавтомата складывается из времени выстоя стола  $t_0$  и времени его поворота  $t_n$

$$T_p = t_0 + t_n.$$

Соотношение между слагаемыми рабочего цикла полуавтомата зависит от кинематических параметров мальтийского креста и скорости вращения кривошипа, осуществляющих поворот стола с приспособлениями. Стол неподвижен при движении кривошипа вне связи с мальтийским крестом и поворачивается на угол  $2\alpha_c$ , соответствующий повороту в зацеплении кривошипа на угол  $2\alpha_{кр}$ . Характеристики времени выстоя  $t_0$  и поворота  $t_n$  стола вычислим известными методами с привлечением циклограммы (рис. 81) работы механизмов. Результаты расчетов представлены в табл. 8 и на рис. 86.

За время выстоя  $t_0$  стола осуществляется загрузка манипулятором приспособления.

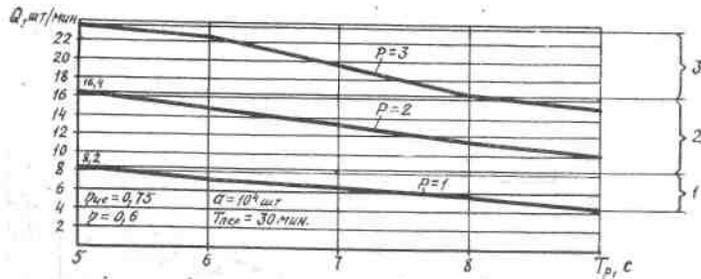


Рис. 88. Зависимость фактической производительности  $Q, j$  от длительности рабочего цикла  $T_p$  при загрузке одной или одновременно двух и трех деталей: 1 — годовая программа деталей одного типоразмера может быть выполнена двумя РТК; 2 — годовая программа выполняется при работе одного РТК; 3 — годовая программа деталей двух типоразмеров обрбатывается одним РТК

### 8. Исходные данные и расчетные значения временных составляющих рабочего цикла полуавтомата

z	$n_{кр}$	$2\alpha_c$	$2\alpha_{кр}$	$T_p$	$t_0$	$t_n$
шт.	об/мин	град.		с		
16	10	22,5	120	6	4,00	2,00
	12			5	3,33	1,67
	15			4	2,67	1,33
	20			3	2,00	1,00

### 9. Баланс производительности полуавтомата

$T_p$	P	K	$Q_u$	$Q_{пц}$	$[Q_n]$	$Q_{ф}$
с	шт.	шт./мин				
6	1	18,02	10	8,02	3,00	7,00
	2	36,04	20	16,04	6,00	14,00
	3	54,06	30	24,06	9,00	21,00
5	1	21,59	12,05	9,54	3,61	8,44
	2	43,19	24,10	19,09	7,23	16,87
	3	64,78	36,15	28,63	10,84	25,31
4	1	27,03	14,93	12,10	4,48	10,45
	2	54,05	29,86	24,19	8,96	20,90
	3	81,08	44,78	36,30	13,43	31,35
3	1	35,97	20	15,97	6,00	14,00
	2	71,94	40	31,94	12,00	28,00
	3	107,91	60	47,91	18,00	42,00
6	1	35,97	10	25,97	3,00	7,00
	2	71,94	20	51,94	6,00	14,00
	3	107,91	30	77,91	9,00	21,00

В табл. 9 приведены параметры полуавтомата, позволяющие сделать заключение о балансе производительности. В расчетах принято, что допустимые внецикловые потери  $[Q_n]$  не превышают 30% цикловой производительности  $Q_d$  полуавтомата. Разность  $Q_{ми} = K - Q_n$  определяет цикловые потери. На рис. 87 показана взаимосвязь допустимых внецикловых потерь  $[Q_n]$  и рабочего цикла  $T_p$  для разного количества  $p$  одновременно загружаемых деталей.

Анализом выявлена зависимость фактической производительности  $Q < j$ , от длительности рабочего цикла  $T_p$ , в которой учтено количество загружаемых в приспособление деталей (рис. 88). При загрузке в приспособление одной детали и рабочем цикле более 5 с на выпуск годовой программы деталей одного типоразмера необходимо настроить два РТК. В случае обеспечения надежной работы ком-

плекса с рабочим циклом в 5 с годовая программа будет выполнена одним РТК при загрузке одной детали. Такой же результат имеет место при одновременной загрузке двух деталей и рабочем цикле от 6 до 9 с. Загрузка одновременно двух деталей в комплексе с рабочим циклом от 5 до 8 с позволит одним РТК с соответствующими переналадками обработать годовую программу деталей двух типоразмеров.

Второй вариант (рис. 88) перспективнее, ибо при его реализации имеются не только два пути технического развития РТК, но и резервы времени (рис. 74), которые с ростом фактической производительности также увеличиваются. Их можно использовать для обработки деталей тех типоразмеров, которых на изделие требуется в два раза больше.

Методы расчета режимов обработки и непосредственно от них зависящих кинематических параметров полуавтомата резьбонарезания приведены в табл. 10.

### 10. Параметры режимов резьбонарезания и сверления и кинематики оборудования

Наименование параметра	Вид	
	сверление	резьбонарезание
1	2	3
Скорость резания $V$ , м/мин	$\frac{C_v d^{q_v}}{T^m t^{x_v} S_{cv}^{y_v}} K_v$	$\frac{C_v d^{q_v}}{T^m S_p^{y_v}} K_v$
Частота вращения инструмента $n_v$ , об/мин	$\frac{1000 V}{\pi d}$	
Мощность, затрачиваемая на резание $N$ , кВт	где $M$ —крутящий момент на инструменте	

$C_m$  — постоянная скорости;  
 $d$  — диаметр отверстия (резьбы), мм;  $T$  — период стойкости сверла (метчика), мин.;  $S_{cv}$  — подача при сверлении, мм/об;  
 $S_p$  — шаг нарезаемой резьбы, мм;  
 $t$  — глубина резания при сверлении, мм;  $K_m$  — поправочный коэффициент, учитывающий обрабатываемый и инструментальный материал и качество сверления или точность нарезаемой резьбы;  $n, x, y, v$  — показатели степени.

Продолжение

1	2	3
Крутящий момент на инструменте $M$ , Нм	$C_m d^{q_m} S_{cv}^{y_m} M K_p$	$C_m d^{q_m} S_p^{y_m} K_p$
	где $K_p$ — поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала; $C_m$ — постоянная момента; $C_m, y_m$ — показатели степени.	
		$\frac{1}{n} N$

где  $m$ ) — к. п. д. трансмиссии

Эффективная мощность двигателя  $I_{дв}$ , кВт  
 Частота вращения двигателя  $n_{дв}$ , об/мин  
 Передаточное отношение цепи привода вращения инструмента  $i_i$   
 Длительность обработки детали (для случая равенства затрат времени на рабочие и холостые ходы)  $t_p$ , мин.

оборудования Паспортные

$\frac{\pi d n_{дв}}{1000 V}$

$\frac{2 L i_1}{c_s n_{дв}}$        $\frac{2 L i_1}{S_p n_{дв}}$

Рабочий ход инструмента  $L$ , мм ин-  $h + h_1 + h_3$   
 где  $h$  — толщина детали, мм;  
 $h_1$  — ход инструмента до начала процесса обработки, мм;  
 $h_3$  — длина заходной части инструмента, мм.

Передаточное отношение цепи привода смены позиции  $i_2$   $\frac{n_{дв}}{n_{кр}}$

Частота вращения кривошипа мальтийского механизма  $n_{кр}$ , об/мин  
 $\frac{30(z-1) S_{cv} n_{дв}}{(T_p S_{cv} n_{дв} - 2L i_1) z}$        $\frac{30(z-1) S_p n_{дв}}{(T_p S_p n_{дв} - 2L i_1) z}$

В устройстве смены позиции полуавтомата применен мальтийский крест, однако данное решение не является однозначным и имеет несколько вариантов.

Названные характеристики основного технологического оборудования, встраиваемого в РТК, целесообразно сопо-

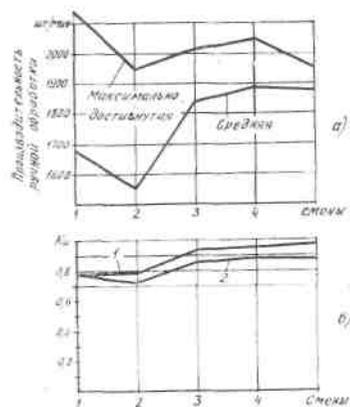


Рис. 89. Временные диаграммы параметров производительности (а) и коэффициентов использования (б): 1—по результатам смены; 2—по максимально возможной производительности

ставить с существующими процессами ручной обработки деталей. Такие исследования проводились на протяжении пяти смен методом регистрации почасовой производительности и потерь времени на ремонт, техобслуживание оборудования, смену инструмента, поднос заготовок и т. д.

Максимально достигнутая производительность ручной обработки составила 2135 шт./час. Средняя производительность колеблется от 1546 до 1895 шт./

час. Коэффициент использования изменяется от 0,786 до 0,963 по результатам смены и от 0,724 до 0,888 по максимальной возможно-

производительности (рис.89.)

Внецикловые потери времени за смену не превышают 5,1%, что объясняется простотой конструкции станка для резбонарезания и отсутствием в необходимости регулировки, переналадки механизмов, а также качественной организацией производства. Цикловые потери времени существенно различаются как между сменами, так и внутри каждой смены. Это зависит, в первую очередь, от субъективных качеств рабочего, выполняющего в течение смены монотонно повторяющиеся операции в одной рабочей позе. На инструмент непрерывной струей подается СОЖ, которая разъедает руки. Технологический процесс ручного резбонарезания деталей построен так, что в течение недели при двухсменном режиме работы обрабатывается деталь одного типоразмера, а затем в течение второй недели после перестройки оборудования деталь другого типоразмера. За год вручную обрабатывается годовая программа деталей от двух до четырех типоразмеров (табл. 11) в зависимости от величины этой программы. Таким образом, для достижения показателей ручной обработки деталей РТК должен иметь фактическую производительность, приближающуюся к 30 шт./мин. В процессе создания конкретных конструкций следует учитывать резервы времени (табл. 12). Они используются

## 11. Производительность ручного резбонарезания

Годовая программа, шт.	Действительный фонд рабочего времени, час.	Средняя производительность ручной обработки (по результатам 5 смен), шт./мин	Время, необходимое для выполнения годовой программы детали одного типоразмера, час.	Количество типоразмеров деталей, обрабатываемых в год двумя рабочими, шт.
$2,96 \cdot 10^6$	4000	29,4	1677	2
$1,48 \cdot 10^6$			838	4

для обработки деталей тех типоразмеров, которых на изделие требуется в два раза меньше.

Полученные выводы показывают возможность практической реализации РТК резбонарезания и сверления деталей с показателями производительности, приближающимися к варианту с ручной загрузкой деталей.

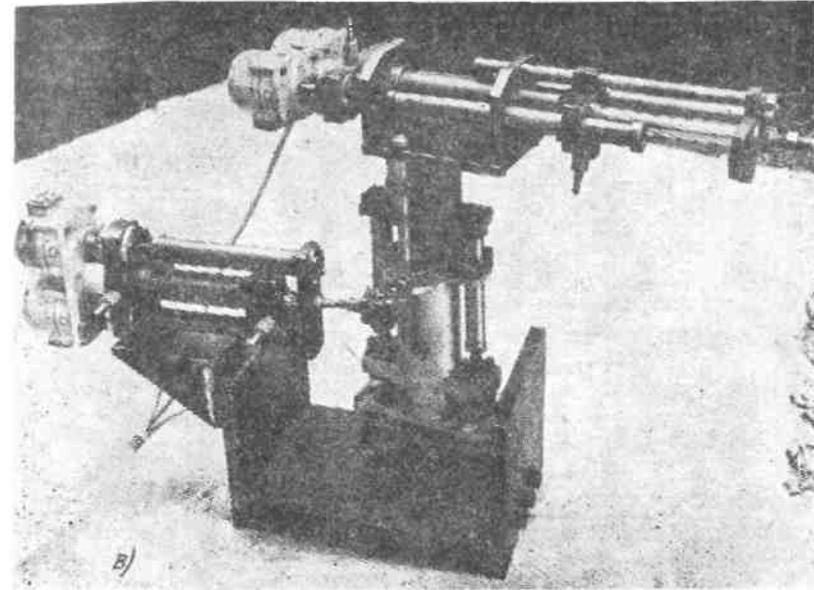
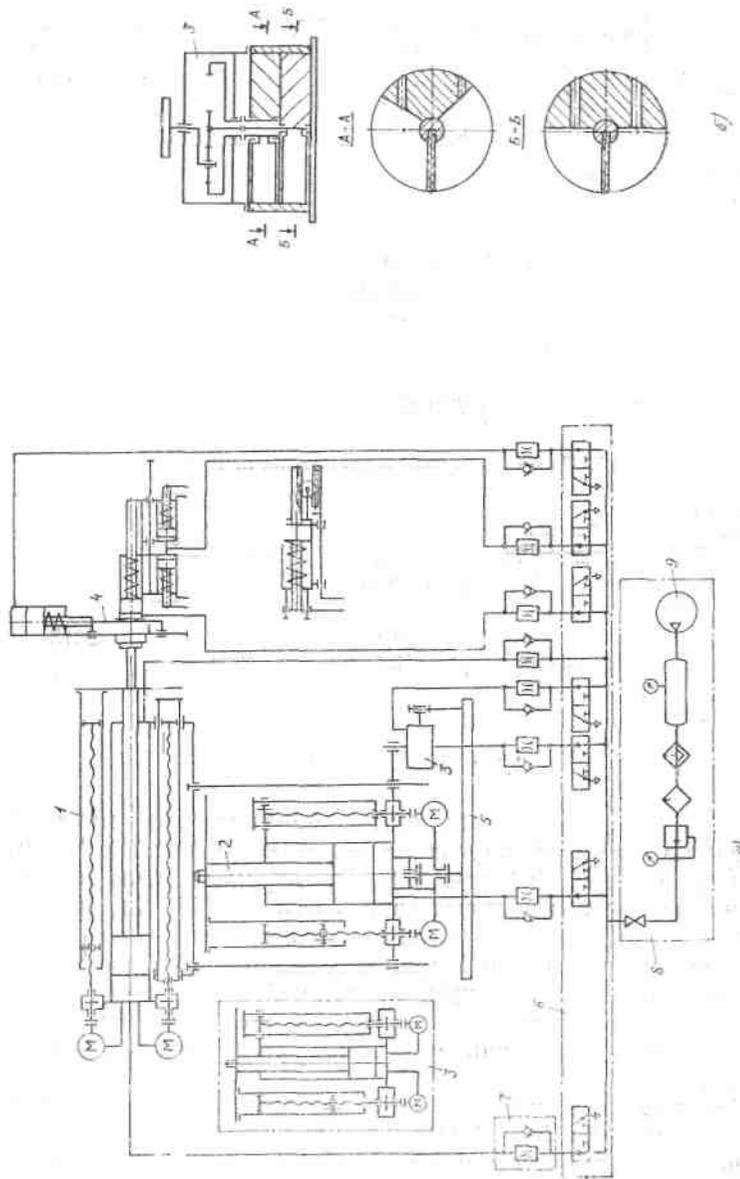
## 12. Ожидаемая производительность РТК

Действительный фонд рабочего времени, час.	Годовая программа выпуска, шт.	Фактическая производительность, шт./мин	Время обработки годовой программы деталей одного типоразмера, час.	Резерв времени, час.
4000	$2,96 \cdot 10^6$	8,2 16,4 22,5	6016 3009 2193	—2016 991 1807

### 9.1.2. Манипулятор

Пневмокинематическая схема манипулятора загрузки полуавтомата резбонарезания показана на рис. 90. Манипулятор модели РФ-1 (рис. 90а,в) содержит модули выдвигания, поворота и подъема (а. с. СССР № 722757), захватный механизм. Все они смонтированы на основании. Обеспечивает автоматический цикл работы манипулятору блок направляющей аппаратуры, связанный энергомагистралями с системой управления и устройством подготовки сжатого воздуха, сообщенное с источником энергии — компрессором.

Базовым несущим элементом каждого модуля является силовой цилиндр (рис. 90а). К корпусу цилиндра крепится фланец с двигателями настройки размерной информации. Выходные валы двигателей муфтами связаны с ходовыми винтами. Последние закреплены в подшипниковых опорах, выполненных в задней крышке цилиндра. На штоке за-



креплен жесткий упор, к которому прикреплена одна из тяг. Внутри нее с возможностью осевого перемещения по винту размещена гайка. В тяге выполнен паз для шпонки, исключающей угловые смещения гайки. Вторая тяга, жестко связанная с гайкой ходового винта, образует поступательную кинематическую пару с передней крышкой цилиндра. И здесь предусмотрена шпонка. Корпус цилиндра крепится посредством гаек к переходным фланцам.

При конструировании модуля поворота целесообразно применить опорное устройство (рис. 91), которое крепится на задней крышке цилиндра. В этом случае опорное устройство непосредственно связывается с общим основанием манипулятора посредством стойки, а ведомое звено модуля через узел вращения соединяется с вращающимся звеном манипулятора. Варианты подшипниковых узлов крепления ходовых винтов показаны на рис. 92. Задача, которая решалась при их конструировании, заключается в компенсации ударных нагрузок на винт, возникающих при работе привода по жестким упорам (в цикловом режиме), при обеспечении точности центрирования. Разработаны как универсальные конструкции узлов крепления ходовых винтов, обеспечивающие работоспособность приводу при действии нагрузки в любом относительно оси направлении (рис. 92б, в), так и варианты, исключающие действие на-

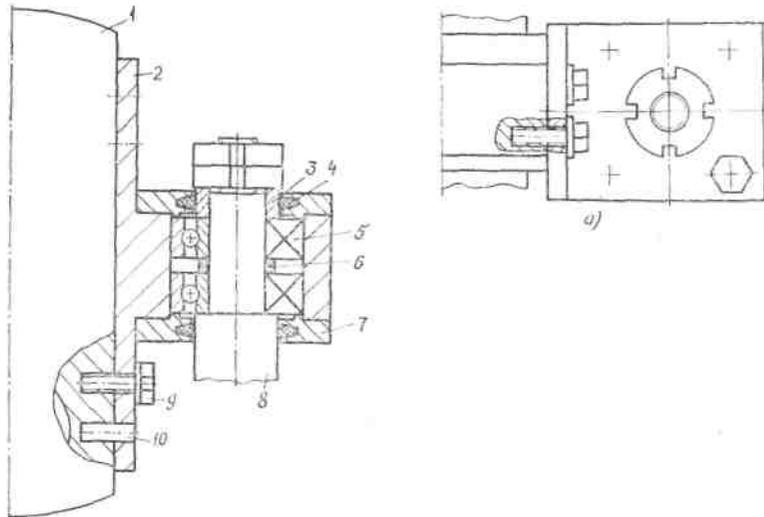


Рис. 91. Конструкция опорного устройства для модуля поворота: 1—модуль выдвижения; 2—корпус; 3—втулка; 4—уплотнение; 5—подшипник; 6—кольцо; 7—крышка; 8—стойка; 9—винт; 10—штифт

**Грузок на двигатели в каком-то одном направлении (рис.92 а, г, д)**

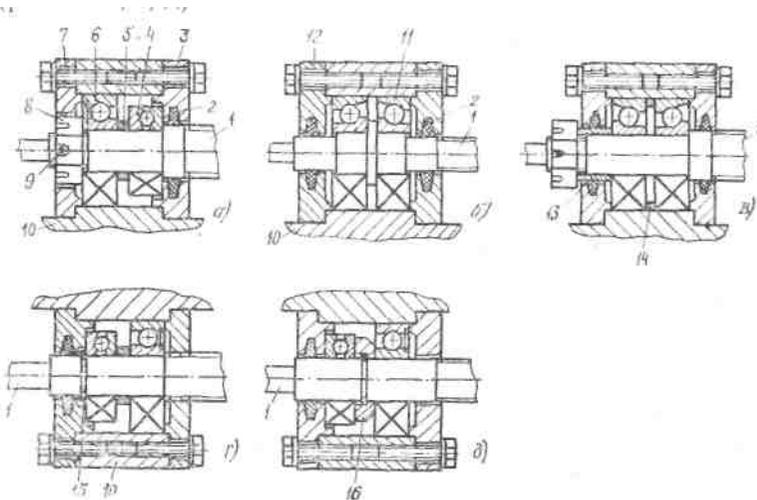


Рис. 92. Схемы крепления ходовых винтов: 1 — винт ходовой; 2 — кольцо уплотнительное; 3, 7, 12 — крышка прижимная; 4, 6, 11 — подшипник упорный, радиальный, радиально-упорный; 5, 14 — кольцо распорное; 8 — гайка, 9 — шплинт; 10 — корпус цилиндра; 13 — втулка; 15 — кольцо стопорное; 16 — втулка

Работа привода, ходовой винт которого закреплен в подшипниках и связан с двигателем муфтой, осуществляется в режимах холостого хода при настройке задающих упоров и в силовом импульсном режиме при выполнении технологического цикла.

Для выполнения сложного комплекса движения с неоднократной перестройкой координат в течение рабочего цикла модуль должен содержать в своей конструкции электромеханический привод, управляющий положением задающего звена, по скорости отработки программы соизмеримый с быстродействием силового пневмопривода. В основе одного из вариантов привода можно использовать шаговые двигатели. Устройства с шаговыми двигателями работают по разомкнутой схеме без обратной связи и обладают относительно высокими точностью и быстродействием. В шаговых электромеханических приводах дискретность  $\lambda$  линейного перемещения определяется шагом  $a$  двигателя и кинематическими параметрами трансмиссии (например, шагом  $s$  ходового винта):

$$\lambda = \frac{S\alpha}{360}, \text{ мм.}$$

Особенно важно, чтобы абсолютная величина дискретности была приемлема для известных систем исчисления, управляющих устройств и требуемых технологических задач. Это накладывает определенные ограничения на конструкции шаговых приводов.

При известных параметрах шагового двигателя, кинематики ходового винта и абсолютной величины настроечных перемещений  $L$  скорость  $V$  и длительность  $t$  перестройки размерной информации определяются по формулам

$$V = \frac{L}{t}; \quad t = \frac{L}{i\lambda},$$

где  $i$  — частота приемистости ш;

У отечественных конструкций шаг  $a$  двигателя составляет  $1,5^\circ$  или  $3^\circ$ , а частота приемистости  $f$  может задаваться в диапазоне от 0 до 16 кГц. Наибольшие точность и крутящий момент у двигателя имеют место при подаче на его вход частоты  $f$  от 6 до 8 кГц. На рис. 93 и 94 приведена информация для выбора параметров шагового привода.

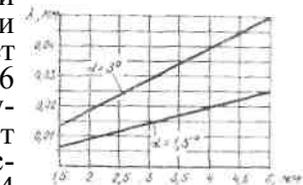


Рис. 93 зависимости дискретности  $\lambda$  шагового привода от шага  $s$  ходового винта

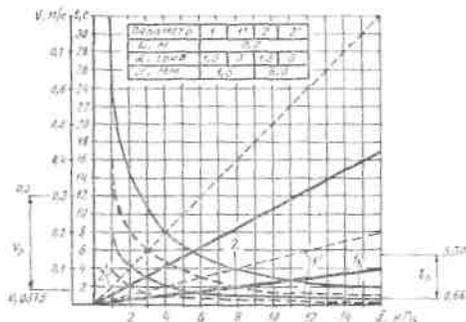


Рис. 94. Зависимость быстродействия  $t(V)$  настройки размерной информации от частоты  $f$  приемистости шагового двигателя

Шаговый привод может с успехом управляться системами ЧПУ, если шаг ходового винта равен 1,5; 3 или 6 мм. Например, при шаге ходового винта  $s=1,5$  мм дискретность привода составляет 0,00625 и 0,0125 мм в зависимости от  $a$ . Линейное перемещение в 1 мм конечный подвижный элемент получит за 160 и 80 импульсов. Скорость  $V$  перемещения упоров модуля для обособленного диапазона величин  $s$  может быть получена от 6,25 до 800 мм/с при изменении  $\{$  от 1 до 16 кГц. При оптимальной частоте  $f = 6$  кГц и тех же значениях шага  $s$  скорость  $V$  изменяется от 37,7 до 300 мм/с. Учитывая, что ход штоков силовых цилиндров модулей не превышает 500 мм и в случае одновременной работы обоих двигателей, перемещающих упоры одного механизма, названное быстродействие следует оценить удовлетворительно-характеризовать манипулятор с автоматической перестройкой координат как перспективный. На основе рассмотренной конструкции могут быть созданы приводы угловых перемещений.

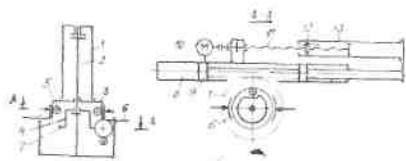


Рис. 95. Механизм угловых перемещений манипулятора: 1 — исполнительный орган; 2 — стойка; 3, 4 — входы перемещений, исполнительный орган которого установлен в опорах на шток-рейка; 5 — ролик; 6 — тормоз; 7 — венец зубчатый; 8 — цилиндр; 9 — двигатель; 10 — стойке и жестко связан с винт; 12 — гайка; 13 — тяга

гона. Ведущая полумуфта закреплена на неподвижной стойке с возможностью вращения. В пазах муфты обгона размещены ролики, которые передают крутящий момент с ведущей полумуфты на ведомую. С последней взаимодействует тормоз, подвижный относительно стойки. Ведущая полумуфта имеет зубчатый венец, связанный с приводом точных

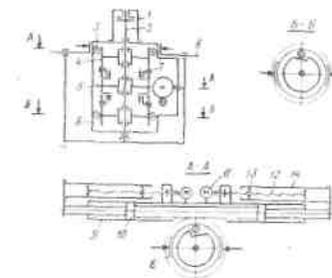


Рис. 96. Возвратно-поворотный механизм угловых перемещений: 1 — исполнительный орган; 2 — стойка; 3 — ролик; 4, 6 — полумуфты обгона ведомая и ведущая; 5 — венец зубчатый; 7, 8 — тормоз; 9 — цилиндр; 10 — шток-рейка; 11 — двигатель; 12 — винт ходовой; 13 — гайка; 14 — тяга

перемещений. Дискретность и быстродействие углового перемещения исполнительного органа задаются системой управления и подаются первоначально настроечное с помощью двигателя, а затем и силовое с помощью цилиндра перемещения

После выполнения ряда рабочих циклов по всей величине хода гайки вдоль ходового винта шток-рейка возвращается в исходное положение. Муфта обгона размыкает при этом связь привода точных перемещений с исполнительным органом, а тормоз стопорит его. Возвращается в исходное положение и гайка путем реверса двигателя. Далее цикл повторяется.

Возвратно-поворотный механизм, обеспечивающий двухстороннее угловое перемещение манипулятора с регулируемой дискретностью при строго фиксированных промежуточных положениях, изображен на рис. 96. Он снабжен дополнительным приводом точных перемещений, который закреплен на цилиндре, а зубчатый венец выполнен с возможностью взаимодействия с ведущими полумуфтами обгона, на которых расположены кинематически с ними связанные тормоза. Здесь величина дискретности углового перемещения манипулятора регулируется изменением количества импульсов, подаваемых на двигатель.

Угол поворота ведомого звена манипулятора, оснащенного подобными механизмами, может изменяться от  $0^\circ$  до  $300^\circ$ , минимальная дискретность углового перемещения составляет  $15'$ , угловая скорость может достигать 100 град./с. В конструкции манипуляционных механизмов весьма ответственными элементами являются энергомагистраль, 129

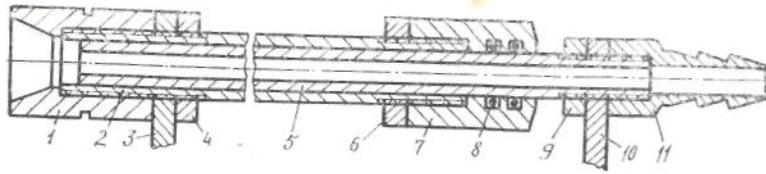


Рис. 97. Телескопическая пневмомагистраль: 1, 11—штуцер; 2—трубка наружная; 3, 10—стойка; 4, 6, 9—гайка; 5—трубка подвижная; 7—муфта; 8—уплотнение

связывающие исполнительные устройства с энергосистемой. Во многих конструкциях, выпускаемых серийно или изготавливаемых по индивидуальному заказу, энергомагистрали прокладываются по механизмам манипулятора с провисающими петлями резервной длины, равной величине хода ведомого элемента. Такое исполнение ухудшает и внешний вид манипулятора, и снижает надежность. Эффективно применять в таких случаях телескопические энергомагистрали, отличающиеся компактностью и жесткостью конструкции.

Для модульных пневмо и гидроприводов телескопическая магистраль может быть выполнена следующим образом. Два жестких трубопровода образуют поступательную кинематическую пару (рис. 97). Подвижный и стационарный трубопроводы посредством стоек крепятся соответственно к ведомому звену привода и к корпусу. Свободные концы трубопроводов оканчиваются штуцерами, а связующим звеном является уплотнительная муфта.

Телескопические магистрали, расположенные в единой плоскости обеспечивают энергией захватный механизм и позволяют применять жесткие декоративные кожухи.

В манипуляторе модели РФ-2 применен модульный цикловой пневмопривод, отличающийся повышенной жесткостью в сравнении с аналогичными вариантами. У манипулятора (рис. 906) модуль выдвижения с механизмом схвата закреплен на ведомом валу дифференциального редуктора 5, входы которого связаны с угловыми позиционерами. Последние представляют собой моментные цилиндры, последовательно связанные друг с другом и закрепленные на опоре.

С применением рассмотренных модулей созданы манипуляторы, конструктивные характеристики которых приведены в табл. 13 и 14.

Дальнейшее совершенствование механизмов возвратно-поворотного действия направлено по пути снижения

13. Конструктивные параметры модулей типа РФ-1

Модуль	Диаметр, мм				Ход, мм	Шаг винта, мм (резьба упорная, ГОСТ 10177-82)
	цилиндра	штока	винта	шланга		
Поворота	28	18	14	4	150	2
Подъема	45	30	14	4	125	2
Выдвижения	35	22	14	4	250	2

14. Конструктивные параметры модулей типа РФ-2

Модуль	Диаметр, мм				Ход, мм	Угол поворота, град.
	цилиндра	штока (штулки)	винта (шаг)	шланга		
Выдвижения	35	22	Уп. 14×2 ГОСТ 10177-82	4	280	—
Подъема	50	30	Трап. 14×2 ГОСТ 9484-81	4	70	—
Поворота	200	60	—	4	—	180

металлоемкости, обеспечения компактности конструкции, существенного расширения числа программируемых координат, облегчения программирования и переналадки значений выходных параметров с условием ее осуществления автоматически. Поэтому вновь созданный привод реализован таким образом, что он преобразует уже числовую и цикловую кодированную информацию в дискретное – угловое перемещение ведомого звена.

Привод (рис. 98) выполнен в корпусе, являющемся одновременно моментным цилиндром, который содержит верхнюю и нижнюю крышки. Они связаны друг с другом шпильками и закреплены на стационарном основании. Корпус смонтирован в крышках с возможностью вращения. В крышках также с возможностью вращения установлен центральный вал. Через шпонку вал связан со втулкой, на которой жестко закреплен шибер. С нижней крышкой посредством винтов жестко соединен разделитель, образуя в корпусе рабочие полости. Последние посредством каналов в разделителе и соответствующих им

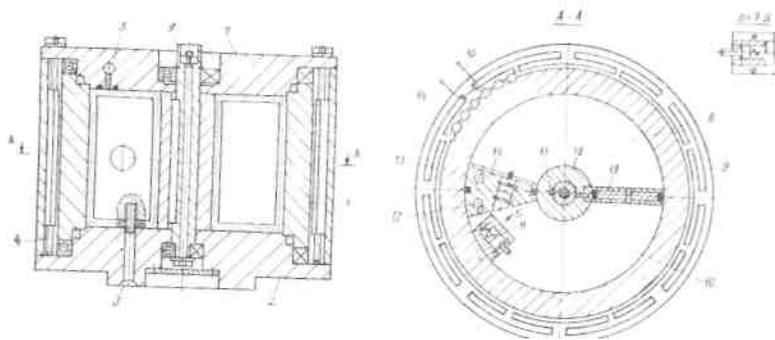


Рис. 98. Конструкция привода: 1—корпус; 2, 7 — крышки нижняя и верхняя; 3 — винт; 4 — шпилька; 5 — канал в верхней крышке; 6 — вал центральный; 8, 10 — полость рабочая; 9 — статор; 11—упор подвижный; 12, 13 — канал в разделителе; 14 — зубцовая зона; 15 — обмотка статора; 16 — разделитель; 17 — шпонка; 18 — втулка; 19 — шибер

каналов в верхней крышке сообщены с источником энергии. На внутренней поверхности корпуса закреплен упор. Снаружи корпус выполнен с зубчатой насечкой и представляет собой ротор шагового двигателя. Статор шагового двигателя закреплен на неподвижных крышках концентрично корпусу. С внутренней стороны статор содержит гребенчатые зубцовые зоны с обмотками, которые соединены с управляющим устройством.

Цикл работы привода состоит из двух фаз: рабочего силового режима и настроечного подготовительного. Оба режима могут быть совмещены во времени. При настройке требуемого угла поворота центрального вала осуществляется вращение корпуса как ротора шагового двигателя вокруг своей оси. Вместе с корпусом вращается и регулируемый упор. Ступенчатому характеру напряжений в фазах статора, что обеспечивается управляющим устройством, соответствует дискретное вращение электромагнитного поля в воздушном зазоре между статором и ротором. Вследствие этого движение ротора складывается из последовательности элементарных угловых перемещений с определенным шагом, например, в  $1,5^\circ$  или  $3^\circ$ . Каждому импульсу управления соответствует угол поворота корпуса на данную величину шага. Скорость вращения и суммарный угол поворота корпуса определяются по частоте и количеству импульсов управления. При отсутствии управляющего сигнала на входе шагового двигателя (частота равна нулю) последний развивает фиксирующий момент, запоминая конечные координаты углового перемещения с точностью до шага.

При вращении корпуса по часовой стрелке возможный угол поворота увеличивается, а при вращении против часовой стрелки — уменьшается.

После окончания настройки размерной информации привод работает в цикловом режиме. Для этого энергия в виде, например, сжатого воздуха последовательно подается в одну из рабочих полостей. Противоположная полость при этом сообщается с атмосферой. Для подачи энергии или разгрузки рабочих полостей используются каналы в разделителе и в верхней крышке.

Рабочее давление, воздействуя на шибер, вращает его вокруг оси привода. Шибер вращается совместно со втулкой. Далее через шпонку крутящий момент передается на центральный вал. При вращении шибера по часовой стрелке его перемещение ограничивается упором, а при вращении против часовой стрелки — разделителем. Скоростные режимы исполнительных механизмов манипулятора следует изменять с помощью дополнительных устройств в широком диапазоне. Это упрощает синхронизацию длительности работы взаимодействующих элементов РТК, установление требуемых динамических характеристик. Конструкции пневматических регуляторов скорости приведены на рис. 99, а гидравлического — на рис. 100.

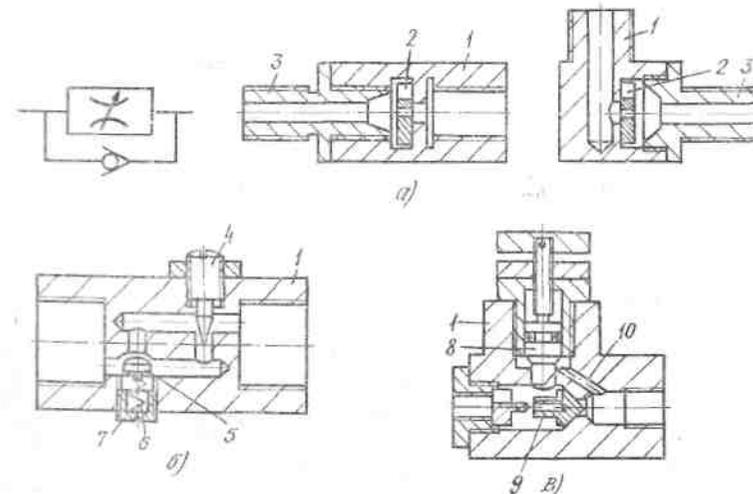


Рис. 99. Регуляторы скорости для пневмоприводов манипуляторов и средств автоматизации: 1 — корпус; 2 — шайба; 3 — штуцер; 4 — конус дросселя; 5 — затвор сферический; 6 — пружина; 7 — заглушка; 8 — валик; 9 — затвор конусный; 10 — канал

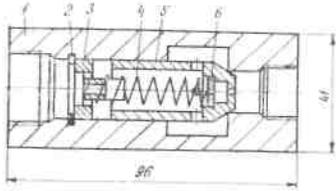


Рис. 100 конструкция гидравлического дросселя с обратным клапаном: 1—корпус; 2—кольцо стопорное; 3—втулка; 4—пружина; 5—клапан; 6—шайба

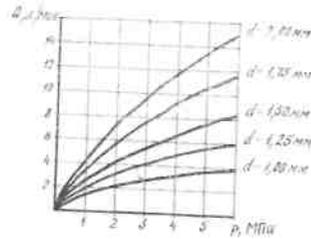


Рис. 101. Зависимость хода  $Q$  рабочей жидкости через шайбу дросселя от давления  $p$  и диаметра  $d$  центрального отверстия

Они устроены таким образом, что объединяют в своей конструкции регулируемый дроссель и обратный клапан. Расходная характеристика гидравлического регулятора показана на рис. 101, а общий вид пневматического дросселя с обратным клапаном, имеющим конструктивную схему согласно рис. 99а, изображен на рис. 102.

Конструкция шайбы регулятора (рис. 99а), дросселирующая расход и работающая как обратный клапан в зависимости от направления подачи энергии, выполняется исходя из ранее отмеченных ограничений.

Расчетная схема шайбы (рис. 103) сформирована согласно рассмотренным ограничениям. Поверхность выточки  $S$ , участвующая в работе дросселя, может быть представлена как сумма площадей двух сегментов  $S_1$  и  $S_2$ :

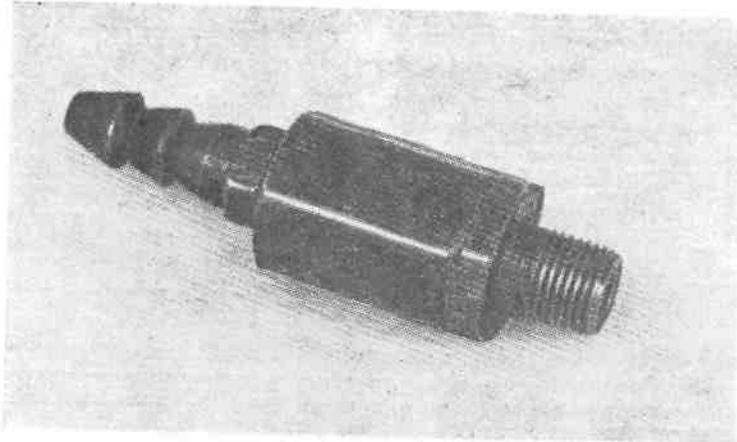
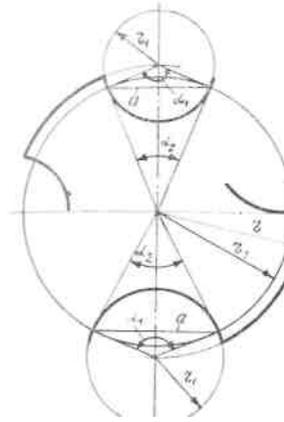


Рис. 102. Общий вид пневматического регулятора скорости



первый образован дугой окружности выточки радиусом  $r_1$ , опирающейся на хорду  $a$ , а второй — дугой окружности радиуса  $r_2$ , опирающейся на ту же хорду  $a$ . Окружность радиуса  $r_2$  есть не что иное как отверстие в подводящем энергию штуцере, а величина радиуса  $r_2$  равняется длине касательной к дуге окружности выточки, проложенной из центра шайбы:

$$S = S_1 + S_2 = \frac{r_1^2}{2} \left( \frac{\pi \alpha_1}{180} - \sin \alpha_1 \right) + \frac{r_2^2}{2} \left( \frac{\pi \alpha_2}{180} - \sin \alpha_2 \right)$$

Рис. 103. Схема расчета площади выточек в шайбе дросселя

где  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  — центральные углы сегментов. Радиус  $r_1$  легко представить в виде хорды сегмента, образованного дугой окружности радиуса  $r$ , являющейся периметром шайбы и опирающейся на центральный угол

$$\frac{a_1}{2}, \quad \text{Тогда } r_1 = 2r \sin \frac{a_1}{2}; \quad r_2 = r \cos \frac{a_2}{2}$$

Окончательно имеем

$$S = \frac{(2r \sin \frac{a_1}{2})^2}{2} \left[ \frac{\pi(180^\circ - a_1)}{180} - \sin(180^\circ - a_1) \right] + \frac{(r \cos \frac{a_2}{2})^2}{2} \left( \frac{\pi a_2}{180} - \sin a_2 \right),$$

где  $(a_1 = 180^\circ - a_2)$ .

На рис. 104 представлены расчетные зависимости площади  $S$  выточки от диаметра  $2r$  шайбы и центрального угла  $a_2$  —  $S(2r; a_2)$ ; площади выточек от их количества  $S(n; 2r; a_2)$ , необходимые для конструирования регулятора скорости.

Манипулятор оснащен хватом (рис. 90а), который взаимодействует с устройством для поштучной выдачи деталей механизма ориентации. Нами рассматривается задача высокопроизводительной загрузки деталей, строго ориентированных в пространстве и расположенных в лот-

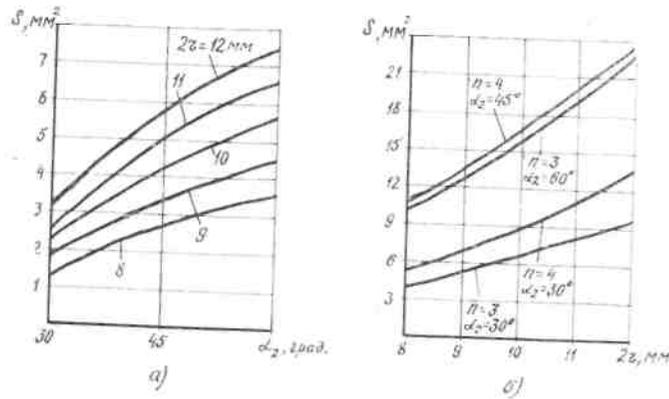


Рис. 104. Зависимости площади  $S$  условного прохода выточек от диаметра  $2r$  шайбы и центрального угла  $\alpha_2$  (а) и от их количества  $n$  (б)

ках-накопителях линейно. Такое исполнение механизма ориентации упрощает синхронизацию длительности рабочего цикла оборудования и быстродействия (времени позиционирования) манипулятора, исключает трудоемкие подгоночные и регулировочные работы по выставлению в пространстве компонентов РТК и заданию скоростных режимов исполнительным механизмам. Для этого рекомендуется использовать единые рациональные скоростные режимы, а длительность процессов изменять варьированием величины рабочего перемещения исполнительных механизмов и частоты тактовых импульсов, поступающих от системы управления.

Межцентровое расстояние  $A_1$  установочных пазов приспособлений, в которых размещаются детали, выполняется согласно геометрическим размерам силовых головок, осуществляющих резбонарезание, и не равно межцентровому расстоянию  $A_2$  последовательно расположенных деталей в устройстве для поштучной выдачи. Следовательно, в схвате манипулятора необходимо предусмотреть устройство, выполняющее вторичную ориентацию деталей в процессе их транспортирования, то есть раздвижение на величину  $\Delta A = A_1 - A_2$ . Эта функциональная особенность схвата используется при загрузке всех типоразмеров деталей.

В целях анализа возможности унификации схватов и использования единой конструктивной схемы независимо от типоразмера обрабатываемой детали, что сокращает сроки технологической подготовки производства, а впоследствии и длительность переналадок, сравниваются по-

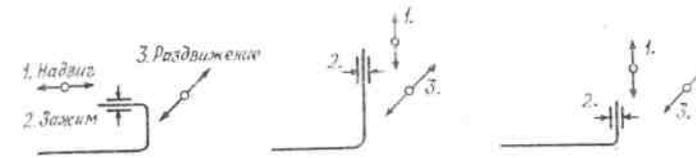


Рис. 105. Синтез движений механизмов схвата манипулятора

ложения, занимаемые изогнутыми деталями в приспособлениях и устройстве для поштучной выдачи.

Достигнута автоматическая выдача изогнутых деталей механизмами ориентации в зону захвата в положениях, идентичных их размещению в установочных пазах приспособлений. При этом для всех типоразмеров деталей при  $r > 1$  выполняются цикловые движения, единые по своей структуре: надвиг—зажим—раздвижение (рис. 105). Для деталей с тремя ребрами зажимные элементы располагаются в горизонтальной, а для остальных — в вертикальной плоскостях. Указанное отличие можно реализовать в компоновочном решении схвата при неизменных конструкциях составных элементов.

Рассмотрим схемы расположения детали в зоне зажимных элементов — губок (рис. 106). Последние могут быть подвижными и неподвижными. По схеме 1 на деталь воздействует подвижная зажимная губка, движущаяся относительно неподвижной. Наличие зазоров  $A'$  и  $K''$  между губками и деталью (схема 1а) приводит в процессе зажима к переориентации детали относительно направляющего лотка (схема 1б). В результате переориентации может деформироваться деталь или произойти поломка устройства для поштучной выдачи и схвата. В целях исключения данного явления неподвижную (опорную) губку схвата следует так выставлять относительно детали (схема 2), чтобы зазор между ними отсутствовал  $A' = M$ ). Добиться подобного взаиморасположения детали и схвата практически невозможно из-за ряда факторов, сопутствующих производственному процессу: имеется предварительное перемещение зажимных губок на деталь; детали имеют переменную в определенном диапазоне толщину; детали занимают в лотке устройства для поштучной выдачи ряд положений, что обусловлено его вибрациями и зазорами. Если схват имеет две подвижные зажимные губки с нерегулируемой величиной хода (схема 3), то однозначная фиксация детали возможна лишь при условии  $A' = A''$ . Обеспечить равенство расстояний от детали до обеих зажимных губок возможно при наличии взаимной кинемати-

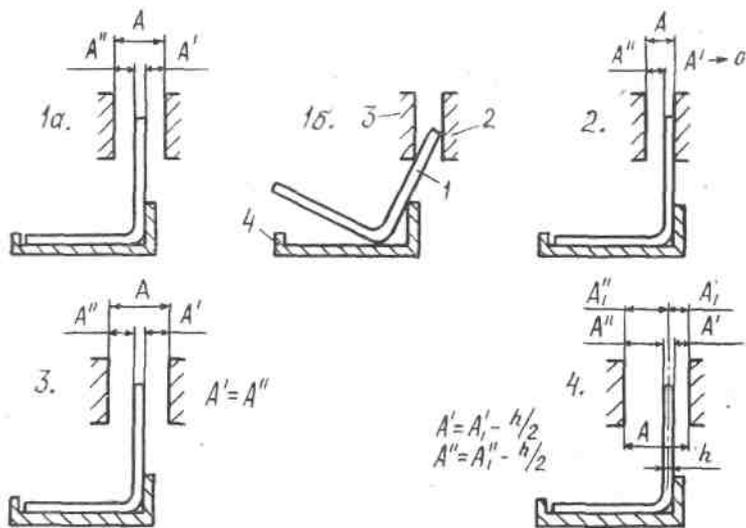


Рис. 106. Схемы взаиморасположения детали 1, зажимных элементов 2, 3 и дотка 4:  $A$  — полный зазор между зажимными элементами;  $A'$  и  $A''$  — зазор между деталью и зажимными элементами;  $A'i$  и  $A'i''$  — полный ход зажимных элементов (имеет место при отсутствии детали)

ческой подвижности таких элементов РТК, как механизм ориентации и схват; схват и манипулятор; манипулятор и механизм ориентации. Это весьма трудоемко и значительно усложняет конструкцию элементов РТК. Применяется и схема 4, в которой также две подвижные губки, причем одна из них имеет регулируемую величину перемещений. Настройка взаимодействия элементов РТК (устройства для поштучной выдачи и схвата) производится подбором величины хода  $A'$  опорной губки таким образом, чтобы при  $A' = 0$  ее движение прекращалось. Применение схвата, выполненного по схеме 4, позволяет упростить конструкцию РТК и снизить трудоемкость его регулировки, производимой, как правило, компенсационным звеном. Схват имеет гарантированные зазоры с каждой стороны от детали.

Пневмокинематическая схема схвата имеется на рис. 90а. Схват состоит из цилиндров зажима, раздвижения, подъема. Рабочий ход цилиндров осуществляется под действием сжатого воздуха, а обратный — пружиной. Раздвижение деталей совмещено с процессами их выноса из устройства для поштучной выдачи и дальнейшей транс-

портровкой, которые осуществляются манипулятором. Схват снабжен устройством регулировки величины хода зажимных губок. Для этого поршень цилиндра зажима имеет двухсторонний шток. Один конец штока выполнен в виде зубчатой рейки и зацеплен с зубчатым колесом, а ко второму, как и прежде, крепится подвижная зажимная губка. Опорная губка также выполнена подвижной и смонтирована в направляющих, связанных с корпусом цилиндра. На опорной губке установлена сменная зубчатая рейка, подвижная относительно данной губки и зацепленная с зубчатым колесом. Зубчатое колесо также закреплено на корпусе цилиндра.

При движении поршня перемещается сменная рейка, которая воздействует на упор и заставляет перемещаться опорную губку.

Схват не имеет датчиков обратных связей, как у адаптивных конструкций и относится к жесткопрограммируемым, имея очень важное преимущество: более высокую производительность. Введение элемента, управляющего величиной хода опорной губки, не только расширяет функциональные возможности схвата, но и переводит его в класс механизмов, которые оценивают параметры рабочих операций. В данном случае регистрацию параметров и смену рейки-толкателя опорной губки осуществляют технолог и наладчик.

Принципиальная схема взаиморасположения схвата и устройства для поштучной выдачи деталей приведена на рис. 107. С целью упрощения настройки кинематических и временных характеристик РТК механизм ориентации и устройство для поштучной выдачи деталей как единое целое имеют возможность последовательно перемещаться по эвольвентным и прямолинейным направляющим. Криволинейное движение мента манипулятора от нуля до максимально возможной величины компенсирующим, компенсирующим,

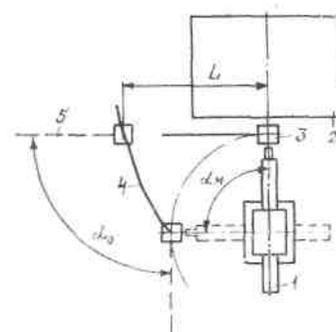


Рис. 107. Схема компоновки элементов РТК: 1 — манипулятор; 2 — оборудование; 3 — механизма ориентации позволяет изменять угол  $\alpha_m$  поворота манипулятора от нуля до максимально возможной величины. Линейное движение на величину  $L$ , являющееся компенсирующим,

позволяет выставить устройство для поштучной выдачи в зону взаимодействия со схватом. Конструкция, изображенная на рис. 107, защищена а. с. СССР № 848262.

## 9. 2. Оценка работоспособности и параметров надежности РТК

В процессе исследований РТК проверяется способность элементов выполнять заданные функции, выявляются параметры их функционирования, диапазоны применения которых удовлетворяют технологическим требованиям. Успешному решению задачи создания работоспособной элементной базы РТК способствует комплекс факторов: качественное проектирование и изготовление, рациональные условия эксплуатации. Разработка конструкции выполняется, как правило, исходя из опыта эксплуатации существующих машин, систем, оборудования, анализа повторяющихся неисправностей и условий их возникновения. За основу при проектировании принимается агрегатный метод при максимально возможном применении унифицированных и стандартных деталей и использование технических решений упрощенной конструкции.

15. Показатели рабочего проекта

Наименование элемента РТК	Количество деталей и узлов									
	стандартных		заимствованных		покупных		оригинальных		всего <sup>1</sup>	
	наим.	шт.	наим.	шт.	наим.	шт.	наим.	шт.	наим.	шт.
Манипулятор	41	194	18	25	12	24	72	89	143	332
Захват	—	—	—	—	1	4	27	40	182	541
Система управления	9	149	6	27	69	359	359	480	28	44
Механизм ориентации	9	65	2	2	—	—	38	59	33	95
Опора манипулятора	3	16	—	—	—	—	10	39	180	1015
Всего	62	424	26	54	82	387	243	707	209	1485
									49	126
									66	201
									13	55
									20	90
									413	1572
									510	2408

<sup>1</sup> В числителе — без крепежных деталей, в знаменателе — с их учетом.

В качестве примера в табл. 15 приведены результаты проектирования РТК резьбонарезания.

Показатели основного технологического оборудования здесь не представлены в связи с тем, что оборудование может быть заменено, и при неизменности функциональных свойств комплекс будет выполнять иные технологические задачи.

Основными показателями уровня стандартизации оборудования [11] коэффициенты применяемости  $K_{пр}$  и повторяемости  $K_{повт}$  деталей и узлов. Эти коэффициенты вычисляются по следующим Формулам:

$$K_{пр} = \frac{\sum_c + \sum_y + \sum_3 + \sum_{II}}{\sum_{д.шт.}}; \quad K_{повт} = \frac{\sum_{д.шт.}}{\sum_{д.шт.}}$$

где  $\sum_{д.шт.}$  — общее количество наименований типоразмеров деталей и узлов, входящих в комплекс;

$\sum_c$ ;  $\sum_y$ ;  $\sum_3$ ;  $\sum_{II}$  — количество наименований типоразмеров стандартных, унифицированных, заимствованных, покупных деталей и узлов;

$\sum_{д.шт.}$  — общее количество деталей, входящих в РТК.

Коэффициенты применяемости и повторяемости можно рассчитывать и по отдельным категориям деталей и узлов: стандартным, заимствованным, покупным, крепежным.

Результаты, приведенные в табл. 15, показывают, что наибольший удельный вес стандартных, заимствованных и покупных деталей имеют манипулятор (от 50 до 60,4%) и система управления (от 46,7 до 54,1%) — Данные результаты, превышающие средний уровень по машиностроению [11], следует считать успешными из-за оригинальности технических решений, заложенных в данные элементы. Наибольший вес в конструкции манипулятора приходится на стандартные детали (29%), а коэффициент применяемости заимствованных деталей (из модуля выдвижения в модулях подъема и поворота) у него наибольший среди остальных элементов РТК — Это говорит о том, что часть деталей одного типоразмера повторяется в конструкции манипулятора несколько раз. Увеличение коэффициента применяемости заимствованных деталей существенно снижает трудоемкость изготовления манипулятора из-за сокращения конструкторской и технологической документации, типоразмеров оснастки, режущего и мерительного инструментов. Изготовление подобных деталей выполняется партиями и при единой настройке оборудования. Аналогичные преимущества имеют место и при заготовительных операциях.

В управляющем устройстве значительный удельный вес имеют покупные изделия, основу которых составляют радиоэлектронные элементы. Сложность устройства и расширенные функциональные возможности не позволяют повысить коэффициент повторяемости этих элементов, но зато коэффициент повторяемости стандартных изделий и деталей системы управления наивысший (16,56%) не только среди компонентов РТК, но и среди машиностроительной продукции [11].

Относительно низкие коэффициенты у других элементов комплекса характеризуют специфичность их конструкции и сложность решаемых ими задач.

У комплекса в целом коэффициент применяемости от 41,2 до 52,4% и, кроме того, широкие перспективы его увеличения при совершенствовании конструкции.

В процессе опытной проверки устанавливается способность элементов выполнять заданные функции и выявляются значения технических параметров, пределы изменений которых соответствуют расчетам. Наблюдения за конструкциями позволяют, помимо выявления эксплуатационных качеств, определить критерии надежности, эксплуатационную стоимость, ремонтпригодность элементов. Наиболее сложно прогнозировать и оценивать параметры надежности технологических систем, подобных РТК, состоящих из собственно технологической части и других вспомогательных частей, без участия которых система функционировать не может. Как правило, система — это совокупность подсистем и элементов, объединенных функционально или конструктивно в соответствии с определенным алгоритмом взаимодействия при выполнении заданных функций.

По характеру влияния отказов элементов на отказ системы последние делятся на простые и сложные. Простая система при отказе элемента либо полностью прекращает функционирование, либо при наличии элемента резервирования продолжает выполнять их в полном объеме. Сложная система при отказе отдельных элементов и подсистем продолжает выполнение заданных функций при некотором снижении характеристик эффективности.

Качественно оценить РТК резбонарезания и дать количественную характеристику параметрам надежности удается из анализа конструкции опытного образца и результатов его испытаний.

РТК резбонарезания — это совокупность следующих определенным образом взаимосвязанных элементов: полуавтомата, устройств касетирования или автоматической

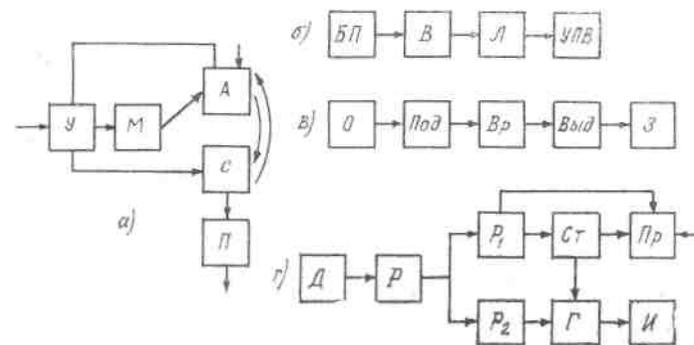


Рис. 108. Функциональные схемы РТК (а), механизма ориентации (б), манипулятора (в), полуавтомата резбонарезания (з): У — система управления; М — манипулятор; А — механизм ориентации и поштучной выдачи деталей; С — полуавтомат; П — устройство приема готовой продукции; БП — блок питания; В — виброавтомат; Л — лоток; УПВ — устройство для поштучной выдачи деталей; О — основание; Под, Вр, Выд — механизмы подъема, вращения, выдвигения; З — схват; Д — двигатель приводной; Р — редуктор раздаточный; P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> — цепи кинематические привода вращения стола (Ст) и силовой головки (Г); Пр — приспособление; И — инструмент

ориентации и поштучной выдачи деталей, системы управления, манипулятора, устройств синхронизации и обратных связей. На рис. 108а представлена функциональная схема РТК резбонарезания. Выход из строя любого элемента приводит к отказу всего РТК, который можно охарактеризовать как простую систему.

Все элементы РТК являются своеобразными подсистемами с определенным характером взаимосвязей составляющих. Так, механизм ориентации (рис. 108б) образован последовательно соединенными блоком питания, виброавтоматом, лотками, устройством для поштучной выдачи деталей. Конструкция механизма ориентации проста, не содержит избыточных элементов, но выход из строя любого элемента приводит к отказу всего механизма. РТК в этом случае продолжает работать в простую, то есть без выпуска продукции. Наиболее характерными неисправностями, которые приводят к отказу механизма ориентации, являются заклинивание деталей в лотках, изменение параметров питающей сети, нарушение ориентации деталей в устройстве для поштучной выдачи. Застревают в лотках, как показали наблюдения, лишь бракованные детали, получившие отклонения от норм их изготовления. Устранить заклинивание возможно более тщательным кон-

тролем деталей после штамповочных операций. Применение стабилизаторов напряжения позволяет исключить отклонения параметров механизма ориентации от заданных.

Основным технологическим оборудованием РТК является резьбонарезной полуавтомат, функциональная схема которого изображена на рис. 108г. Останов полуавтомата по любой причине вызывает автоматический останов манипулятора. Для этих целей предусмотрена обратная связь в системе управления.

Манипулятор (рис. 108в) выполнен из последовательно связанных и закрепленных на основании механизмов подъема, возвратно-поворотного перемещения и выдвижения. С механизмом выдвижения связан схват. Отказ любого элемента манипулятора приводит к прекращению выдачи продукции.

Функциональная схема системы управления также построена на основе последовательного соединения элементов. Однако ее надежность может быть существенно повышена резервированием элементной базы.

Таким образом, надежность  $P$  РТК с последовательным соединением элементов определяется выражением вида [9]

$$P = \prod_{i=1}^N P_i,$$

где  $P_i$  — надежность  $i$ -го элемента РТК;  $N$  — число

элементов в комплексе.

Надежность  $P_i$  каждого элемента РТК равна

$$P_i = \prod_{j=1}^n P_j,$$

где  $P_j$  — надежность  $j$ -го элемента в подсистеме;  $n$  — число элементов в подсистеме.

Оценка надежности системы должна производиться, как правило, по результатам испытаний большого количества образцов и по основной характеристике надежности — вероятности безотказной работы [9]

$$P = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$$

где  $n$  — количество отказавших РТК;  $N$  — количество испытываемых РТК.

Количественную оценку надежности элементов и непосредственно РТК как опытных образцов можно производить на основе установления известных критериев [10].

Последовательность исследования следующая. На первом этапе проводятся фактические наблюдения за рабо-

той РТК с хронометражем производительных периодов и простоев. Целесообразно производить комплексные исследования и производительности РТК, и надежности его работы, фиксируя все элементы затрат планового фонда времени. Ведется учет возникающих отказов, способов и длительностей их устранения. В дальнейшем производится обработка данных наблюдений, расчет интервалов безотказной работы РТК или его элементов. На основе полученных данных осуществляется группирование результатов по интервалам и построение диаграммы распределения длительности безотказной работы. Строится функция надежности. Для этого расчетные значения статистических вероятностей откладываются на диаграмме в соответствии с выбранными границами временных интервалов. Определяют вероятностную функцию надежности по формуле [10]

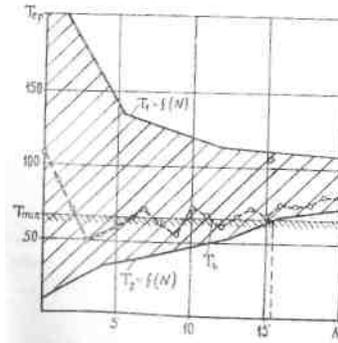
$$P(t) = e^{-\frac{t}{T}}$$

Важно так спланировать испытания, чтобы с заданной достоверностью определить интервал нахождения требуемого показателя надежности (например, длительности безотказной работы).

Если  $t$ ; — время безотказной работы РТК в одном из

интервалов, а  $a$ -заданная

доверительная вероятность расчетов, то можно рассчитать средние значения  $T$  времени безотказной работы, как случайной величины, и соответствующие границы  $T_1/T_2$  доверительных интервалов нарастающим итогом до пересечения одной из них с линией допустимого значения  $T_{\min}$ . Пересечение с нижней границей означает приемку РТК, с верхней — неприему. Момент пересечения определяет необходимую длительность  $n$  испытаний и их прекращение (рис. 109). То есть должно удовлетворяться условие  $T_1 < T_{\min} < T_2$ . Если  $T_{\min}$  задается, то  $T_1$  и  $T_2$  рассчитываются следующим образом:  $T_1 = T_{r1}$ ;  $T_2 = T_{r2}$ ,



Фактических показателей

где  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  — коэффициенты, характеризующие величину верхней и нижней границ доверительного интервала, в котором находится искомый параметр.

$$\text{Таким образом, имеем } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \Gamma_1 \leq T_{min} \leq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \Gamma_2,$$

$$\text{или } n \geq \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T_{min}} \Gamma_1; \quad n \leq \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{T_{min}} \Gamma_2.$$

При выполнении последних условий испытания прекращаются и делается вывод, что РТК удовлетворяет требованиям надежности, и по параметру длительности безотказной работы может быть принят.

Минимально допустимую величину  $T_{min}$  длительности безотказной работы обосновываем следующим образом. Если при экспоненциальном законе распределения вероятность  $P(t)$  безотказной работы определяется выражением

$P(t) = e^{-\lambda t}$ , то при заданных вероятности  $P(t)$  и среднем времени безотказной работы  $T$  длительность  $t$  безотказной

работы составит  $t = T \ln \frac{1}{P(t)}$ .

Вычисленную величину  $t$  можно использовать для планирования длительности исследования РТК.

По данным хронометражных наблюдений суммарное эффективное время работы РТК составило 6777 мин, суммарное время устранения отказов — 1138 мин, общее число отказов — 49. Нарботка на отказ РТК составила 137 мин.

а среднее время восстановления работоспособности — 23,2 мин.

Для определения функций надежности РТК, а также для оценки достоверности показателей, полученных при исследовании, был установлен закон распределения времени безотказной работы

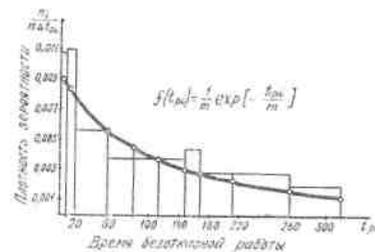


Рис. 110. Гистограмма и выравнивающая кривая распределения времени безотказной работы РТК

работы для расчетной гистограммы описывается уравнением вида

$$f(t_{pi}) = \frac{1}{m} \exp\left(-\frac{t_{pi}}{m}\right),$$

где  $m$  — математическое ожидание времени безотказной работы;  $t_{pi}$  — длительность безотказной работы.

Сравнение полученной теоретической кривой распределения и статистического распределения экспериментальных данных проведено по критерию Пирсона  $\chi^2$ .

По таблице значений критерия Пирсона (см. Харман Г. Современный факторный анализ. — М.: Статистика, 1972. С. 486) для  $\chi^2 = 5,948$ , с числом степеней свободы  $Y = 8$  получена вероятность 0,666. Это подтверждает, что распределение времени безотказной работы происходит по экспоненциальному закону.

Следовательно, эксплуатационную надежность РТК в зависимости от времени безотказной работы можно представить уравнением вида  $P(t_{pi}) = \exp(-\lambda t)$

и графической зависимостью, представленной на рис. 111. Результаты исследований эксплуатационной надежности РТК приводят к выводу о необходимости упрощения конструкции как комплекса в целом, так и его элементов с целью увеличения времени наработки на отказ и, как следствие, получения более высокой вероятности безотказной работы. Одним из вероятных практических решений является необходимость сокращения целевых механизмов при неизменности технологических возможностей элементов.

#### 9. d. Исследование возможности автоматической ориентации деталей

Способы автоматической ориентации, используемые в РТК, основываются на технологичности по загрузке деталей, размеры, форма, масса, материал, прочность специфические особенно

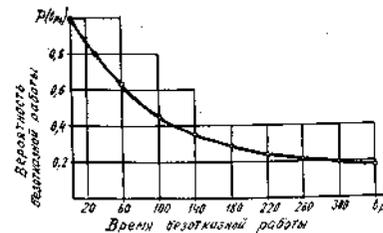


Рис. 111. График функции изменения вероятности безотказной работы РТК

сти которых позволяют производить их автоматиче-

ский поштучный захват из бункера, ориентирование и подачу на позицию обработки с заданными производительностью и точностью.

С точки зрения сложности для захвата и ориентирования детали электроаппаратуры характеризуются следующим образом. Корпусные пространственные детали, представляющие определенный тип, имеют большие габариты (не менее 85 мм), сложную геометрическую форму и пониженную прочность. Это небункеруемые детали, рациональным вариантом при автоматизации загрузки которых является применение магазинных устройств или кассет. Ориентирование и закладка корпусных деталей в магазин (кассету) должны производиться вручную.

Изогнутые и плоские детали относятся к бункеруемым, то есть могут находиться в навале, транспортироваться и поштучно выдаваться. Задача управления процессом автоматического ориентирования, совокупности различных перемещений, в результате которых деталь приводится в определенное положение относительно заданных ориентирующих поверхностей в пространстве, заключается в том, чтобы из всех возможных устойчивых различных положений деталей выбрать по одному, заданному технологическим процессом обработки, в которых осуществляется их целенаправленный перенос от устройства для поштучной выдачи и установка на позицию обработки.

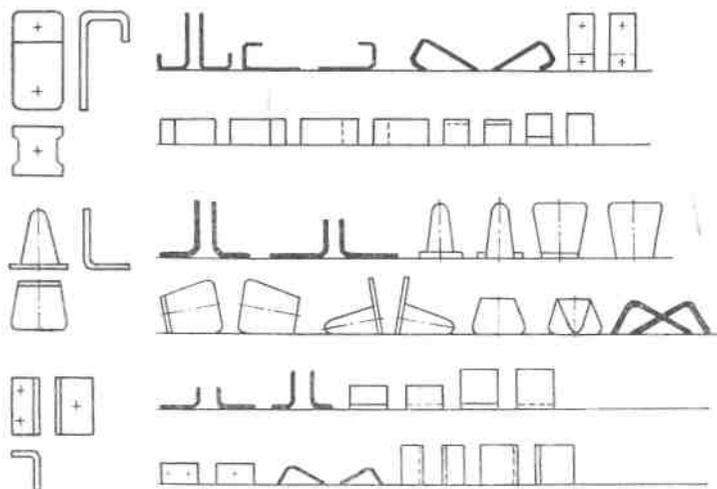


Рис. 112. Различные положения изогнутых деталей на горизонтальной ориентирующей поверхности

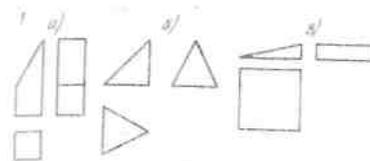


Рис. 113. Формализованное изображение изогнутых деталей в виде многоугольников

тельно взаимоперпендикулярных горизонтальной и кальной плоскостей достигает шестнадцати (рис. 112) и теоретически может быть выявлено по формуле

$$N = \sum_{l=1}^{i=m} \frac{K_l}{S_l},$$

где  $K_l$  — количество сторон  $l$ -й различимой грани;  $S_l$  — порядок оси симметрии, пересекающей  $l$ -ю различимую грань многогранника (отсутствие оси симметрии рассматривается как наличие оси симметрии первого порядка);  $m$  — количество различных граней многогранника.

Считая формализовано изогнутые детали (рис. 113)

относи-

$$N_a = \frac{4}{2} + \frac{4}{2} + \frac{4}{2} + \frac{4}{2} + \frac{4}{1} + \frac{4}{1} = 16;$$

$$N_b = \frac{4}{1} + \frac{3}{1} + \frac{3}{1} + \frac{3}{1} + \frac{3}{1} = 16;$$

$$N_c = \frac{4}{2} + \frac{4}{1} + \frac{4}{1} + \frac{3}{1} + \frac{3}{1} = 16.$$

Это значит, что теоретически необходимо 15 движений для получения заданного положения детали. Практически же в процессе транспортирования определяющую роль играют критерии сложности по так называемым физическим и геометрическим ключам ориентирования.

У рассматриваемых изогнутых деталей имеются плоскости симметрии (табл. 16), а координаты центров масс в них смещены к ребрам с большими площадями. Это создает предпочтительные условия некоторым различным положениям по отношению к другим, в которых находится основная часть изогнутых деталей при вибротранспортировании, основном способе выноса подобных деталей из навала. Этот признак, присущий всем изогнутым деталям,

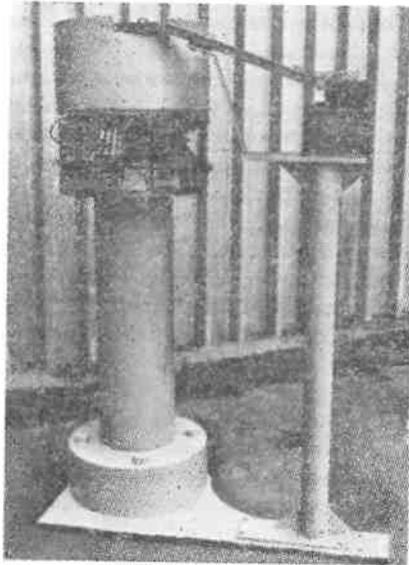
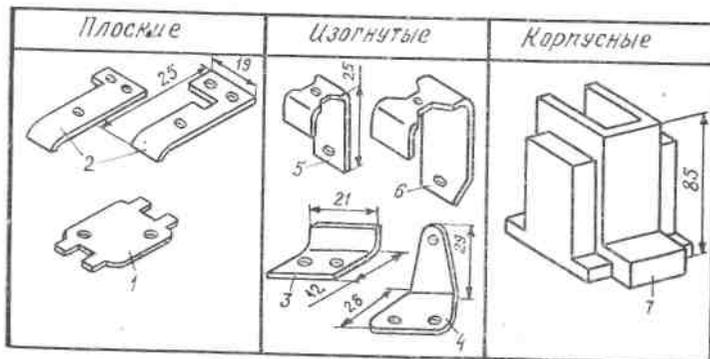


Рис. 114. Общий вид вибрационного механизма ориентации и устройства для поштучной выдачи

следует принять за основу при создании универсального механизма ориентации.

В целях проверки данного предположения проведены следующие исследования. Изготовлен вибрационный механизм ориентации (рис. 114), параметры которого вычислены известными методами. За основу при расчете выбран наибольший размер, равный 29 мм, выявленный

### 16. Конфигурация деталей



### 17. Параметры вибрационного механизма ориентации

Диаметр бункера D, мм	Шаг спирали лотка h, мм	Высота чаши II, мм	Ширина лотка B, мм	Угол подъема лотка $\theta$ , град.	Угол наклона подвеса $\alpha$ , град.	Частота колебаний лотка f, Гц
400	50	225	от 36 до 35	2°11'	от 11 до 12	50

у детали 4 — стойка (табл. 16). Параметры вибрационного механизма ориентации корректировались в процессе отладки и в табл. 17 приведены их значения, используемые в процессе исследования.

Высота чаши бункера выбиралась таким образом, чтобы на выходе обеспечивалось поштучное разделение деталей с зазором между ними.

Первоначально выявлялись все положения, занимаемые

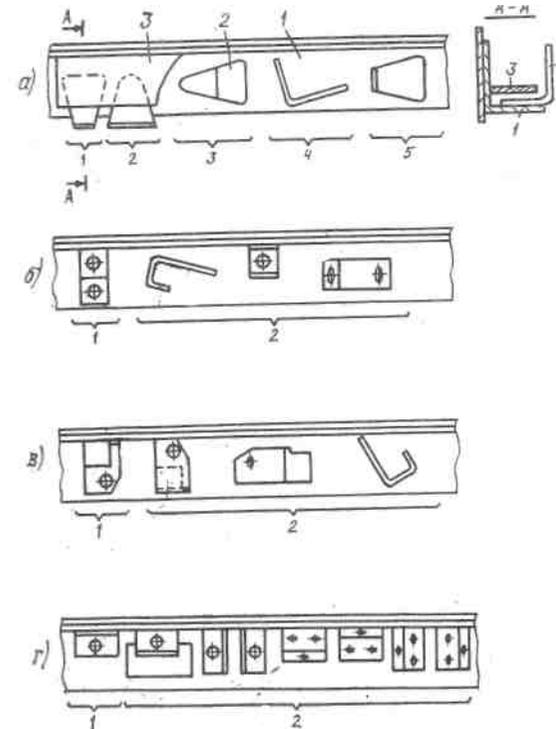


Рис. 115. Схемы контактного ориентирования изогнутых деталей: 1—лоток; 2—деталь; 3—упор; 4—паз

изогнутыми деталями, которые относятся к 3, 4, 5 и 6 подгруппам (табл. 16), в процессе вибротранспортирования. Далее исследовались возможность получения требуемого для загрузки в приспособление положения деталей и производительность механизма ориентации.

Установлено, что детали всех типоразмеров перемещаются по лотку, поштучно разделяются и занимают необходимые для дальнейших манипуляций положения.

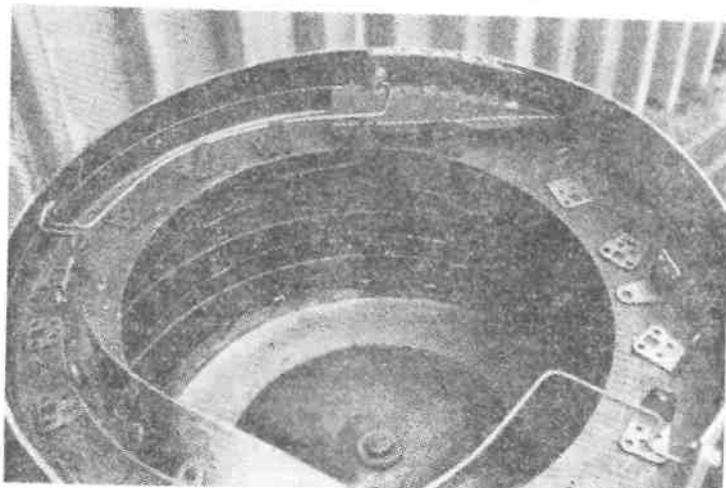


Рис 116 механизма ориентации. Конструкция бункера вибрационного

У детали 4 — стойка выявлены четыре устойчивых различных положения (рис. 115а): стойка движется на гранях с большей или меньшей площадью (положения 1 и 2) и на ребрах с плоскостью симметрии, расположенной вертикально или горизонтально (положения 3 и 4). Стойка должна проходить по лотку лишь в положении 1. Положения 2, 3 и 4 отсекаются упором (рис. 115а), причем стойки, ориентированные в положение 2, падают в бункер из-за перевеса центра масс над краем лотка. Целесообразным оказалось использование двух упоров, разнесенных друг относительно друга. Первый упор отсекает стойки, движущиеся в положениях 3 и 4, а также осуществляет поштучное разделение сцепленных деталей. Виброориентирование стойки показало, что имеется еще одно — пятое положение, снижающее эффективность работы механизма. Некоторые детали, движущиеся на гранях с большей площадью, проходят первый упор и разворачиваются вертикальной гранью к стенке чаши бункера. В результате этого они отсекаются вторым упором, который можно увидеть на рис.116. Однако основная часть (от 65,7 до 71,8%) деталей занимает требуемое

положение, что характеризует удовлетворительную отдачу механизма ориентации (отдача -это отношение числа деталей, занявших правильное положение, ко всем деталям прошедшим стадию ориентирования)

Деталь 3, также названная стойкой (табл. 16) имеет более простую конструкцию и при движении по лотку занимает восемь устойчивых различных положений (рис. 115г) из шестнадцати возможных. Этому способствует вибрация бункера. Удовлетворяет технологическим условиям лишь положение 1, а все остальные отсекаются пазом в лотке. Соотношение отсекаемых и требуемых положений стойки приближается к 1. Наиболее высокими оказались коэффициенты отдачи механизма ориентации при транспортировании несимметричной изогнутой ламели (деталь 6) и ламели с плоскостью симметрии (деталь 5). Несимметричная ламель имеет два исполнения, являющихся зеркальным отображением друг друга. Поведение обоих типоразмеров детали 6 при вибротранспортировании и не имеет отличий. В среднем 91% этих деталей получает необходимую ориентацию без дополнительных приспособлений. Остальные положения (рис. 115в) отсекаются упором. Подобные положения на лотке занимают и ламели

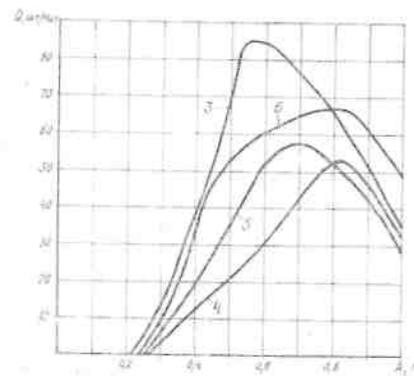


Рис.117. Зависимость производительности Q Вибрационного механизма ориентации от Амплитуды A колебаний вибратора

плоскостью симметрии (рис. 1156). В положение 1 выходят до 92% деталей, а остальные отсекаются упором.

Таким образом очевидно, что механизм ориентации единого конструктивного исполнения может быть применен для выдачи изогнутых деталей пяти типоразмеров. При этом не требуется дополнительных переналадок.

Наивысшую производительность (рис. 117) обеспечивает механизм при ориентации детали 3, которая имеет минимальную массу. Это происходит несмотря на то, что 50% деталей отбраковываются. Оптимальный режим механизма ориентации при амплитуде от 0,3 до 0,5 мм, когда детали движутся без отрыва от лотка. При амплитуде от 0,6 мм и более производительность теряется за счет снижения коэффициента отдачи, так как детали движутся с подбрасыванием и переориентируются.

Для остальных деталей рациональные режимы вибро-транспортирования требуют амплитуды колебаний от 0,5 до 0,7 мм. При этом обеспечивается производительность от 20 до 50 шт./мин у 4; от 30 до 55 шт./мин у 6 и от 48 до 64 шт./мин у 5 детали, причем иных переналадок механизма ориентации не требуется.

Таким образом, установлена способность механизма ориентации без дополнительных переналадок выдавать в требуемом положении пять типоразмеров изогнутых деталей электроаппаратуры.

Однозначное позиционирование деталей в зоне захвата их манипулятором осуществляет устройство для поштучной выдачи. Детали механизмом ориентации подаются в

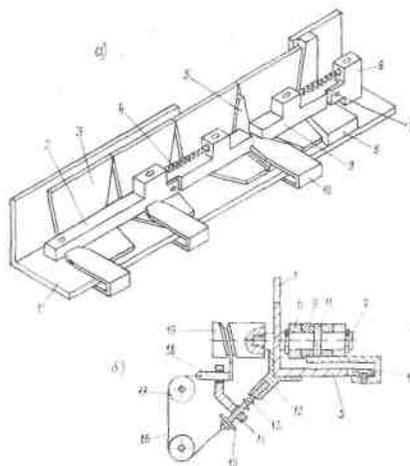


Рис. 118. Общий вид (а) устройства для поштучной выдачи изогнутых деталей и механизм (б) привода профильной скобы-1—лоток; 2, 6—стойки правая и левая; 3—деталь; 4, 13—пружина; 5—скоба профильная; 7—ось; 8—упор; 9—створка; 10—скоба опорная; 11—штифт; 12—тяга; 14—опора направляющая; 15—упор жесткий; 16—трос; 17—

система блоков; 18—рычаг; 19—кулачок

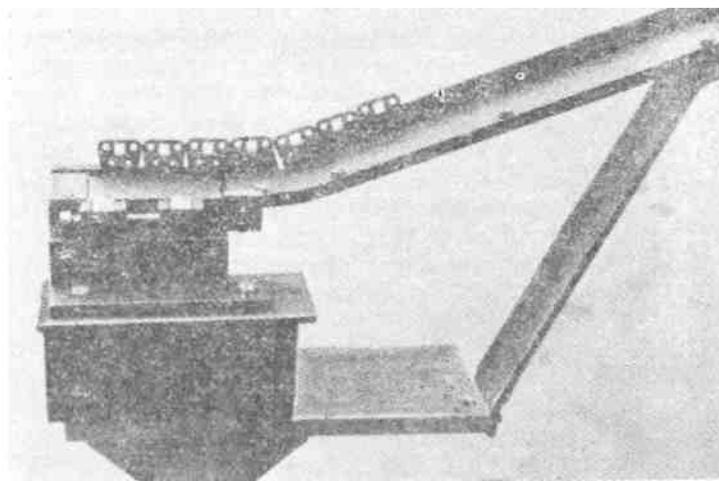
устройство для поштучной выдачи последовательно. Далее происходит устранение влияния вибрации, подготовка к захвату одной или одновременно двух-трех деталей, их однозначная фиксация.

Устройство для поштучной выдачи деталей может быть выполнено (рис. 118) из лотка-накопителя, на котором закреплены правая стойка, опорные скобы, упор и механизм привода профильной скобы. Последний состоит из тяги, размещенной в направляющих и связанной с профильной скобой возвратной пружины, жесткого упора, системы блоков с проложенным по ней тросом, рычага и кулачка. Рычаг выполнен с возможностью поступательного перемещения в направляющей опоре и кинематически связан с кулачком, закрепленным в стойке, на которой установлена с возможностью вращения правая створка. На опорных скобах закреплена левая стойка, которая с помощью оси связана с левой створкой. Обе створки прижаты к опорной скобе пружинами, которые одним концом закреплены в левой и правой стойках. Ось связана со створкой с помощью штифта. Две крайние правые детали отделены друг от друга профильной скобой, обеспечивающей точность и жесткость ориентации деталей.

Устройство<sup>1</sup> работает следующим образом. По лотку-накопителю 1 изогнутые детали 3 транспортируются в зону захвата. Крайняя правая деталь затормаживается упором 8 и занимает требуемое положение, опираясь своей торцевой поверхностью на профиль упора 8. Между крайней правой и следующей за ней деталями, по мере опускания створок 9, диагонально выходит в специальное окно, выступая за плоскости лотка-накопителя 1, профильная скоба 5. Таким образом, вторая деталь однозначно фиксируется на лотке-накопителе 1. Схват манипулятора зажимает одновременно две детали и поднимает их вертикально вверх. При этом детали, воздействуя на створки 9, поднимают их, сжимая пружины 4 и поворачивая ось 7. Вместе с последней вращается кулачок 19, вдоль профиля которого перемещается в направляющей опоре 14 рычаг 18. Рычаг 18, в свою очередь, движет тягу 12 с помощью проложенного в системе блоков 17 троса 16. Тяга 12, жестко связанная с профильной скобой 5, утапливает ее до уровня плоскостей лотка-накопителя. Это позволяет деталям, расположенным на лотке-накопителе, проскальзывать в зону фиксации (или захвата).

В момент выноса деталей схватом манипулятора створки 9,

Рис. 119. Общий вид устройства для поштучной выдачи изогнутых деталей



выпуская детали, возвращаются в исходное положение и вновь прижимаются пружинами 4 к опорной скобе 10 и деталям. В период возвратного движения створок 9 ось 7 и кулачок 19 вращаются в противоположную сторону, в результате чего возвратная пружина 13 выдвигает профильную скобу 5 над плоскостями лотка-накопителя. Выдвижение профильной скобы ограничено жестким упором 15. Далее цикл повторяется.

Устройство, общий вид которого показан на рис. 119, позволяет располагать в зоне захвата манипулятора одну или одновременно две детали сложной конфигурации с требуемой точностью. Однозначная и точная фиксация деталей повышает надежность их захвата и работу РТК в целом. Кроме того, профильная скоба, используемая для раздвижения двух деталей, подлежащих захвату манипулятором, на требуемую величину позволяет полностью завершить процесс автоматического ориентирования.

При выбранном вибрационном методе ориентации деталей колебания транспортного лотка, о чем говорилось выше, передаются на устройство для поштучной выдачи. Возникают явления смещения деталей от заданного положения и заклинивания.

Для исключения этих неблагоприятных явлений предпринимались следующие мероприятия: уменьшался зазор в направляющих лотка, усиливалась пружина, воздейст-

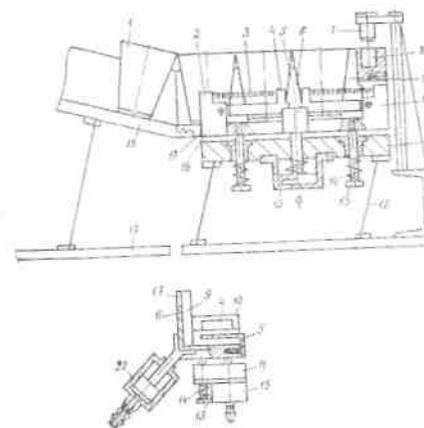


Рис. 120. Устройство для поштучной выдачи деталей с разъемным лотком-накопителем: 1—деталь; 2—стойка левая; 3, 14—пружина; 4—створка; 5, 16—скоба опорная; 6—скоба профильная; 7—фиксатор; 8—отверстие; 9—упор; 10—стойка правая; 11—плита опорная; 12—пружина плоская; 13—направляющая; 15, 20—цилиндр; 17—лоток подвижный; 18—лоток-накопитель; 19—основание

вующая на прижимные створки. Однако эти конструктивные усовершенствования ограничены проходимостью в лотке с одной стороны и усилием зажима деталей схватом манипулятора с другой.

Целесообразно производить захват неподвижных деталей, для чего необходимо либо отключать привод механизма ориентации в момент захвата (что однако не исключает указанных выше недостатков), либо выносить детали с лотка на неподвижное устройство для поштучной

выдачи.

В качестве варианта модернизации устройства для поштучной выдачи предложена фиксация лотка-накопителя на неподвижное основание. Рис. 120 поясняет принцип действия модернизированного устройства. По лотку-накопителю детали транспортируются в зону захвата. Как и прежде крайняя правая деталь затормаживается упором и занимает требуемое положение, опираясь своей торцевой поверхностью на профиль упора. Между крайней правой и следующей за ней деталями диагонально выходит в окно, выступая за плоскости подвижного лотка, профильная скоба. 157

Перемещает профильную скобу цилиндр. Таким образом, вторая деталь однозначно фиксируется на лотке. Затем второй цилиндр поднимает лоток вертикально вверх, разъединяя его с лотком-накопителем на величину, обусловленную длиной направляющих. Фиксатор при этом входит в отверстие, имеющееся на лотке, обеспечивая жесткость конструкции и исключая смещение лотка относительно основания. Торцевая поверхность лотка, выступая над плоскостью лотка-накопителя, выполняет функцию отсекающего и препятствует продвижению деталей. Схват манипулятора зажимает одновременно две детали и поднимает их вертикально вверх. Детали воздействуют на створки, поднимают их и сжимают пружины, которые после выноса деталей возвращают створки в исходное положение. Цилиндры утапливают профильную скобу за плоскости лотка, разрывают кинематическую связь лотка с основанием и устанавливают контакт с лотком-накопителем. Детали поступают в зону позиционирования и фиксируются профильной скобой. Далее цикл повторяется. Конструкция защищена а. с. СССР № 918014.

Приемлема фиксация деталей в переменном магнитном поле с их отрывом от базировочных поверхностей лотка механизма ориентации или с подъемом лотка непосредственно с деталями. Удержание деталей в ориентированном положении должно продолжаться заданное время. Здесь имеется ряд преимуществ: отсутствует контакт деталей с вибрирующими поверхностями лотка на время захвата их манипулятором; упрощается конструктивная схема схвата из-за возможности раздвижения деталей путем установки электромагнитов на заданном расстоянии друг от друга; появляется возможность использовать подвижную часть лотка в качестве отсекающего [5]. Данное конструктивное решение, изображенное на рис. 18, имеет и недостатки: зависимость положения деталей от погрешности позиционирования либо подвижной части лотка, либо самих деталей (при неподвижном лотке); влияние параметров лотка, деталей, размеров зоны захвата на мощность электромагнитов устройства для поштучной выдачи; влияние способа захвата деталей на мощность электромагнитов устройства; возможность переориентации деталей в устройстве.

Однако устройство, в котором детали, поступающие от механизма ориентации, отсекаются попарно и отрываются в электромагнитном поле от лотка, прижимаясь к базировочным поверхностям диэлектрической пластины, независимой от колебаний лотка, следует признать наиболее перспективным. Однозначно зафиксированные детали зажимаются

схватом манипулятора и затем раздвигаются до заданного межосевого расстояния. Детали при этом выходят из зоны взаимодействия с диэлектрической пластиной и могут свободно транспортироваться в пространстве. Здесь также можно достичь следующих преимуществ: обеспечить стабильность фиксированного положения деталей из-за наличия специальных базировочных поверхностей; иметь независимость базировочных и транспортирующих поверхностей; исключить влияние колебания электрических параметров блока питания и изменение толщины деталей на их положение в устройстве; расширить функциональные свойства устройства для поштучной выдачи и применять типовую конструкцию для ориентации деталей нескольких типоразмеров; перейти на применение менее точного схвата манипулятора; менять способы захвата деталей; менять количество одновременно захватываемых

деталей.

Для обеспечения надежной работы устройства для поштучной выдачи выгодно запускать генератор только на время фиксации деталей и их захвата. Это требует импульсного характера работы генератора.

Создание импульсного характера магнитного поля в зоне силового воздействия вместо непрерывного позволяет во время включения электромагнита повысить значение амплитуды индукции пульсирующего магнитного поля той же частоты. В связи с этим создается момент большей электродинамической силы пропорционально квадрату индукции. Усиливается эффект ориентирования и фиксации при равной средней величине затрачиваемой энергии. Иллюстрация данного явления изображена на рис. 121. Здесь показана амплитуда индукции

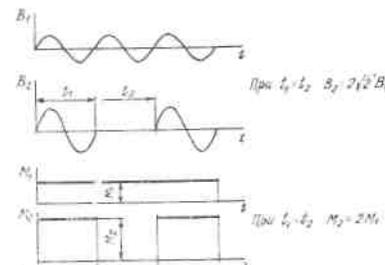


Рис. 121. Амплитуда индукции и усредненное значение развиваемого момента магнитного поля при

аже на рис. 121. Здесь показана амплитуда индукции. При среднем значении энергии, затрачиваемой на образование непрерывного пульсирующего поля и импульсного. Если считать что длительность импульса  $t_1$  равна длительности  $t_2$  паузы между импульсами, то при равной частоте, но разном характере работы величина амплитуды индукции магнитного поля в импульсах  $2\sqrt{2}$  раза больше. Соответственно усредненное

значение момента электродинамических сил в периодически включаемом импульсе в два раза больше, чем при непрерывно пульсирующем магнитном поле.

#### 9.4. Обоснование точности характеристик РТК

Взаимодействие манипуляционных устройств с оснасткой основного технологического оборудования приводит к необходимости оценки требуемой точности позиционирования детали относительно установочных баз приспособления, установления истинной погрешности позиционирования манипулятора, достижения баланса названных параметров для обеспечения работоспособности комплекса.

В РТК резьбонарезания приспособление для установки детали (рис. 122) выполнено с возможностью размещения в нем одной или двух (трех) деталей одновременно и состоит из опоры 1, в кронштейнах которой установлена ось 2. На оси закреплена откидная планка 3, свободным концом опирающаяся на винт 4 и прижимаемая к последнему пружиной 5. На откидной планке крепится планка прижимная 6. В ней выполнены пазы 7 и 8 для выхода инструмента и размещения деталей. При смене ТИПОРАЗМЕРА НА РТК детали достаточ-

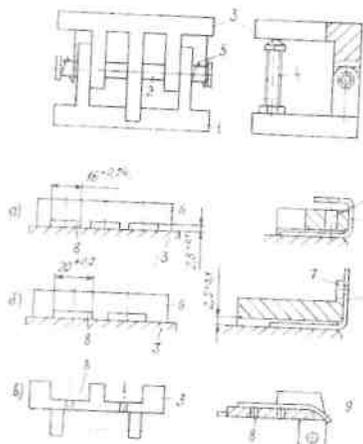


Рис. 122. Приспособление для установки детали: 1—опора; 2—ось; 3—планка откидная; 4—винт; 5—пружина; 6—планка прижимная; 7, 8—пазы для выхода инструмента и размещения детали; 9—деталь.

но сменить прижимную планку 6 приспособления.

Деталь 9 в приспособление устанавливается манипулятором. По окончании обработки деталей в зоне разгрузки полуавтомата планка 3 набегает на рычаг, который вращает ее вокруг оси 2. При этом детали самопроизвольно выпадают в лоток-приемник, освобождая приспособление.

Опора 1 крепится к поворотному столу полуавтомата и выставляется в требуемые координаты штифтами.

Исследуем размерные характеристики двух типовых размеров деталей и уста-

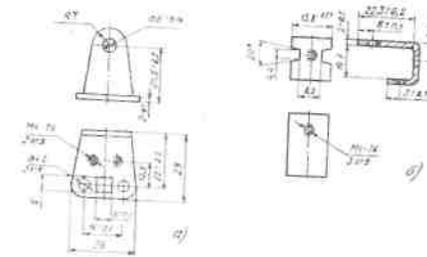
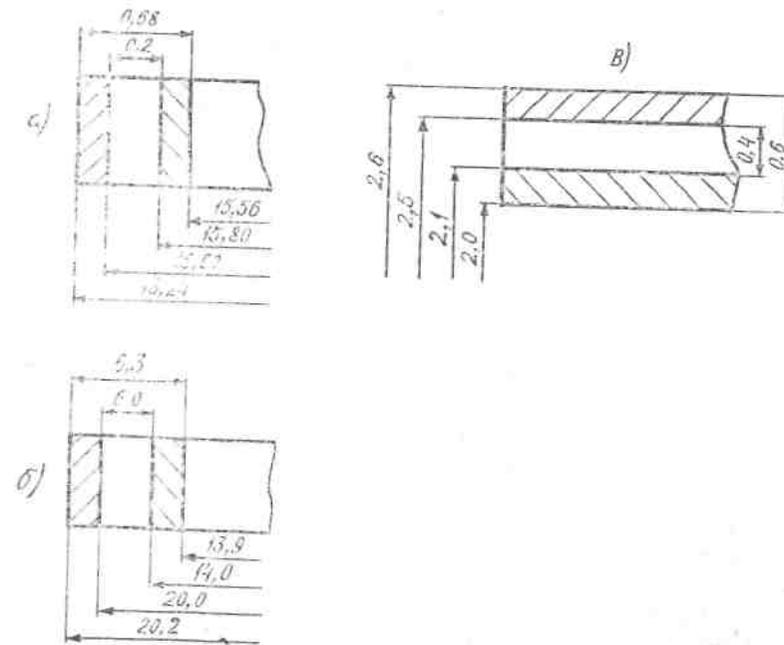


Рис. 123. Конструкции изогнутых деталей

новочных пазов приспособлений. Для этого проанализируем их рабочие чертежи (рис. 122, 123). В приспособлениях пазы 8 для размещения деталей имеют размеры  $16^{+0,24}$  мм и  $20^{+0,20}$  мм по ширине и  $2,5^{+0,1}$  мм (у обоих приспособлений) по высоте. Размеры посадочных мест одной детали, соответственно,  $15,8^{+0,24}$  мм и  $2^{+0,1}$  мм, а другой—  $14^{+0,1}$  мм и  $2^{+0,1}$  мм.



На теоретических схемах (рис. 124) расположения полей допусков приспособления и детали, построенных согласно исходной информации, видно, что по ширине (рис. 124а,б) гарантированный зазор между ними в одном случае равен 0,2 мм, а в другом — 6,0 мм. Максимально возможный зазор для тех же вариантов составляет 0,68 мм и 6,3 мм.

По высоте (рис. 124в) размерная характеристика деталей обоих типоразмеров одинакова. Гарантированный зазор между деталью и приспособлением равен 0,4 мм, а максимально возможный зазор составляет 0,6 мм.

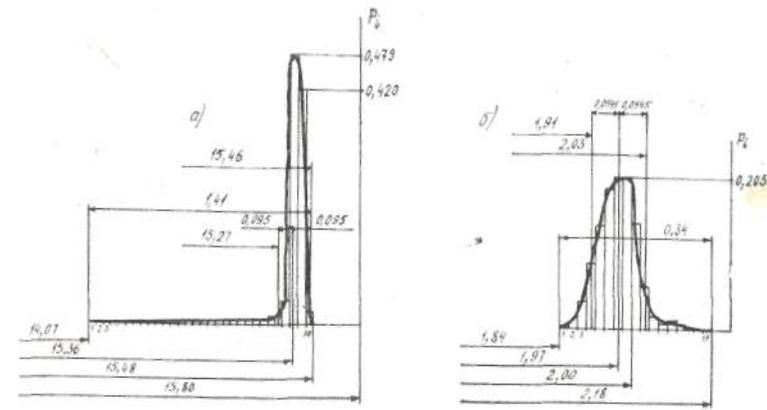
Принимать в качестве исходных для обоснования точности позиционирования детали относительно приспособления минимальные значения зазора нецелесообразно. Они являются жесткими ограничениями при создании системы управления. Максимальные же значения, полученные в результате того, что деталь одного из типоразмеров загружается в приспособление меньшим основанием трапеции, нами не рассматриваются. Считаем, что конструктивные особенности детали создают благоприятные, в виде относительно большого гарантированного зазора, условия для ее загрузки.

Выводы о рациональной точности позиционирования детали относительно приспособления получим после статистического анализа их размеров. В дальнейших рассуждениях примем размеры пазов для размещения деталей во всех приспособлениях одинаковыми, что технически выполнимо без особых затруднений.

Рассеивание размеров, вызываемое погрешностью обработки, рассматривается в практике как функция многих случайных факторов. Для определения суммарной погрешности обработки деталей используется теория вероятности. Рассеивание размеров, как величин случайных, можно изобразить графически в виде кривой.

Кривые рассеивания размеров ширины и толщины деталей построим для партии в количестве 1000 шт. Для этого произведем измерения названных партий деталей двух типоразмеров. Измерениями установлены действительные наибольшие  $P_6$  и наименьшие  $P_m$  размеры ширины и толщины деталей. По разности наибольшего и наименьшего размеров определено поле рассеивания  $w = P_6 - P_m$ , мм.

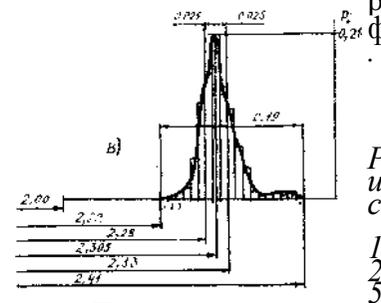
Поле рассеивания размеров  $w$  ширины детали разбито на 30, толщины — на 17 и 19 интервалов. Среднее значение размера  $x_i$  всех интервалов рассчитывалось как среднеарифметическое предельных значений размеров. Количество  $m_i$  значений размеров, находящихся в пределах каждого интервала, и называемое частотой выпадения размера, определено измерениями. Вероятность  $P_i$  выпадения размера для каждого интервала равна  $P_i =$



$T_r/1000$ .

Центр группирования  $M$  — величина, возле которой группируется большинство размеров, рассчитывается по формуле

$$\text{формуле } M = \sum_{i=1}^l x_i P_i$$



Р  
и  
с  
1  
2  
3

Практические кривые рассеивания размеров ширины (а) и толщины (б, в) детали

Параметр, характеризующий как далеко или близко расположено преобладающее число размеров от центра группирования, называется среднеквадратическим отклонением  $\sigma$  и определяется как  $\sigma = \sqrt{D}$ , где  $D$  — дисперсия размеров, мм.

$$D = \sum_{i=1}^l (x_i - M)^2 P_i$$

Построение практических кривых рассеивания размеров ширины (рис. 125а) и толщины (рис. 125б,в) деталей позволило установить следующее. При номинальном размере ширины детали 15,8<sup>±0,24</sup> мм максимальный размер, встретившийся в партии, равен 15,48 мм. Остальные размеры расположились вдоль поля рассеивания с различной частотой в сторону уменьшения до 14,07 мм. Большинство размеров ширины детали выявлено около их центра группирования  $M = 15,36$  мм с величиной среднеквадратического

го отклонения  $\delta = \pm 0,095$  мм. Число деталей, размеры которых не попадают в зону группирования, ограниченную среднеквадратическим отклонением, составляет 2,8% от общего количества измеренных. Можно принять величину центра группирования за номинальный размер, а среднеквадратическое отклонение — за поле допуска изготовления ширины детали. При создании РТК целесообразно скорректировать технологический процесс по указанным рекомендациям.

Аналогичная картина выявлена при анализе практической кривой рассеивания толщины детали (рис. 125б). Основная часть размеров группируется относительно центра  $M = 1,97$  мм в зоне с параметрами  $cg = \pm 0,0545$  мм, а 10,7% размеров толщины детали находится за пределами зоны, ограниченной среднеквадратическим отклонением и принимаемой нами в качестве допущения за поле допуска.

При измерении толщины деталей другого типоразмера (рис. 125в) установлено, что величина центра группирования  $M = 2,305$  мм значительно превышает номинальный размер (2 мм). За пределами зоны, ограниченной среднеквадратическим отклонением, находится 28% размеров.

На основе полученных данных построены новые схемы расположения полей допусков приспособления и детали по ширине (рис. 126а) и толщине (рис. 126б, в).

Максимально возможный зазор между деталью одного типоразмера и приспособлением по ширине и толщине увеличился, соответственно, до 0,97 мм и 0,69 мм, а гаран-

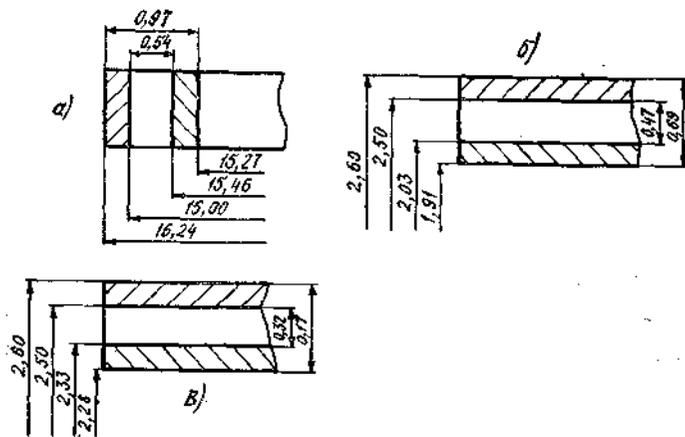


Рис. 126. Фактические схемы расположения полей допусков приспособления и детали по ширине (а) и высоте (б, в)

тированный зазор — до 0,54 мм и 0,47 мм. У детали второго типоразмера те же соотношения уменьшились до 0,32 мм и 0,17 мм. С учетом упомянутой выше корректировки технологического процесса изготовления детали целесообразно увеличить размеры высоты пазов приспособлений, в которых размещаются детали, до  $2,6^{+0}>$  мм. Это позволит, при более жестких допусках на изготовление деталей, определить необходимую точность позиционирования по вертикали  $\pm 0,25$  мм, а по горизонтали  $\pm 0,30$  мм.

Полученные результаты являются исходными при обосновании выбора и расчета принципиальных и конструктивных схем манипулятора, механизма ориентации и поштучной выдачи деталей, системы управления. Ориентация на обоснованные точностные параметры РТК позволяет снизить дополнительные капитальные затраты на роботизацию производства, а впоследствии и эксплуатационные расходы.

Для измерения погрешности позиционирования механизмов манипулятора, движущихся по жестким упорам, наиболее приемлем метод, основанный на визуальном выявлении относительного отклонения размерной настройки конечного подвижного элемента манипулятора в процессе выполнения им циклов движения в холостом режиме и без контакта с измерительным устройством. Принципиальная схема установки (рис. 127) включает в себя жестко закрепленный на индивидуальном основании манипулятор и измерительное устройство. Последнее представляет собой основание, на котором закреплен с возможностью линейного перемещения стол. Стол приводится в движение вращением ходового винта, а в требуемом положении он стопорится. На подвижном столе закреплен осветитель, устройство наблюдения изображения и отсчетный микроскоп. На основании — милли-

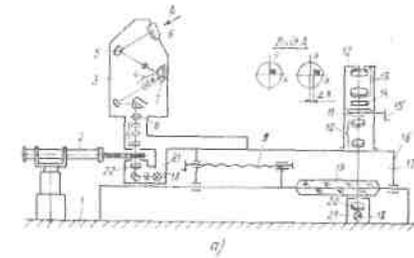
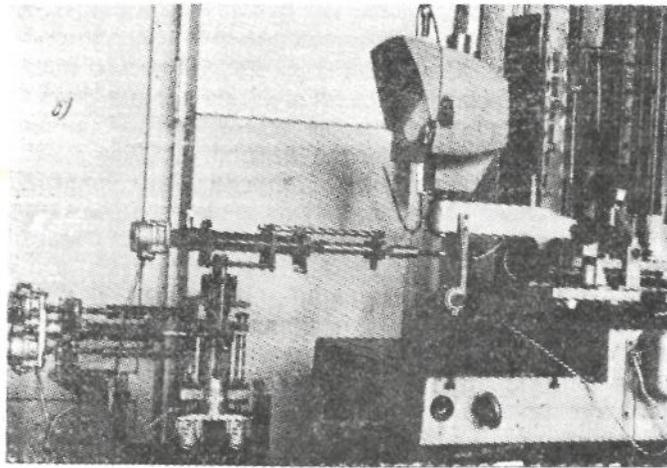


Рис. 127. Оптикомеханическая схема измерения погрешности позиционирования манипулятора (а) и общий вид установки (б): 1 — основание; 2 — манипулятор; 3 — устройство наблюдения изображения; 4, 10 — объектив; 5 — зеркало; 6 — экран; 7 — призма; 8, 11 — диафрагма апертурная; 9 — винт ходовой; 12 — микроскоп отсчетный; 13 — окуляр; 14, 15, 19 — шкалы неподвижная, вращающаяся, миллиметровая; 16 — стол подвижный; 17 — устройство измерительное; 18 — лампа; 20 — линза; 21 — осветитель; 22 — светофильтр



метровая шкала и ее осветитель. Изображение штрихов миллиметровой шкалы совмещается в поле зрения микроскопа с плоскостью вращающейся шкалы, цена деления которой равна 0,001 мм. Точность измерительного устройства достаточна для оценки практически всех известных отечественных и зарубежных манипуляторов.

Измерение производится следующим образом. Конечный подвижный элемент располагается в зоне действия осветителя, а на экране устройства наблюдения его изображение выставляется в начало отсчета координатной сетки экрана (рис. 127а, вид А). С помощью отсчетного микроскопа фиксируется значение установленного размера. В процессе выполнения манипулятором рабочих циклов происходит потеря размерной информации. При этом изображение конечного элемента на экране смещается относительно начала отсчета на величину А. С помощью ходового винта изображение можно вернуть в первоначальное положение путем перемещения подвижного стола относительно основания и, следовательно, отсчетного микроскопа относительно миллиметровой шкалы.

Далее производится сравнение нового значения размера на миллиметровой шкале с предыдущим, а их разность представляет собой характеристику погрешности позиционирования.

Процесс измерений не требует прекращения работы манипулятора, что характеризует метод как весьма высокопроизводительный. Он позволяет при этом последовательно регистрировать настроенную величину размера

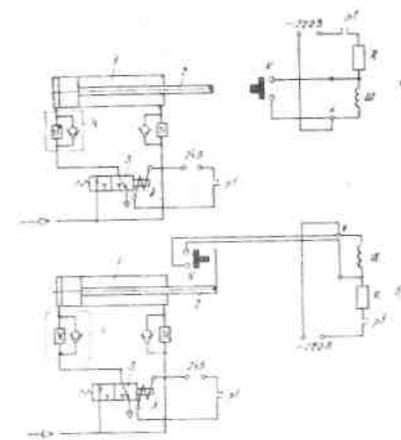


Рис. 128. Схемы измерения потерь размерной информации из-за проворота домого звена манипулятора: а — для прямого хода; б — для обратного хода; 1 — цилиндр; 2 — шток; 3 — распределитель рез тяги на гайку при золотниковый; 4 — демпфер пневматический; Э — электромагнит; P1 — контакт реле запуска распределителя и секундомера; К — кнопка останова измерительная схема

электрическим секундомером, позволяющая регистрировать длительность прямого (рис. 128а) и обратного (рис. 128б) ходов. Отношением известных величин хода штока к затратам времени на перемещение определялись скоростные параметры механизма.

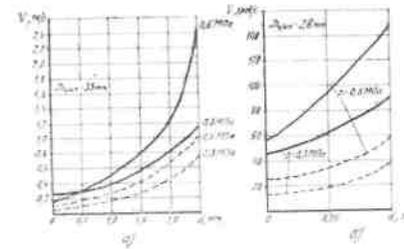


Рис. 129. Зависимости влияния размера дросселирующего отверстия пневматического демпфера на скорости выдвигения (а) и вращения (б) ведомого звена манипулятора: — прямого хода; ----- обратный ход.

двух крайних положений подвижного элемента, что вдвое ускоряет испытания.

Исследование пневмомеханического манипулятора (по а. с. СССР № 722757) с помощью разработанного метода проводилось в два этапа: выявлялось влияние размера дросселирующего отверстия в подвижной шайбе пневматического демпфера на скорость движения штока; фиксировалась по-

Для оценки скоростного режима применялась измерительная схема

Установлено, что механизм манипулятора, предназначенный для выдвигения схвата, развивает скорость прямого хода при соответствующем диаметре дросселирующего отверстия и давлении сжатого воздуха 0,3 МПа от 0,123 до 1,250 м/с (рис. 129а). С увеличением давления до 0,5 МПа и в зависимости от диаметра отверстия в шайбе демпфера скорость

изменяется от 0,176 до 2,500 м/с. Максимальный скоростной режим имеет место при работе механизма без пневматического демпфера.

Скорости обратного хода (рис. 129а) при тех же параметрах изменяются соответственно от 0,068 до 0,816 м/с и от 0,073 до 1,246 м/с. На эти показатели влияет выбранная схема управления, при которой используется один двухпозиционный золотниковый пневматический распределитель, связанный с бесштоковой полостью цилиндра. Штоковая полость цилиндра соединена непосредственно с напорной магистралью. Сложность и габариты такой системы управления минимальны.

На шайбу пневматического демпфера, содержащую дросселирующее отверстие, при прямом ходе действует давление сжатого воздуха со стороны напорной магистрали и сила, обусловленная сжатием воздуха в штоковой полости цилиндра. Наличие двух сил оказывает дестабилизирующее влияние на шайбу и вместе с тем ускоряет процесс разгона, увеличивает установившуюся и, как следствие, среднюю скорости перемещения.

В процессе обратного хода, когда поршневая полость связана через золотниковый распределитель с атмосферой, подвижная шайба однозначно выполняет свою функцию, оказывая заданное сопротивление потоку вытесняемого воздуха.

Для вращения манипулятора вокруг продольной оси применен аналогичный механизм, который обеспечивает скоростной диапазон от 17,31 до 150 град./с (рис. 129б) в зависимости от давления сжатого воздуха и диаметра дросселирующего отверстия в шайбе пневматического демпфера.

Оценка погрешности позиционирования механизма выдвигания производилась следующим образом. Выставлялся рабочий ход механизма  $x_{min}$  и включался автоматический режим работы. На первых циклах работы регистрировалась длительность  $t_i$  перемещения штока на величину  $x_{min}$ . Затем через равные периоды времени  $\Delta t$  (большой частью  $\Delta t = 15$  мин) измерялась потеря размерной информации при прямом и обратном ходе. За указанный период механизм выдвигания обрабатывал от 170 до 675 двойных ходов  $v$ ; зависимости от скоростного режима. Длительность наблюдений за механизмом для всех случаев была определена исходя из следующего. Манипулятор должен гарантировать поддержание постоянной или изменяемой в определенных пределах точности позиционирования в течение длительного времени, которое может быть установлено, например, в половину рабочей смены, т.е. 4 часа. В зависимости от длительности рабочего цикла комплекса ведется расчет количества циклов с механизмом. В расчет брался тот факт, что наиболее вероятными вариантами использова-

ния манипулятора с  $q=3$  и  $k=3$  является РТК с рабочим циклом от 6 до 12 с. При этом каждый механизм обрабатывает от 2400 до 4800 двойных ходов за смену (8 часов). Таким образом, 2400 циклов выбранный предел наблюдений за механизмом. Та потеря размерной информации  $A$ , которая произойдет за указанный период без каких-либо последствий для качественных показателей производственного процесса, будет компенсирована либо в регламентированный перерыв, либо при необходимости в процессе работы РТК. Такая возможность также предусмотрена. После набора заданного числа рабочих циклов вновь регистрировалось время на прямое и обратное перемещение и замеры прекращались. На основе полученных данных строилась зависимость погрешности  $A$  работы механизма от периода  $t$  его работы. Далее усреднялось время как на прямое, так и обратное перемещение, а также само перемещение

$$x_{cp} = \frac{X_{min} + X_{max}}{2} \quad t_{cp} = \frac{t_{1+} + t_{2+}}{2} \quad t_{cp-} = \frac{t_{1-} + t_{2-}}{2}$$

Полученные данные использовались при расчете средних скоростей перемещения

$$v_{cp+} = \frac{x_{cp}}{t_{cp+}} \quad v_{cp-} = \frac{x_{cp}}{t_{cp-}}$$

Погрешность позиционирования за весь период наблюдений вычислялась следующим образом:

$$\Delta_1 = X_{max1} - X_{min1} \quad \Delta_2 = X_{max2} - X_{min2}$$

Эксперимент повторялся для определенной скорости перемещения, затем дублировался для данных величин рабочих (холостых) перемещений, но другой зоны работы механизма. Итоговые результаты показали (рис. 130) непрерывное снижение точности позиционирования механизма по мере роста скорости прямого хода штока. При обратном ходе происходит стабилизация точности размерной информации и ее незначительное изменение с ростом скоростного режима. На эти показатели весьма существенно влияет конструктивная схема механизма. Останов прямого хода осуществляется воздействием тяги на гайку [3], а при обрат-

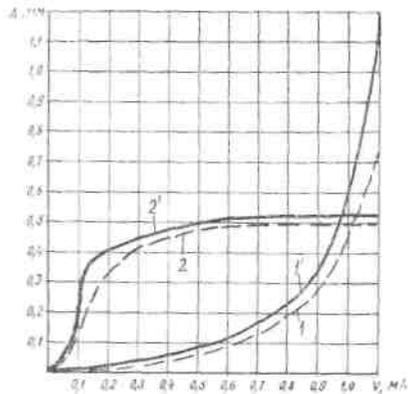


Рис. 130. Зависимости погрешности позиционирования механизма выдвигателя манипулятора от его быстроходности  $v$  и действующей на ведомый элемент нагрузки при давлении сжатого воздуха 0,4 МПа: 1 — прямой ход без схвата; 1' — прямой ход со схватом; 2 — обратный ход без схвата; 2' — обратный ход со схватом.

ном — удар воспринимает тяга, в которой закреплена гайка. Демпфирующее влияние тяги повышает точность механизма при обратном ходе.

Погрешность позиционирования может быть оценена в  $\pm 0,5$  мм (рис. 130) при скорости движения штока, приближающейся к 1 м/с. Снижение скоростного режима приводит к повышению точности позиционирования.

Точность позиционирования может быть повышена, например, путем жесткой фиксации ходовых винтов, определяющих величину перемещения штока цилиндра, в момент действия на них ударных нагрузок [3].

Графические зависимости  $A(v)$  можно представить в аналитическом виде. Качественно характеристика прямого хода механизма приближается к параболическому виду, а обратного — к экспоненте. Возможен расчет эмпирических формул, описывающих данные кривые, программными методами, когда зависимости  $A(v)$  находятся в виде полиномов  $A = Q_n(v)$ . Расчеты заканчиваются при достижении максимальной величины показателя степени, равной 25. Предусмотрено выявление отклонения расчетной величины от заданного значения и проверка истинности эмпирической формулы реальным кривым по двум критериям. По первому критерию вычисляется сумма абсолютных величин отклонений и регистрируется максимальная величина отклонения. По второму критерию производится определение относительных отклонений для каждой конкретной точки и расчет центров группирования и среднеквадратических отклонений с указанием границ полей рассеивания.

Анализ результатов показал, что характеристику прямого хода механизма следует описывать полиномом Остепени, обратного — 5 степени, аналитическое изображение которых имеется в разделе 8.2.1.

Аналитические зависимости  $A(v)$  могут быть использованы при прогнозировании параметров манипулятора в период проектирования.

Кроме того, полученные результаты определяют перспективу совершенствования манипулятора. Оно заключается либо в доработке конструкции и оснащении механизмов средствами фиксации ходовых винтов в момент останова, либо в развитии средств управления движением. В обоих случаях допустимо интенсифицировать скоростной режим. Однако при управлении режимом движения устраняются нежелательные ударные эффекты.

В дальнейшем исследование целесообразно продолжить в направлении, обеспечивающем полное использование мощностных характеристик привода без снижения качественных параметров и усложнения конструктивной схемы, что гарантирует ее практическое применение.

Метод и оценка погрешности позиционирования манипулятора могут быть применены для установления точностных характеристик конструкций, работающих в декартовой, цилиндрической, или сферической системах координат.

Например, суммарная погрешность позиционирования  $A$  манипулятора, работающего в декартовой системе

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^q \Delta_i^2 + \sum_{j=1}^k \Delta_j^2}, \quad \text{где } \Delta_i \text{ и } \Delta_j \text{ — погрешности позиционирования соответствующих механизмов манипулятора и схвата.}$$

В случае равной точности каждого механизма манипулятора и схвата имеем  $\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}$ .

координат, определяется с учетом точности схвата как

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}.$$

Данные зависимости позволяют для удовлетворения требуемой точности позиционирования взаимодействующих элементов РТК, обусловленной технологической необходимостью, синтезировать количество свобод манипулятора и схвата.

Так как измерительное устройство (рис. 127) является двухкоординатным, то для проверки механизма выдвигателя используется ось  $y$ , а для проверки механизмов подъема и поворота — ось  $x$ . Устройство оснащается дополнительной трансмиссией, кинематическая схема которой показана на рис. 131.

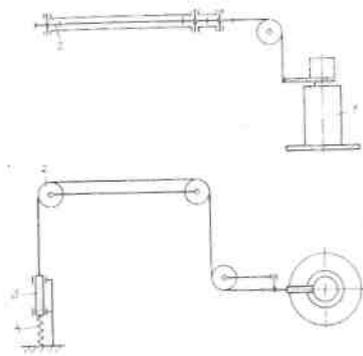


Рис. 131. Кинематическая схема передачи движения от модуля подъема к измерительному устройству: 1 — модуль подъема; 2 — блок; 3 — указатель; 4 — пружина

казана на рис. 131. При этом вход трансмиссии соединяется с подвижным звеном механизма подъема, а выход — с указателем, расположенным в зоне действия осветителя. Смещение указателя  $\Delta y_{\text{ук}}$  на устройстве наблюдения изображения корректируется до истинного значения  $\Delta y$  с учетом передаточного отношения трансмиссии  $\Delta y = \Delta y_{\text{ук}} \cdot i$

### 9.5. Исследование системы управления РТК

Для решения задач автоматизации управления циклом

работы РТК в конструкции системы управления заложены функциональные связи с манипулятором, технологическим оборудованием и механизмом ориентации (рис. 77). Однако при всей сложности функциональных возможностей система управления должна обладать относительно низкой стоимостью, определяющей, как правило, основные затраты на создание комплекса, высокой ремонтпригодностью и надежностью. Предусмотрены устройства управления рабочим циклом исполнительных механизмов манипулятора и настроечными перемещениями упоров. Для управления рабочим циклом разработано цикловое устройство, обеспечивающее точное перемещение исполнительных механизмов с исходного положения в конечном без контроля за процессом движения в промежуточных точках траектории. Оно состоит из функционально связанных между собой элементов, каждый из которых конструктивно выполнен в виде законченного блока. К ним относятся: блок управления, получающий командные импульсы от генератора тактовых импульсов, пульта управления (при вмешательстве оператора) и устройства связи с внешним оборудованием; распределитель импульсов, взаимосвязанный с программносителем и переключателем индикации переходов; блок выходных цепей; распределительная аппаратура.

Программноситель выполнен в виде штеккерной панели, на которой требуемая последовательность движений исполнительных механизмов «записывается» соответствующей расстановкой штеккеров в гнездах панели.

Блок распределительной аппаратуры выполнен с возможностью подключения устройства подготовки сжатого воздуха, в котором происходит его очистка, смазка и настройка рабочего давления, а также содержит выходные элементы, предназначенные для связи с исполнительными механизмами манипулятора.

В системе предусмотрена проверка готовности механизмов основного технологического оборудования к началу цикла. Для этой цели имеется датчик сигналов от внешнего оборудования. В противном случае работа механизмов манипулятора прекращается и начинает осуществляться автоматически лишь после поступления сигнала, подтверждающего выполнение данной операции.

Система управления автономна и обеспечит работу в автоматическом режиме пневмоприводам, механизмы которых движутся по упорам, либо с использованием полной величины рабочего хода.

Система управления настроечными перемещениями упоров используется в работе при подготовке технологического процесса, а также при его корректировке и разработана на первом этапе с учетом непосредственного участия оператора в процессах управления. При смене программы или корректировке величины рабочих перемещений исполнительных механизмов оператор с пульта управления подает командные импульсы на двигатели настройки рабочих перемещений. Контроль качества настройки осуществляется шаблоном.

Перспектива развития системы управления и манипулятора заложена в автоматизации процесса настройки размерной информации, что позволит применить их в производственных процессах сборки.

Параметрами, определяющими конструктивное исполнение системы программного управления, являются, в первую очередь, количество исполнительных механизмов, зависящее от кинематики манипулятора ( $q$ ) и схвата ( $k$ ), их быстродействие и потребляемая энергия. Генератор тактовых импульсов должен обеспечить длительность и частоту чередования импульсов, необходимых для успешного выполнения рабочего цикла.

В общем случае частота  $f$  следования импульсов переключения исполнительных механизмов зависит от длительности позиционирования манипулятора:  $f(T_n)$ . Эта зависимость при условии равенства длительностей рабочего и холостого ходов представлена в табл. 5. С данной частотой должен работать генератор тактовых импульсов для поддержания заданного режима работы комплекса. Предварительная оценка параметров

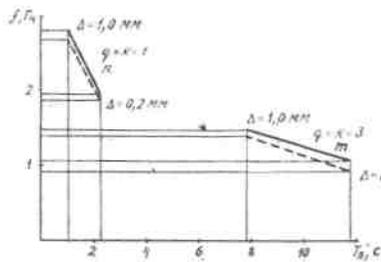


Рис. 132. Зависимость частоты взаимосвязь параметров тактовых импульсов  $f$  от приводной (механической) быстродействия  $T_n$  манипулятор и управляющей частей РТК для  $t=0,02$  с; для  $t=0,03$  с. РТК и являются исходным для проектирования генератора тактовых импульсов.

Исполнительными элементами системы управления РТК резьбонарезания являются электромагнитные пускатели для переключения пусковых контактов электродвигателя полуавтомата и вибропривода механизма ориентации, а также электромагниты пневматического распределителей, обеспечивающих связь исполнительных механизмов (цилиндров) манипулятора с напорной магистралью или атмосферой, согласно командным импульсам, и электродвигатели настройки рабочих перемещений.

Пневматический распределитель, как конечный логический элемент системы управления, функционально взаимосвязан с исполнительным механизмом манипулятора. Общее количество распределителей зависит от их конструктивной схемы, кинематических параметров манипулятора, выбранной схемы управления механизмами. Основными параметрами, определяющими возможность использования распределителя в конкретных условиях и оказывающими непосредственное влияние на время позиционирования манипулятора, а, следовательно, производительность процесса, являются его быстродействие и пропускная способность.

Двухпозиционные распределители имеют очевидные преимущества по сравнению с трехпозиционными и они—основа для построения логических схем управления. Двухпозиционные клапанные конструкции выпускаются серийно отечественной промышленностью, однако требуют тонких регулировок при относительной конструктивной сложности. Перспективны шариковые усилительные элементы, для которых разрабатываются методы расчета, выявляются области практического применения.

Управляющего устройства с помощью данного алгоритма включена в единую программу расчет параметров РТК. Результаты расчета по ранее представленным в табл. 5 методам изображены на рис. 132. Полученные данные отражают

Наиболее компактная конструкция может быть получена у золотникового распределителя при высоких пропускной способности, быстродействии, надежности, экономичности и относительной простоте переналадок. Перед другими конструкциями они имеют преимущество: подвижный цилиндрический золотник разрушен и для его перемещения требуется незначительное усилие, золотник нечувствителен к колебаниям давления сжатого воздуха, простота конструкции и эксплуатации, отсутствие подвижных резиновых и иных уплотнений, подверженных быстрому износу и разрушению, нечувствительность к наличию влаги в энергосистеме, благодаря антикоррозийным покрытиям, большой срок службы, универсальность.

Согласно принципиальной схеме такой распределитель состоит из корпуса с подвижным в осевом направлении золотником, электромагнита и возвратной пружины. Анализ расчетной схемы распределителя позволил на этапе проектирования оценить его быстродействие с учетом известных кинематических и конструктивных параметров, определяющих заданную пропускную способность. Для этой цели составлено дифференциальное уравнение движения золотника под действием возвратной пружины

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -k \frac{dx}{dt} - cx + (P_n - P_{пл}),$$

где  $m$ ,  $x$ ,  $P_{пл}$  — соответственно масса, перемещение, вес золотника;

$k$  — коэффициент пропорциональности;

$c$  — жесткость пружины;

$P_n$  — усилие предварительного натяжения пружины. После преобразований уравнение может быть выражено как однородное линейное дифференциальное уравнение второго порядка

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n \frac{dx}{dt} + p^2x = R,$$

$$\text{где } 2n = \frac{\kappa g}{P_{пл}}, \quad p^2 = \frac{cg}{P_{пл}}, \quad R = \frac{(P_n - P_{пл})g}{P_{пл}}.$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$x(t) = e^{-nt} \left( \frac{Rn}{p^2 \sqrt{p^2 + n^2}} \sin \sqrt{p^2 + n^2} t - \frac{R}{p^2} \cos \sqrt{p^2 + n^2} t + \frac{R}{p^2} \right).$$

Блок-схема расчета уравнения на ЭВМ приведена на рис. 133. Имеются блоки ввода начальных параметров и

алгоритмические блоки. В последних помимо расчета всех возможных значений учтено (рис. 134) пересечение кривой переходного процесса зоны  $L = 0,04x_{\text{так}}$  ( $x_{\text{так}}$  — рабочий ход золотника).

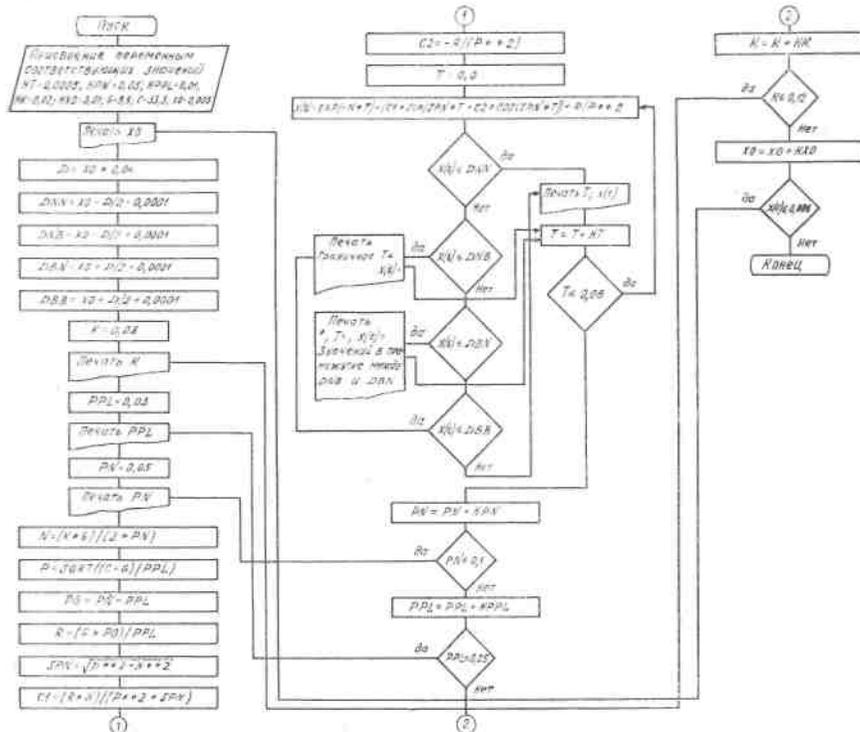


Рис. 133. Блок-схема алгоритма расчета быстродействия пневматического золотникового распределителя

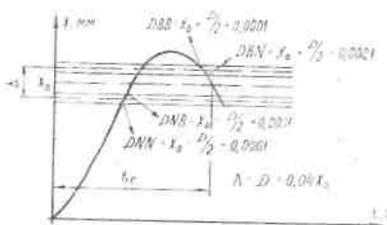


Рис. 134. Параметры переходного процесса, используемые в блок-схеме алгоритма расчета быстродействия пневматического распределителя

Результаты расчета изображены на рис. 135. За исходные данные приняты изменяемая масса золотника, которая увеличивается при росте его диаметра и, следовательно, пропускной способности, рабочий ход, усилие предварительного натяжения пружины.

Быстродействие распределителя изменяется от 0,0175 до 0,0365 с. Эти пока-

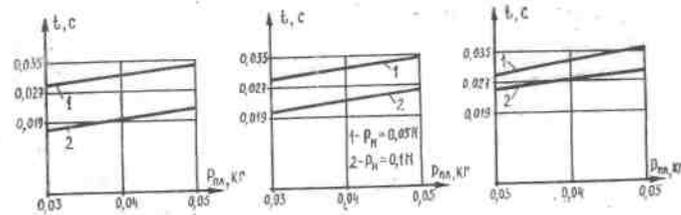


Рис. 135. Зависимость быстродействия  $t$  распределителя и массы  $P_d$  золотника, величины  $x$  рабочего хода, усилия  $P_n$  предварительного натяжения пружины

затели являются удовлетворительными и не превышают паспортных данных серийных образцов. При увеличении массы золотника от 0,03 до 0,05 кг быстродействие распределителя снижается на 0,002—0,008 с, что указывает на несущественное влияние массы золотника на быстродействие распределителя и целесообразность разработки перенастраиваемой конструкции. На рост быстродействия в большей степени (от 0,004 до 0,013 с) влияет усилие предварительного натяжения пружины и его большее значение (0,1 Н) принято в качестве рабочего.

На основе проведенного анализа конструкции и расчетных данных разработана модель пневматического распределителя (рис. 136). Она состоит из корпуса, внутри которого размещены сменный вкладыш и подвижный золотник; стакана с катушкой, якорем, статором и опорой механизма возврата. В корпусе выполнены сверления,

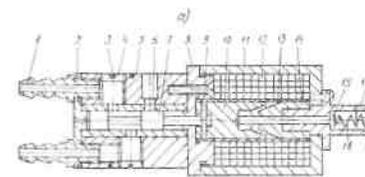
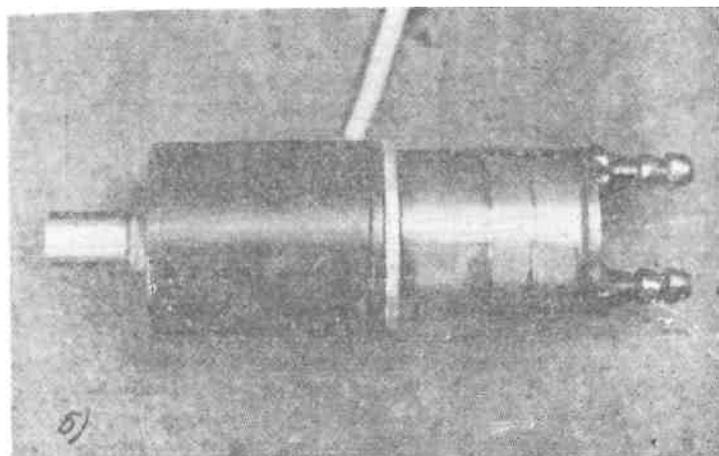


Рис. 136. Конструктивная схема (а) и общий вид (б) пневматического золотникового распределителя: 1 — штуцер; 2 — крышка; 3 — и возвращается в исходное положение пружиной с регулируемыми усилием. Движущийся якорь в направляющей втулке, снаружи которой размещается катушка.

позволяющие присоединять штуцеры в осевом или радиальном направлениях в зависимости от требований компоновки. Свободные отверстия заглушаются. Золотник распределителя связан с якорем электромагнита посредством штифта, а корпус со стаканом — через фланец. Якорь притягивается к статору под действием электромагнитных сил



Экспериментальная проверка длительности срабатывания распределителя проводилась на установке, которая изображен на рис.137. Регистрация длительности срабатывания распределителя выполнялась электронным секундомером. Масса золотника составляет 0,05 кг, рабочий ход — 0,006 м. Время срабатывания распределителя при прямом и обратном ходах практически не различается и составляет 0,02-0,025 с. Выявление пропускной способности распределителя производилось методом регистрации динамического напора выходящей струи воздуха и дальнейшим, на основе известной зависимости [12], расчетом

$$Q = 60 \sqrt{\frac{2ghS}{\gamma}}$$

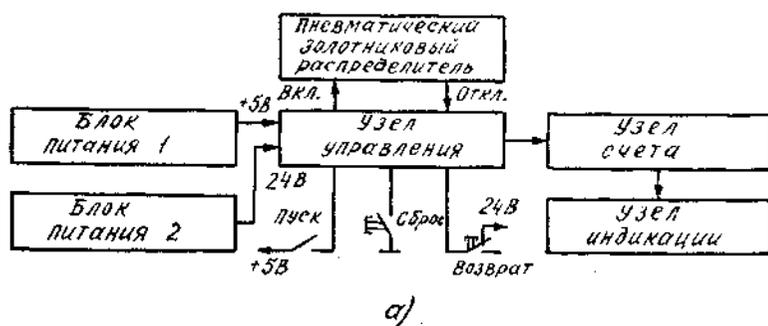
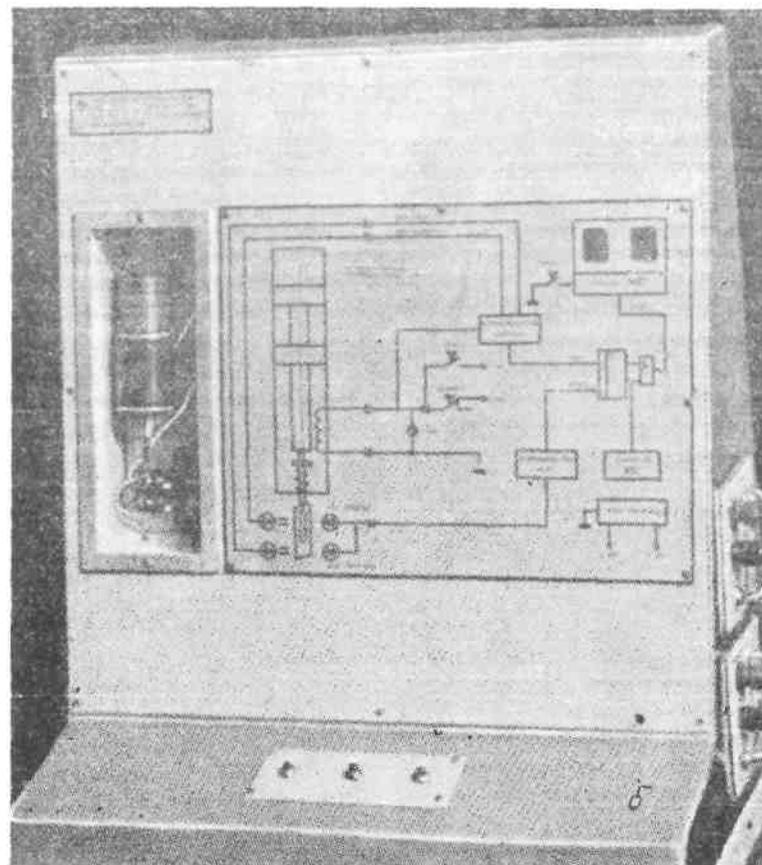


Рис. 137. Функциональная схема (а) и общий вид (б) установки для измерения быстродействия пневматического распределителя



$Q$  — расход воздуха через распределитель, м<sup>3</sup>/мин;  
 $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  
 $h$  — динамический напор струи воздуха, Н/м<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  — удельный вес воздуха, м<sup>3</sup>/кг;  
 $S$  — эффективная площадь сечения в точке замера, м<sup>2</sup>.  
 Установка для замеров динамического напора (рис. 138) выполнена из последовательно соединенных компрессора, ресивера, регулятора давления, дросселя, испытываемого распределителя, аэродинамической трубы и микроманометра. С целью упрощения исследовались лишь механические части распределителя с условными проходами от 5 до 11 мм, выполненными быстросменными.

Динамический напор струи воздуха в аэродинамической трубе вычислялся согласно методике эксплуатации микроманометра по формуле

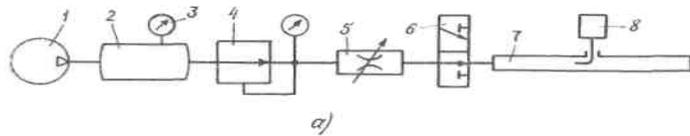


Рис. 138. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) установки для замеров расхода воздуха через распределитель: 1 — компрессор; 2 — ресивер; 3 — манометр; 4 — регулятор давления; 5 — дроссель; 6 — распределитель; 7 — труба аэродинамическая; 8 — микроманометр

$$h = c n \gamma l \sin \alpha$$

где  $c$  — поправочный коэффициент для выбранного угла наклона индикатора микроманометра;  $n$  — отсчет по шкале индикатора, мм;  $\gamma$  — плотность жидкости, которой заправлен микроманометр, г/см<sup>3</sup>; ( $\alpha$  — угол наклона индикатора микроманометра к горизонтальной плоскости, град. Микроманометрическая трубка располагается в аэродинамической трубе на расстоянии не менее  $(5-6)d$  от начальной плоскости движения струи воздуха ( $d$  — диаметр внутренней поверхности аэродинамической трубы). Подбор диаметра  $d$  производится на основе анализа зависи-

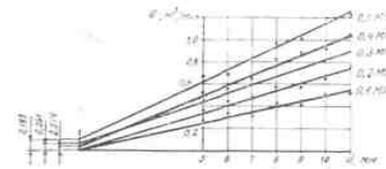
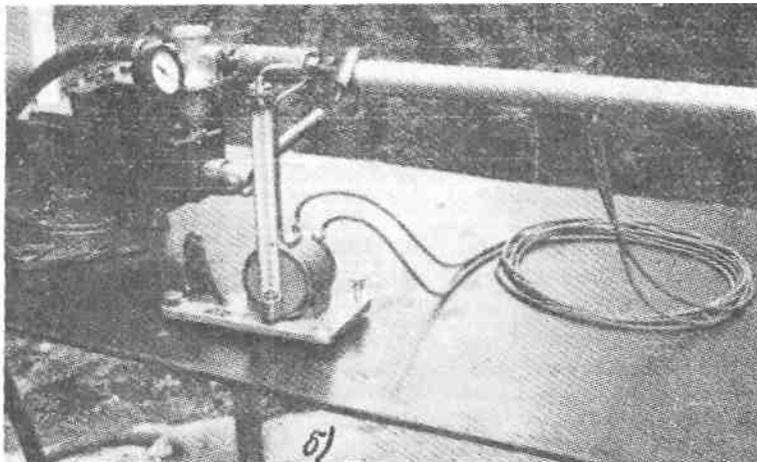


Рис. 139. Расходные характеристики распределителя при давлении сжатого воздуха на входе от 0,5 до 0,1 МПа для различных диаметров золотника и при давлении сжатого воздуха от 0,1 до 0,5 МПа.

Характеристики на рис 139 показывают что распределитель обладает пропускной способностью от 0,26 до 1,19 м<sup>3</sup>/мин. Такие значения позволяют ориентироваться на получение максимальных скоростей перемещения исполнительных механизмов.

Использование расходных характеристик, полученных при исследовании пневматического распределителя, наиболее удобно после их представления в аналитическом виде. Для построения эмпирических формул, отражающих функциональные зависимости между параметрами элементов РТК, применим метод непосредственного сопоставления экспериментального графика с известными кривыми для выбора вида и метод наименьших квадратов для оценки параметров. Построение эмпирических формул существенно

18. Значения параметров для расчета

Параметр	$\mu$	$\gamma$	$c$	$\gamma_1$	$\alpha$	$n$	$h$
Размерность	м/с <sup>2</sup>	кг/м <sup>3</sup>	—	г/см <sup>3</sup>	град.	мм	кг/м <sup>2</sup>
Величина	9,81	1,2	1,005	0,853	90	100	85,73

19. Зависимость диаметра аэродинамической трубы от предполагаемого расхода сжатого воздуха

Q, м <sup>3</sup> /с	S, м <sup>2</sup>	d, м	
		$d_{mp}=6$ мм	$d_{mp}=8$ мм
0,2/60	$9 \cdot 10^{-5}$	0,012	0,013
0,4/60	$2 \cdot 10^{-4}$	0,017	0,018
0,6/60	$2,7 \cdot 10^{-4}$	0,019	0,020
0,8/60	$3,6 \cdot 10^{-4}$	0,022	0,023
1,0/60	$4,5 \cdot 10^{-4}$	0,025	0,026
1,2/60	$5,3 \cdot 10^{-4}$	0,027	0,028

20. Эмпирические зависимости

p, МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Q(d)	0,05d	0,067d	0,061+ 0,076d	0,044+ 0,091d	0,183+ 0,094d

упрощается при использовании методов расчета на ЭВМ.

Рис. 139 позволяет установить, что поскольку точки каждой кривой расположены достаточно близко к некоторой прямой, между функцией Q и аргументом d существует линейная зависимость, причем свободный член характеризует абсолютную величину утечек сжатого воздуха из распределителя (табл.20).

Предварительный расчет параметров, конструктивная проработка и экспериментальная проверка распределителя с цилиндрическим золотником позволяют сделать вывод о возможности его применения в устройствах программного управления манипуляторами и пневмоприводам различного технологического назначения и получения максимальных скоростей перемещения ведомых звеньев.

В процессе создания систем управления оборудованием, и в частности манипуляторов, проектировщики испытывают потребность в переналаживаемых элементах, параметры которых меняются автоматически, что обусловлено предварительным программированием. В качестве примера рассмотрим двухрежимный пневматический распределитель (рис. 140). Он состоит из корпуса, в котором установлен с возможностью перемещения вкладыш с двумя группами радиальных отверстий. Во вкладыш установлен золотник. Электромагнитный привод золотника состоит из стакана, катушки, якоря, статора и опоры привода возврата золотника. В корпусе выполнены резьбовые отверстия для подвода энергии и связи с исполнительным элементом. Отверстия для подвода энергии выполнены как в радиальном, так и осевом направлениях, что улучшает компоновочные характеристики распределителя. В требуемом направлении устанавливается штуцер, а свободное отверстие заглушается пробкой. В корпусе выполнено и отверстие для связи исполнительного элемента с атмосферой. Отверстия одной группы во вкладыше имеют большую площадь поперечного сечения в сравнении с отверстиями другой группы. Корпус герметизирован с торца крышкой

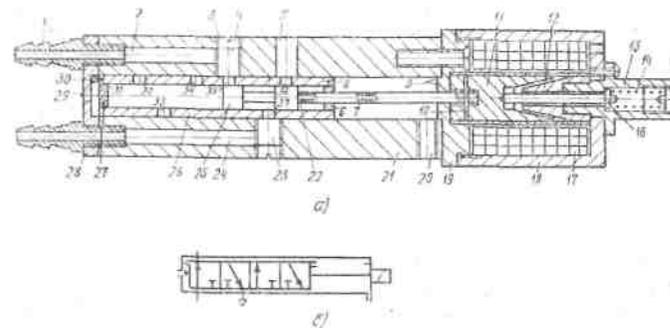


Рис. 140. Двухрежимный пневматический распределитель (а) и его функциональная схема (б): 1—штуцер; 2, 4, 5, 20, 23, 24, 29 — отверстия подвода и отвода энергии; 3 — пробка; 6, 27, 28 — крышки; 7 — отверстие сквозное; 8, 31 — отверстие коническое; 9, 30 — фиксатор конический; 10 — штифт; 11 — якорь; 12 — статор; 13 — опора; 14 — пружина; 15 — винт регулировочный; 16 — толкатель; 17 — катушка электромагнита; 18 — стакан; 19 — фланец; 21 — корпус; 22 — отверстие радиальное; 25 — золотник; 26 — вкладыш; 32, 33, 34, 35, 36, 37 — отверстия дресселирующие

с центральным резьбовым отверстием, а подвижный вкладыш герметизирован с торцов крышками. В золотнике выполнено сквозное отверстие и сообщающееся с ним радиальное отверстие. Ось последнего отверстия отстоит от торца золотника на расстоянии равном радиусу отверстия. Золотник связан с якорем посредством штифта, а корпус со стаканом — через фланец. Якорь через толкатель оперт на пружину, а последняя — на регулировочный винт. В корпусе со стороны электромагнитного привода выполнено резьбовое отверстие для связи с системой управления. Крышка и фланец содержат конические фиксаторы, выполненные соосно коническим отверстиям в золотнике.

В исходном положении золотник через толкатель, якорь пружинной сдвинут в крайнее левое относительно корпуса положение. Через отверстие, соединенное с системой управления, подается сигнал и подвижный вкладыш смещается в крайнее левое положение. Энергия через распределитель поступает к исполнительному устройству. При подаче управляющего сигнала на катушку электромагнитного привода якорь под действием электромагнитных сил притягивается к статору, сжимая через толкатель пружину. Напорное отверстие перекрывается и исполнительный элемент сообщается с атмосферой.

В случае необходимости изменения параметров распределителя энергия от системы управления подается к осевому отверстию в крышке корпуса. 183

Подвижный вкладыш смещается слева направо и соосно второй группе отверстий во вкладыше устанавливаются отверстия в корпусе. Так как площади поперечного сечения последних отверстий отличаются от размеров отверстий первой группы, и расход через них изменяется, то, следовательно, работа исполнительного элемента будет протекать в ином технологическом режиме.

Через осевое отверстие в золотнике выходит воздух в атмосферу из полостей подвижного вкладыша при его перемещениях и переключениях золотника.

С целью исключения приворота вкладыша относительно корпуса при их относительном перемещении предусмотрен замок, который представляет собой конические отверстия и фиксаторы, выполненные с возможностью взаимодействия друг с другом.

Функциональная схема двухрежимного пневматического распределителя приведена на рис. 1406. Геометрические характеристики распределителя не отличаются от базовой однорежимной конструкции (рис. 136), у которой смена параметров выполняется вручную.

Конструкция пневматического двухрежимного распределителя из-за возможности автоматического изменения параметров имеет расширенные функциональные возможности и может быть применена в управляющих устройствах целевыми механизмами манипуляторов, пневмоприводов оборудования, имеющих сложную циклограмму работы, например, разные скоростные режимы. Весьма эффективно применять двухрежимный распределитель для автоматизации экспериментальных исследований механизмов, что вдвое снижает их трудоемкость. Кроме того, существенно снижается металлоемкость системы управления в сравнении с типовым вариантом, созданным из логических устройств со стандартными функциональными свойствами.

## 9.6. Рекомендации по проектированию

Задача создания роботизированных технологических комплексов состоит из двух этапов: оценка производственных процессов в целях выявления возможности их комплексной автоматизации и разработка технических требований к элементам РТК и комплексу в целом. На первом этапе, являющемся предварительным, выявляются производственные процессы, которые нецелесообразно автоматизировать с помощью манипуляционных

средств из-за неоправданно высоких материальных или эксплуатационных затрат, а также те, автоматизация которых не требуется или невозможна. В дальнейшем исследуются лишь те процессы, при автоматизации которых можно ожидать экономического, социального или производственный эффект. Целесообразно производственные процессы разделить на интервалы пригодности: 1-пригодные к автоматизации и применению манипуляторов; 2-ограничено пригодные (применение манипуляторов затруднено, так как требует специальных решений или изменений процессов); 3- непригодные для автоматизации (требуются большие затраты, что не гарантирует рентабельность производственного процесса на современном уровне техники). При выявлении интервалов пригодности определяют необходимость совершенствования существующего или создания нового производственного процесса. В обоих случаях выполняется приблизительно равный объем исследовательской и конструкторско-технологической работы, последовательность этапов которой аналогична. Разница состоит **в том, что при** комплексной автоматизации с помощью робототехники существующего процесса отпадает необходимость в конструировании или подборе основного технологического оборудования.

Каждый интервал пригодности целесообразно оснастить критериями, характеризующими производственные процессы. К ним следует отнести сведения о деталях (объектах производства); характере и методах их обработки, контроля и транспортировки; числе свобод манипулятора и схвата; возможности автоматической ориентации, поштучной выдачи или кассетирования деталей; возможности изменения планировки рабочих мест, а также типе производства; программе выпуска; очередности и величине запуска партий деталей. В сфере анализов вовлекаются объекты не только данного производственного процесса, но и подобные объекты данного предприятия. При этом ставится задача организации групповых технологических процессов. Набор критериев должен быть достаточным для полной характеристики производственного процесса. Технические требования к элементам РТК формируются на основе обобщений предварительных исследований. Завершением анализа является группирование схожих производственных процессов по характерным типам (исходя из вида технических и технологических требований). Благодаря этому повышается уровень стандартизации и снижается количество необходимых типоразмеров оборудования на предприятии. При этом детали, входящие в изделия.

-объекты данного предприятия, подразделяются на группы со схожей конфигурацией, соизмеримыми геометрическими размерами и массой; на подгруппы, объединяющие детали с единными физическими или конструктивными ключами ориентирования и типы со схожими технологическими процессами изготовления.

Для каждого производственного процесса, эффективность практического внедрения которого обоснована, составляется функциональная схема, отражающая работу технических средств, их взаимосвязи и компоновку. Составляется спецификация элементов РТК и с использованием классификации компоновок [5] выявляются временные соотношения между взаимодействующими элементами.

Производится расчет длительности рабочего цикла РТК по известным действительному фонду рабочего времени, производственной программе выпуска, коэффициенту использования. Последний задается исходя из опыта производства и эксплуатационных характеристик подобных технологических систем. Данные расчеты позволяют установить требуемую производительность работы манипуляционных средств, основного технологического оборудования, механизмов ориентации и поштучной выдачи деталей, средств их кассетирования.

Известная величина длительности рабочего цикла РТК является основой для разработки технологии изготовления деталей, расчета параметров и конструкции основного технологического оборудования. По длительности позиционирования  $T_n$  манипулятора и заданной (или вычисленной) точности позиционирования схвата относительно устройства для поштучной выдачи и детали относительно установочных баз приспособлений и с использованием зависимости  $T_n(q, k, G, \phi, D, I_{\text{сум}})$  вычисляются массы ведомых частей манипулятора и схвата. Точность позиционирования определяется по приведенным выше эмпирическим формулам для исполнительных механизмов, выполненных согласно схеме по рис. 90. Необходимый скоростной режим вычисляется по уже известным длительности позиционирования  $T_n$  манипулятора и величинам рабочих перемещений. Для случая, когда точность позиционирования  $D$  манипулятора не зависит от его быстродействия, применим метод соотношения колебаний геометрических размеров деталей и размеров установочных баз приспособлений. Иногда на этапе эскизного проектирования необходимо задавать численное значение массы требуемого элемента, которое впоследствии можно скорректировать. При расчете необходимо использовать конкретные числа свобод

манипулятора и схвата, достаточные для обеспечения целенаправленного переноса деталей.

Параллельно производится корректировка существующего или разработка нового генератора тактовых импульсов системы правления для выдачи команд на исполнительные механизмы. Методика расчета частоты тактовых импульсов приведена выше.

Разработка конструкций силовых и управляющих устройств происходит в неразрывной связи, поэтому предлагаются зависимости диаметра  $D$  силового цилиндра для модуля манипулятора от размеров проходной части  $d$  пневматического распределителя. Зависимости  $D(d)$  получены графически из расходной характеристики распределителя  $Q(d)$  и характеристики потребляемого силовым цилиндром расхода  $Q(D)$  для скоростного режима, близкого к 1 м/с.

Эмпирические зависимости  $D(d)$ , вычисленные по методу наименьших квадратов с применением ЭВМ и справедливые только для диапазона проходной части распределителя от 5 до 11 мм, позволяют при требуемых диаметрах силовых цилиндров для получения скорости перемещения поршня в 1 м/с выбрать диаметр золотника распределителя. В зависимостях отражено влияние условий работы: рабочее давление воздуха изменяется от 0,1 до 0,5 МПа (табл. 21).

По известным параметрам пневматического распределителя и режиму работы манипулятора вычисляются с помощью табл. 20 величину потребляемого расхода  $Q$ . На основе последнего параметра производится выбор мощности источника энергии — компрессора.

Предварительное опробование методики обоснования параметров РТК показало необходимость приведения исходных зависимостей к единой схеме (рис. 141). Удобство пользования схемой в наглядности представления информации и в том, что конструктору нет необходимости производить многочисленные вычисления, а перебор вариантов сводится лишь к логическим оценкам.

Правила пользования схемой (рис. 141) следующие:

1. По характеристике кинематической подвижности манипулятора ( $q, k$ ) и массам ведомых частей (варианты  $p$  и  $t$ ), которые приведены в сопутствующей таблице, устанавливают исходный номер зависимости  $D(T_n)$ .

2. На графике зависимостей  $D(T_n)$  находят соответствующую кривую и через заданную координату точности проводят горизонталь до пересечения с кривыми  $D(U)$  и вертикаль до пересечения с зависимостью  $T_p(t_p; t_x)$ .

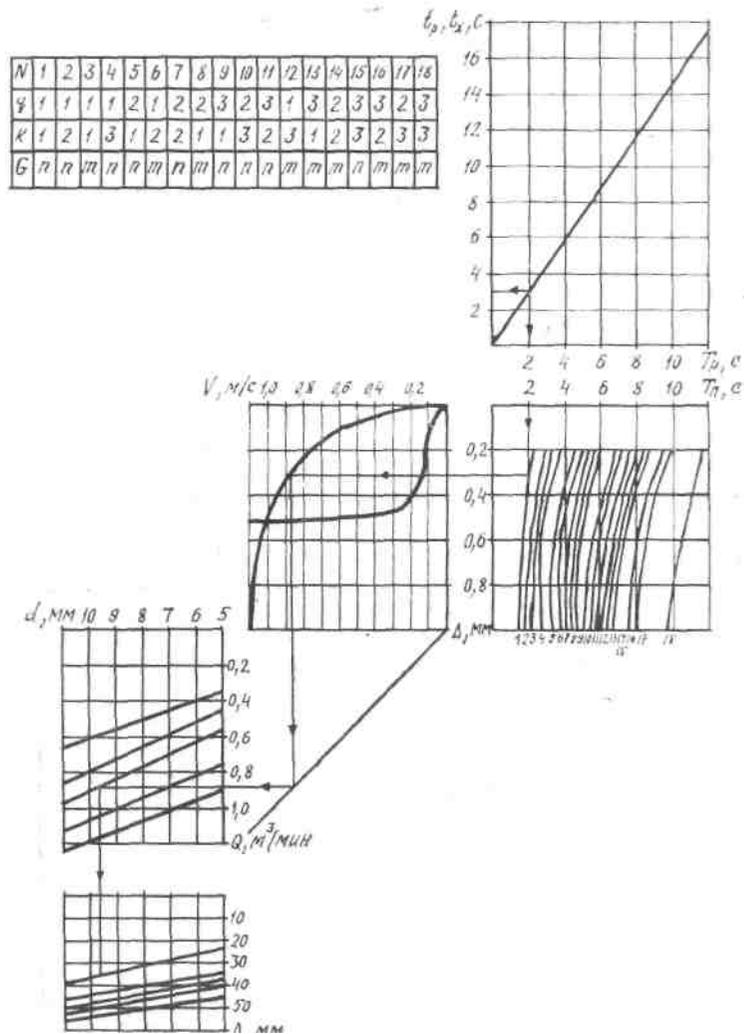


Рис. 141. Графическая схема подбора параметров РТК

3. Устанавливают скоростной режим манипулятора по точке пересечения горизонтали с кривыми  $A(V)$ .
4. Через точки, которые характеризуют необходимый скоростной режим модуля манипулятора и требуемую точность позиционирования, проводятся вертикали. Их проекциями, параллельными оси  $d$  (диаметр золотника распре-

делителя) в точке пересечения с расходными характеристиками определяются параметры направляющей аппаратуры и задается давление сжатого воздуха.

5. По зависимостям  $Q(d)$  находят расходные, конструктивные и энергетические параметры распределителей в виде точек на кривых  $Q(d)$ . Через них проводят вертикали до пересечения с зависимостями  $D(d)$  и определяют размеры силового цилиндра модуля.

6. Вертикаль через выявленную кривую  $A(T_n)$  позволяет установить соотношение между длительностью рабочего цикла  $T_n$  и рабочими ходами  $t_p$  основного технологического оборудования. Это позволяет определить его кинематические параметры.

Главным принципом выбора критериев технико-экономического анализа РТК является обеспечение его максимальной эффективности, что в конечном счете приводит к минимизации затрат при проектировании и эксплуатации РТК. При эксплуатации РТК, имеющих фактическую производительность приближающуюся к ручному труду, основной составляющей экономического эффекта является экономия на заработной плате производственных рабочих. На величину эффективности влияет повышение коэффициента использования РТК и увеличение сменности, а, следовательно, годового фонда времени работы оборудования, поддержание постоянного ритма работы, исключение потерь, связанных с индивидуальными особенностями человека, а также из-за брака. Стабильность работы увеличивает часовую и сменную производительность комплекса.

Факторами, позволяющими получить положительный экономический эффект, являются также сокращение затрат времени и средств на технологическую подготовку производства новой продукции, оптимизация оборотных заделов деталей и заготовок, снижение нормы амортизационных отчислений из-за возможности многократной перестройки РТК на выпуск новой продукции и увеличения срока службы по сравнению со специальным оборудованием.

Внедрение РТК приводит к качественному изменению содержания труда и его характера, улучшает условия труда, стимулирует рост образованности рабочего. В результате этого снижается текучесть и дефицит рабочей силы, совершенствуются производственные отношения, изменяется структура общества в сторону социальной однородности.

При сравнении процессов резбонарезания деталей оказалось, что производительность ручной обработки (в

среднем 29,4 шт./мии) превышает автоматизированную (от 16,4 до 22,4 шт./мии при одном манипуляторе). Однако организация участка РТК, каждый из которых является ячейкой группового технологического процесса, несомненно эффективнее и в первую очередь из-за высвобождения рабочей силы.

Исходные данные для организации участка РТК приведены в табл. 22.

Если на -первом, этапе освоить производство лишь не более двух типоразмеров деталей, то на участке не может быть меньше двух РТК. Для выпуска пяти типоразмеров изогнутых деталей, когда трудоемкость переналадок РТК минимальна, последних на участке может быть от 3 до 10. Это зависит от фактической производительности РТК-

В основу расчета ожидаемой годовой экономической эффективности от внедрения РТК резьбонарезания положено сопоставление вариантов с ручной обработкой деталей и автоматизацией их обработки путем применения РТК:

$$\mathcal{E}_r = (Q + EK_i) - (C_2 + EK_2), \text{ руб.},$$

где  $d$ ;  $C_2$  и  $K_2$  — годовая себестоимость резьбонарезания и капитальные затраты при базовом и внедренном вариантах, руб.;  $E$  — нормативный коэффициент эффективности. Величину себестоимости  $C$  резьбонарезания для двух вариантов определяем по формуле

$$C = aN + b, \text{ руб.},$$

21. Эмпирические зависимости

р, МПа	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Д (d)	10,929 + 2,804d	19,429 + 2,571d	26,715 + 2,054d	28,286 + 2,161d	35,358 + 1,732d

22. Соотношение числа типоразмеров деталей и РТК их обработки

Число обрабатываемых типоразмеров деталей в год	Число РТК на участке	Производительность РТК, шт./мин
1	2	от 4 до 8
1	1	от 8 до 16
2	1	от 16 до 24
5	10	от 4 до 8
5	5	от 8 до 16
5	3	от 16 до 24

23. Годовой экономический эффект от внедрения РТК

$C_1$	$C_2$	$E$	$N$	$K_1$	$K_2$	$\mathcal{E}_r$
руб.		—	шт.	руб.		руб.
59025	26265	0,2	$6 \cdot 10^6$	333	3500	32127

где  $a$  — прямые затраты производства на резьбонарезание одной детали;  $N$  — годовая программа выпуска;  $b$  — годовые издержки производства. Итоговые результаты сведены в табл. 23. Для выявления объема производства, при котором реализация одного варианта была бы экономически оправдана, необходимо решить два уравнения:

$$C_1 = a_1N + b_1; \quad C_2 = a_2N + b_2$$

и определить критическую программу  $N_{кр}$  выпуска деталей-

$$N_{кр} = \frac{b_1 - b_2}{a_1 - a_2} \text{ если } c_1 = c_2; a_1 > a_2; b_1 < b_2.$$

При объеме годового задания меньше  $N_{кр}$  экономически выгодна ручная обработка деталей, а при годовой программе больше  $N_{кр}$  — автоматизированная.

Несомненно, что организация участка с несколькими РТК, выполняющими единые технологические задачи, окажется более эффективной.

Вместе с тем, важнейшим вопросом является оптимальное сочетание новейшего оборудования с традиционными средствами автоматизации, относительно надежными и недорогими. Последнее также приводит к эффективным решениям, что и было рассмотрено выше. В табл. 24 сопоставлены по производительности процессы, потребовавшие для своей модернизации робототехнические средства..

24. Производительность (шт./мин) производственных процессов при ручном и автоматизированном их выполнении

Режим работы	Тип производственного процесса				
	Рельбонарезание		Токарная обработка	Штамповка	Перегрузка изделий
	с одним манипулятором	с двумя манипуляторами			
Ручная обработка	29,4	29,4	0,45	20	8,6
Автоматизированная обработка из РТК	16,4	32,8	0,49	25	9,0

## 10. ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы XXVII съезда КПСС. — М.: Политиздат, 1986. — С. 351.
2. Яковец Ю. В. Закономерности научно-технического прогресса и их планомерное использование. — М.: Экономика, 1984. — С. 240.
3. Даровских В. Д. Робототехнические механизмы. — Фрунзе: Кыргызстан, 1986. — С. 144.
4. Кузьмин Ф. И. Задачи и методы оптимизации показателей надежности. — М.: Советское радио, 1972. — С. 224.
5. Даровских В. Д. Робототехнические комплексы высокой производительности. — Фрунзе: Кыргызстан, 1983. — С. 94.
6. Автоматические станочные системы /В. Э. Пуц, Р. Пигерт, В. Л. Сосонкин. — М.: Машиностроение, 1982. — С. 319.
7. Явленский К. Н., Явленский А. К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. — Л.: Машиностроение, 1983. — С. 239.
8. Медвиць М. В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства и механизмы. — М.: Машиностроение, 1963. — С. 299.
9. Комаров А. А. Надежность гидравлических систем. — М.: Машиностроение, 1969. — С. 236.
10. Волчкевич Л. И., Кузнецов М. М., Усов Б. А. Автоматы и автоматические линии. Ч. 1. Основы проектирования. — М.: Высшая школа, 1976. — С. 230.
11. Рабинович Б. Д. Экономическая эффективность стандартизации в машиностроении. Методика расчета. — М.: Изд-во Комитета стандартов, 1968. — С. 107.
12. Успенский В. А., Кузнецов Ю. М. Струйные вакуумные насосы. — М.: Машиностроение, 1973. — С. 145.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение	3
2. Плановая смена поколений техники	5
3. Состояние и перспективы гибкой автоматизации в машиностроении	15
3.1. Особенности автоматических систем	15
3.2. Социальные технико-экономические последствия автоматизации	22
3.3. Элементы автоматизации для технологических систем	27
4. Автоматизация в порошковой металлургии	42
5. Особенности элементов системы автоматизации транспортировки изделий	56
5.1. Автоматический модуль	56
5.2. Конвейер	60
5.3. Манипулятор	63
5.4. Схват	69
5.5. Энергоснабжение	71
5.6. Уровень унификации автоматического модуля	71
6. Подготовка программного обеспечения для системы управления автоматическим модулем	78
6.1. Особенности управления технологией	78
6.2. Циклограмма работы автоматического модуля	79
6.3. Модернизация производства порошковой металлургии	79
7. Варианты автоматизации транспортных систем	83
8. Роботизированная оснастка для связи двух движущихся конвейеров и особенности ее системы управления	87
8.1. Алгоритм работы	87
8.2. Модульный привод манипулятора	89
8.2.1. Методика расчета	89
8.3. Захватное устройство	103
8.4. Структура и элементы системы управления	106
9. Методы создания и исследования РТК	110
9.1. Принципы построения РТК	110
9.1.1. Основное технологическое оборудование	114
9.2. Манипулятор	115
9.3. Оценка работоспособности и параметров надежности РТК	140
9.3.1. Исследование возможности автоматической ориентации деталей	147
9.4. Обоснование точностных характеристик РТК	147
9.5. Исследование системы управления РТК	147
9.6. Рекомендации по проектированию	10*
10. Литература	10*

Производственное (практическое) издание

Серия «Стратегия — ускорение»

**Даровских Владимир Дмитриевич**

**ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОЙ**

**АВТОМАТИЗАЦИИ**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Редактор Б Черикбаева.

Худож. редактор Ч. Абдраимов.

Техн. редактор С. Ван.

Корректор А. Абдраимова

ИБ № 4277

Сдано в набор 22.09.88. Подписано к печати  
10.02.89. Л-02517. Ф1 > мат  
бумаги 84X10873. Бумага типографская № 1. «Лите-  
ратурная» гарнитура. печать  
высокая 60 физ. печ. л. 10,08 усл. печ. л. 10.662  
уч. изд. л. 10,08 усл. кр.-отл.  
Тираж 1000. Заказ Л? 209. Цена 55 коп.

Ордена Дружбы народов издательство «Кыргыз-  
стан».

720737 г. Фрунзе, ул. Советская, 170. Кыргызпо-  
лиграфкомбинат им. 50-летия Кыргызской ССР. Гос-  
комиздата Кыргызской ССР. 720461, г. Фрунзе, 5, ул.  
Жигулевская, 102.