
ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Под редакцией
члена-корреспондента РАН
Ю.М. Соломенцева

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ, ИСПРАВЛЕННОЕ

Рекомендовано
Министерством образования
Российской Федерации
в качестве учебника
для студентов машиностроительных
специальностей вузов



Москва
«Высшая школа» 1999

УДК 621
ББК 34.5
О 75

Авторы: Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов,
Ю.М. Соломенцев, Н.М. Сулган-Заде, А.Г. Схиртладзе

Рецензенты: кафедра «Технология машиностроения» Киевского
политехнического университета
(зав. кафедрой проф. *А.П. Гавриш*), канд. техн. наук *А.Р. Чеховский*

О 75 **Основы автоматизации машиностроительного произ-**
водства: Учеб. для машиностроит. спец. вузов/Е.Р. Ко-
вальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под ред.
Ю.М. Соломенцева. — 2-е изд., испр. — М.: Высш. шк.,
1999. — 312 с.: ил.

ISBN 5-06-003598-0

Описаны основные принципы, способы и средства автоматизации
производства в машиностроении. Производственный процесс рассмотрен
как поток материалов и информации. Задачи автоматизации решены как
задачи проектирования и обеспечения размерных, временных и инфор-
мационных связей в автоматическом процессе.

*Для студентов машиностроительных специальностей вузов. Может
быть использован студентами техникумов и колледжей.*

УДК 621
ББК 34.5

Учебное издание

Ковальчук Евгений Ромуальдович, Косов Михаил Георгиевич,
Митрофанов Владимир Георгиевич, Соломенцев Юрий Михайлович,
Сулган-Заде Назим Музафарович, Схиртладзе Александр Георгиевич

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редактор *В.А. Козлов*. Художник *К.Э. Семенков*.
Художественный редактор *Ю.Э. Иванова*.

ЛР № 010146 от 25.12.96. Изд. № ОТМ-17. Сдано в набор и подп. в печать 16.06.99
Формат 60x88 $\frac{1}{16}$. Бум газетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная
Объем. 19,11 усл.-печ л., 19,11 усл. кр.-отт., 19,13 уч.-изд. л.
Тираж 7000 экз. Заказ № 2070

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д.29/14
Отпечатано в ГУП ИПК «Ульяновский Дом печати»,
432601, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14.

ISBN 5-06-003598-0

© Издательство «Машиностроение», 1995
© Издательство «Высшая школа», 1999

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства
«Высшая школа» и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без
согласия издательства запрещается.

Технический прогресс в машиностроении во многом определяет развитие всего хозяйства страны. Повышение эффективности машиностроительного производства обеспечивает автоматизация. Создание и внедрение в производство новейших конструкций машины, механизмов и приспособлений, отвечающих современным мировым стандартам, возможны при наличии высокопроизводительного автоматизированного и автоматического оборудования.

С внедрением в производство автоматизированных прогрессивных технологических процессов все шире применяются станки с ЧПУ, промышленные роботы (ПР), гибкие производственные системы (ГПС), управляемые от ЭВМ.

Автоматизация развивается в направлении автоматизации производства и автоматизации управления. Автоматизация производства осуществляется путем создания автоматизированных и автоматических систем машин, а автоматизация управления — путем создания автоматизированных и автоматических систем управления на различных уровнях производства.

В машиностроении процесс автоматизации развивается ускоренными темпами и охватывает целые производственные комплексы, участки, цехи и заводы. Автоматизация развивается также одновременно с комплексной механизацией, она часто возникает и развивается на базе комплексно-механизированного производства.

При автоматизации производства следует исходить не только из возможностей существующей технологии, но и из возможностей применения новых высокоэффективных технологических процессов, в основе которых лежат последние достижения современной науки и техники. Прогрессивная технология обеспечивает возможность значительного повышения производительности труда, использования автоматизированных и автоматических систем машин не только в этой отрасли, где эта технология используется, но и в смежных отраслях. Автоматизация производства является также важнейшим составным элементом внедрения новой техники.

В учебнике изложен материал, в котором с единых научных позиций даны основные принципы, способы и средства автоматизации производства в машиностроении. Производственный процесс рассмотрен как поток материалов и информации. Задачи автоматизации решены как задачи проектирования и обеспечения размерных, временных и информационных связей в автоматизированном и автоматическом производственном процессе.

Архитектура материала учебника заключается в рассмотрении автоматического производственного процесса в машиностроении, основ проектирования и реализации его размерных, временных и информационных связей, проектирования автоматизированных и автоматических технологических процессов сборки и механической обработки, а также технологического оборудования, служащего для реализации этих процессов.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлениям: «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»; «Автоматизация и управление» и специальностям: «Технология машиностроения»; «Металлорежущие станки и инструменты»; «Автоматизация технологических процессов и производств», а также другим техническим специальностям.

Книга может быть полезна для инженерно-технических работников заводов, проектных организаций и институтов, занимающихся вопросами технологического проектирования, автоматизацией и управлением производственными процессами в машиностроении.

Чл.-корр. РАН,
д-р техн. наук,
Ю.М. Соломенцев

Глава I. Автоматический производственный процесс в машиностроении

1.1. Основные определения и задачи автоматизации производства

Механизацией производственного процесса называют применение энергии неживой природы в производственном процессе или его составных частях, полностью управляемых людьми, и осуществляемое в целях сокращения трудовых затрат, улучшения условий производства.

Автоматизацией производственного процесса называют применение энергии неживой природы в производственном процессе или его составных частях для их выполнения и управления ими без непосредственного участия людей.

Различают автоматизацию производства трех уровней: частичную, комплексную и полную. Частичная автоматизация ограничивается автоматизацией отдельных операций технологического процесса, например, с использованием станков с автоматическим управлением, в том числе станков с ЧПУ. Комплексная автоматизация — это автоматизация производственных процессов изготовления деталей и сборки с использованием автоматических систем машин: автоматических линий, гибких производственных систем (ГПС). Полная автоматизация — высшая ступень автоматизации, при которой все функции контроля и управления производством выполняются автоматами.

Автомат (от греческого *automatos* — самодействующий) — самостоятельно действующее устройство или совокупность устройств, выполняющих по заданной программе без непосредственного участия человека процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации.

Современное автоматическое технологическое оборудование, предназначенное для преобразования формы, размеров и свойств заготовок, также преобразует информацию, (программу обработки, результаты измерения размеров заготовок и т.п.). С повышением уровня автоматизации роль информационных процессов в производ-

стве все более повышается, чем объясняется возрастающее применение ЭВМ как для проектирования, так и для управления производством.

Последовательность выполняемых автоматом запрограммированных действий называют *рабочим циклом*. Если для возобновления рабочего цикла требуется вмешательство рабочего, то такое устройство называют *полуавтоматом*.

Процесс, оборудование или производство, не требующие присутствия человека в течение определенного промежутка времени для выполнения ряда повторяющихся рабочих циклов, называют *автоматическим*. Если часть процесса выполняется автоматически, а другая часть требует присутствия оператора, то такой процесс называют *автоматизированным*.

Степень автоматизации производственного процесса определяется необходимой долей участия оператора в управлении этим процессом. При полной автоматизации присутствия человека в течение определенного периода времени вообще не требуется. Чем больше это время, тем выше степень автоматизации.

Под безлюдным режимом работы понимают такую степень автоматизации, при которой станок, производственный участок, цех или весь завод могут работать автоматически в течение по крайней мере одной производственной смены (8 ч) в отсутствие человека.

Технические преимущества автоматически управляемых производственных систем по сравнению с аналогичными системами с ручным управлением следующие: более высокое быстродействие, позволяющее повышать скорости протекания процессов, а следовательно, и производительность производственного оборудования; более высокое и стабильное качество управления процессами, обеспечивающее высокое качество продукции при более экономном расходовании материалов и энергии; возможность работы автоматов в тяжелых, вредных и опасных для человека условиях; стабильность ритма работы, возможность длительной работы без перерывов вследствие отсутствия утомляемости, свойственной человеку.

Человек, управляющий оборудованием, обладает определенной инерционностью. Время инерционности человека определяется задержкой его реакции от момента появления сигнала до момента окончания ответного воздействия. При управлении промышленным оборудованием время инерционности человека порядка 0,8 — 1 с, а, например, такт выпуска аэрозольного клапана, собираемого на автоматической роторно-конвейерной линии, составляет всего 0,06 с. Так как скорость протекания производственных процессов велика и имеет

постоянную тенденцию к увеличению, время запаздывания оператора становится лимитирующим фактором в дальнейшем повышении производительности.

Высокое быстродействие автоматических систем объясняется отсутствием столь большого времени запаздывания, которое свойственно оператору, управляющему процессом.

Автоматы могут работать в тяжелых, вредных и опасных для здоровья человека условиях. При автоматизации производства исключаются или существенно снижаются отрицательные воздействия производственного процесса на человека, поскольку человек заменяется автоматом.

Экономические преимущества, достигаемые при использовании автоматических систем в производстве, являются следствием технических преимуществ. К ним можно отнести: возможность значительного повышения производительности труда; более экономичное использование ресурсов (труда, материалов, энергии); более высокое и стабильное качество продукции; сокращение периода времени от начала проектирования до получения изделия; возможность расширения производства без увеличения трудовых ресурсов.

Повышение производительности труда при автоматизации производства может быть достигнуто следующим образом: во-первых, благодаря более полному использованию календарного времени при круглосуточной автоматической работе оборудования; во-вторых, вследствие повышения скорости протекания процессов, которая не ограничивается возможностями человека; в-третьих, вследствие высвобождения обслуживающего персонала.

Рассмотрим эти факторы подробнее. В течение года автоматическое оборудование может работать $365 \text{ дней} \times 24 \text{ ч} = 8760 \text{ ч}$ без учета простоев на замену режущих инструментов, переналадку и ремонт. При работе в две смены производительное время оборудования составляет всего лишь 2550 ч, что составляет лишь 30 % от годового фонда времени (рис. 1.1.). Столько же времени приблизительно занимают праздники и выходные дни. Остальное время составляют неиспользованная третья смена и потери времени по организационным и техническим причинам. Автоматизация производства может обеспе-

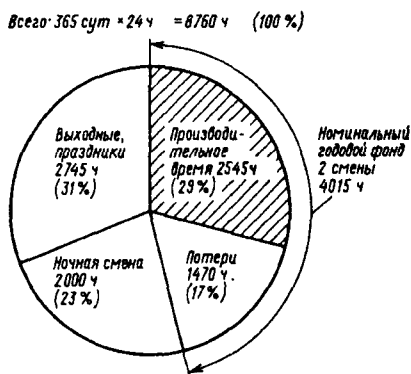


Рис. 1.1. Распределение номинального фонда времени за год

чить работу оборудования в течение третьей смены в отсутствие людей, что соответствует безлюдному режиму работы.

Автоматизация производства позволяет более экономично использовать труд, материалы, энергию. Автоматическое планирование и оперативное управление производством обеспечивают оптимальные организационные решения, сокращают запасы незавершенного производства. Автоматическое регулирование процесса предотвращает потери вследствие поломок инструментов и вынужденных простоев оборудования. Автоматизация проектирования и изготовления продукции с использованием ЭВМ позволяет значительно сократить количество бумажных документов: чертежей, схем, графиков, описания и других, необходимых в неавтоматизированном производстве и отнимающие на их составление, хранение, передачу и использование много времени.

В социальном аспекте преимущества автоматизации производства следующие: рост благосостояния членов общества благодаря увеличению производительности труда, увеличению выпуска высококачественной продукции в необходимых для общества количествах при более экономичном использовании труда, материалов, энергии; высвобождение человека от тяжелой и монотонной физической и умственной работы, работы в опасных и вредных для здоровья условиях; возможность сокращения рабочего времени при соответствующем росте производительности труда; высвобождение времени для всестороннего и гармоничного развития; стимулирование повышения интеллекта человека, занятого в современном автоматизированном производстве; повышение заинтересованности в работе, наиболее полно удовлетворяющей потребности человека в квалифицированном, творческом труде.

Третья смена ночная наиболее тяжела для работы, так как ночью человеку хочется спать. При постоянном нарушении этой врожденной потребности могут возникать различные заболевания. Необходимость работы в третью смену возникает в непрерывных производствах, которые невозможно останавливать, например в металлургии. Работа в три смены всегда экономически более выгодна благодаря более эффективному использованию оборудования. С повышением сложности и стоимости оборудования, сокращением периода его морального изнашивания организация работы в третью смену может быть единственно приемлемым с экономической точки зрения решением. Многоцелевые станки должны эксплуатироваться не менее чем в две смены, а ГПС — в три, чтобы окупилась затраты. Таким образом, возникает противоречие между стремлением экономично использовать оборудование в круглосуточном производстве и нежелательностью работы людей в ночную смену. Кроме того, не всегда можно

организовать многосменную работу из-за недостатка рабочей силы. Выходом из этого положения может стать организация третьей смены в автоматическом режиме работы.

Автоматическое производство нуждается в более квалифицированном технически грамотном обслуживании. При этом значительно меняется сам характер труда, связанного с наладкой, ремонтом, программированием и организацией работ в автоматизированном производстве. Эта работа требует более глубоких и разносторонних знаний, более разнообразна и интересна.

От уровня развития машиностроения зависит прогресс всех отраслей промышленности. Поэтому повышению эффективности машиностроения и уровня автоматизации машиностроения должна отводиться приоритетная роль.

1.2. Основные характеристики производственного процесса

Производственный процесс можно характеризовать большим количеством технико-экономических характеристик. В числе самых важных характеристик можно выделить: вид и количество производимой продукции, качество, производительность, гибкость, степень автоматизации, эффективность производственного процесса.

Вид продукции характеризуется ее назначением, конструкцией, техническими характеристиками, показателями качества. Количество выпускаемой продукции определяется объемом ее выпуска в год и серией — количеством изделий, выпускаемых по неизменным чертежам. Выпуск продукции заданного качества в требуемом количестве является основной целью производственного предприятия. В машиностроении качество производственного процесса характеризуется обеспечиваемой точностью размеров изделий, получаемых в результате обработки и сборки, точностью расположения поверхностей, шероховатостью, точностью обеспечения требуемых свойств материалов, из которых изготовлено изделие.

Производительность производственного процесса определяется числом изделий, выпускаемых в единицу времени или в течение определенного периода времени при условии полной загрузки оборудования. В поточном производстве производительность Π измеряется величиной, обратной такту выпуска изделий τ :

$$\Pi = 1/\tau. \quad (1.1)$$

Производительность производственного процесса должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить плановый объем выпуска продукции.

Степень автоматизации производственных процессов оценивается отношением времени автоматической работы к рассматриваемому периоду, времени. В зависимости от того, какой промежуток времени рассматривается, различают цикловую, рабочую и эксплуатационную степени автоматизации.

Цикловая степень автоматизации — отношение времени автоматической работы t_a в течение цикла к полному времени цикла $t_{ц}$:

$$K_{ц} = t_a / t_{ц}. \quad (1.2)$$

Рабочая степень автоматизации — отношение доли штучного времени автоматической работы ко всему штучному времени:

$$K_p = t_a / t_{шт}. \quad (1.3)$$

Эксплуатационная степень автоматизации — отношение суммы времен автоматической работы в течение расчетного периода времени (смена, месяц, квартал, год) к расчетному периоду времени эксплуатации $t_э$:

$$K_э = t_a / t_э. \quad (1.4)$$

Степень автоматизации — безразмерный показатель, позволяющий количественно оценить уровень автоматизации отдельной машины, системы машин или производственного процесса.

Гибкость производственного процесса или оборудования — это их способность к переналадке, адаптации к изменяющимся требованиям или условиям производства (например, к смене объекта производства). Гибкость производства отражает возможность быстрого внесения коррекций в производственный процесс, например, в связи с изменением конструкции изделия, каких-либо отдельных требований, сроков изготовления, материала или его свойств, а также в связи с поломкой оборудования или системы управления. Гибкость может быть выражена произведением коэффициентов гибкости по отношению ко всем указанным и другим изменяющимся условиям. Каждый коэффициент отражает в этом случае какую-либо одну сторону гибкости (например, гибкость программирования, гибкость переналадки станка и т.п.). Гибкость как многофакторное свойство может быть выражена набором характеристик, например упоминавшимися коэффициентами. Одним из способов комплексной оценки гибкости является способ экономической оценки по формуле

$$Г = (1 - (П/А))100, \quad (1.5)$$

где $П$ — затраты на переналадку станка или системы машин, руб;
 $А$ — амортизационные отчисления, руб.

Если $L = 0$, то $G = 100 \%$, т.е. идеально гибкое производство не требует затрат на переналадку. Если затраты на переналадку равны стоимости амортизационных отчислений, т.е. $L = A$, то $G = 0$. Гибкость производства достигается применением универсального быстропереналаживаемого оборудования. К нему относятся, в частности, многоцелевые станки, промышленные роботы, системы ЧПУ на базе ЭВМ и, конечно, сами ЭВМ, которые являются примером наиболее гибкого и универсального средства автоматизации информационных потоков в производстве.

Эффективность конкретного производственного процесса отражает степень уменьшения затрат на производство изделия относительно некоторого среднего уровня, зависящего от уровня развития производительных сил общества. Повышение эффективности производства достигается минимизацией приведенных затрат. Эффективность производства является результирующим показателем, зависящим и от уровня производительности, гибкости, степени автоматизации производственного процесса.

При заданном виде и количестве производимой продукции минимизация приведенных затрат влечет за собой установление оптимальных, наиболее выгодных показателей гибкости и степени автоматизации, всякое изменение которых снижает эффективность производства. Следовательно, при проектировании нового производства или реконструкции действующего уровень гибкости и степень автоматизации должны определяться технико-экономическим расчетом, быть по возможности оптимальными исходя из критерия минимума приведенных затрат.

Таким образом, указанные показатели производственного процесса взаимосвязаны. Определяющими показателями являются вид и количество выпускаемой продукции.

Автоматизация массового производства связана в основном с автоматизацией предметных потоков и в меньшей степени с автоматизацией информационных потоков. Нельзя, однако, считать, что массовому производству гибкость вовсе не нужна. В современных условиях все чаще происходит смена изделий производства в связи с развитием научно-технического прогресса, появлением болсе совершенных машин, когда эксплуатация устаревшей морально, но еще вполне работоспособной техники оказывается экономически менее выгодной. Поэтому выпускать в течение многих (5–10) лет машины одних и тех же конструкций становится не рациональным. С другой стороны, во многих случаях дешевле изготовлять в массовых количествах какие-либо широкоуниверсальные изделия, а затем с малыми затратами приспособлять их к конкретным условиям работы. При одной и той же конструкции одна машина настраивается на выполне-

ние одной постоянной работы, другая — другой. Такой подход оказывается в ряде случаев более эффективным, чем в случае изготовления различного по конструкции специального оборудования, но в значительно меньших количествах.

Таким образом, гибкость оборудования может быть использована не только на этапе эксплуатации, но и на этапе изготовления и наладки. В итоге выбор оборудования определяется экономическим расчетом, и если новое оборудование с повышенной гибкостью стоит не дороже специального оборудования, то следует отдать предпочтение более гибкому оборудованию.

Себестоимость изготовления изделий в массовом производстве всегда меньше, чем в серийном и, тем более, в единичном. Поэтому всегда стремятся ограничить число одинаковых по назначению машин путем их унификации, стандартизации, благодаря блочно-модульной конструкции для того, чтобы, сократив номенклатуру, увеличить объем выпуска остальных изделий. Однако с развитием техники появляются новые виды машин и поэтому доля серийного производства сохраняется в общем объеме на уровне 60 %, что заставляет искать пути автоматизации и часто переналаживаемого гибкого производства.

В гибком серийном производстве изготавливают различные детали, каждая из которых требует своего технологического процесса (маршрут, режим и т.п.). Оборудование должно периодически переналаживаться, для чего необходима каждый раз новая технологическая информация. Маршрут может выбираться непосредственно в ходе процесса производства с учетом занятости станков, на которых можно осуществлять обработку данной заготовки. Гибкость достигается в этом случае многовариантностью осуществления процесса. Выбор конкретного варианта в конкретных условиях требует наличия соответствующей информации, ее постоянного анализа.

1.3. Размерные, временные и информационные связи в интегрированном производстве

Производственный и технологический процессы характеризуются наличием целенаправленных потоков предметов: исходных материалов, заготовок, деталей, сборочных единиц, вспомогательных материалов, режущих инструментов, приспособлений, технологической оснастки, отходов производства. Заготовки перемещаются в соответствии с предписанным технологическим маршрутом, образуя потоки.

Для изготовления деталей необходим инструмент, который должен быть собран, настроен на требуемый размер или измерен и в нужный

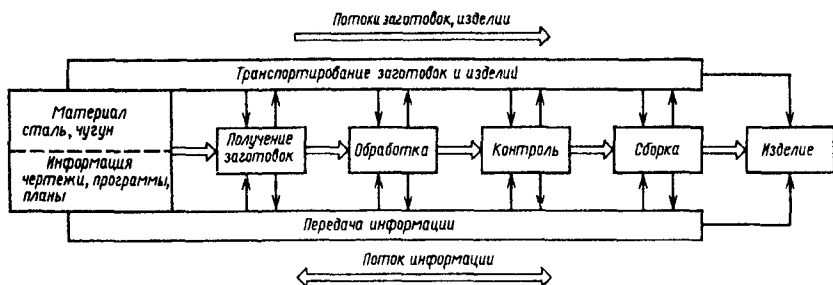


Рис. 1.2. Потоки заготовок, изделий и информации в производственном процессе

момент доставлен на определенный станок. После выработки инструментом определенного периода стойкости режущий инструмент должен быть снят со станка и отправлен в отделение повторной заточки, где инструмент разбирают, повторно затачивают, снова собирают и отправляют на склад.

В производственном процессе, таким образом, заготовки, изделия, инструменты, приспособления, вспомогательные материалы, отходы производства периодически перемещаются каждый по своему маршруту через технологическое оборудование, транспортные устройства, склады и накопители, через различные производственные участки и отделения (рис. 1.2).

Для организации и управления предметными потоками в производстве необходима различная информация о следующем: наличии необходимых заготовок и материалов, начале и окончании обработки конкретной заготовки на конкретном станке, достигаемой точности размеров, запасе стойкости режущих инструментов и расходовании этих запасов, необходимой последовательности обработки, режимах обработки, траектории движения режущего инструмента и многих других параметрах производственного процесса. Информация может быть представлена в различных видах и отображена на различных носителях. Информация о детали, подлежащей изготовлению, обычно представляется в виде чертежа. Технологическая информация представляется в виде текстовых документов и технологических эскизов. Чертежи, эскизы, текстовые документы предназначены для рабочих и не могут быть использованы непосредственно в автоматическом производстве. Для станка или робота та же информация должна быть представлена, например, в виде перфоленты с управляющей программой для устройства ЧПУ.

Помимо разработанной заранее информации необходима еще текущая информация о ходе процесса: получаемых размерах детали, износе инструментов, работоспособности станков, числе заготовок на

складе, расположении транспортных тележек на участке в данный момент времени и пр. Текущая информация о состоянии процесса собирается с помощью различных измерительных средств и датчиков. Не располагая необходимой информацией, невозможно управлять процессом.

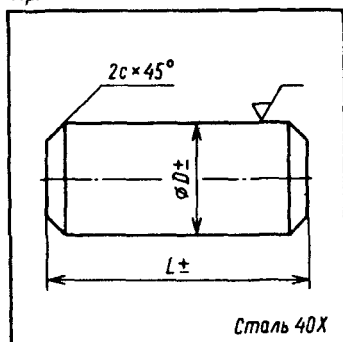
В неавтоматизированном производстве многие информационные процессы оказываются скрытыми, неявными, поскольку они осуществляются людьми, которые могут дополнять недостающую информацию благодаря своим знаниям и опыту. Так, например, в серийном производстве технологические процессы изготовления простых деталей подробно не разрабатывают. Квалифицированный рабочий может сам изготовить на станке деталь, пользуясь только чертежом. При автоматизации производства с использованием станка с ЧПУ необходимо не только подробно указать все параметры обработки, включая режимы резания, траекторию перемещения инструментов и т.п., но и представить эту информацию в виде программы, пригодной для ввода в конкретную систему ЧПУ станка.

При автоматизации производства количество необходимой для производственного процесса информации резко возрастает. Особенно это касается ГПС с автоматической переналадкой станков на изготовление требуемого изделия.

Автоматизация производства заключается в автоматизации предметных и информационных потоков. Автоматизация предметных потоков осуществляется с применением автоматических транспортных систем, автоматических складов и накопителей, устройств автоматической загрузки и выгрузки станков, автоматического технологического оборудования: станков, промышленных роботов, сборочных и других машин. Автоматизация информационных потоков осуществляется установкой различных автоматических измерительных средств: устройств активного контроля размеров и свойств деталей, контактных головок, координатно-измерительных машин, устройств отчета перемещений, путевых выключателей и различных других датчиков, необходимых для получения нужной информации. Для автоматической передачи информации используют различные каналы связи: проводные, световодные, оптические, индуктивные, акустические, электромагнитные. Информацию можно передавать и механическим путем на различных носителях: перфолентах, перфокартах, магнитных дисках, штриховых кодовых этикетках и др. Для автоматического преобразования и использования информации применяют ЭВМ, устройства ЧПУ, программируемые контроллеры, различные устройства ввода и вывода информации и другие средства.

При автоматизации действующего производства необходимо: во-первых, выявить, проанализировать потоки предметов и информации,

Чертеж



Информация с чертежа

Размеры

1. Линейные $D \pm$, $L \pm$, c
2. Угловые \perp , $//$
3. Отклонения формы: от круглости, от цилиндричности, ...
4. Параметр шероховатости Rz

Материал
сталь 40Х

Характеристики

предел прочности, модуль упругости,
удельная масса, ...

Рис. 1.3. Информация, содержащаяся на чертеже детали

необходимым образом их изменить или организовать другие потоки; во-вторых, выбрать из числа имеющихся или спроектировать и изготовить новые средства автоматического обеспечения требуемых потоков; в-третьих, обеспечить функционирование и взаимодействие предметных и информационных потоков в автоматизированном производстве.

Организация предметных и информационных потоков осуществляется в пространстве и во времени. Заготовки, изделия, инструменты и их положение в пространстве характеризуются размерами, которые изменяются с течением времени. Поэтому в производственном процессе необходимо рассматривать по меньшей мере взаимодействия размеров, времени и информации.

Достижения требуемого качества изделий машиностроения (рис. 1.3) связано с преобразованием размеров и свойств материалов, которое осуществляется в пространстве и во времени. Размеры заготовок целенаправленно преобразуют в ходе технологических процессов в размеры изделий, которые должны быть получены в пределах установленных допусков. На каждой операции технологического процесса размеры детали образуются благодаря взаимосвязи размеров режущего инструмента, станка, приспособления. Размеры в изделии между исполнительными поверхностями образуются в результате сборки благодаря взаимодействию размеров составляющих деталей. Установка заготовок, инструментов, других перемещаемых объектов должна осуществляться в определенном месте производственного участка с требуемой точностью для достижения необходимого результата. Все эти процессы описываются размерными связями, под которыми понимают взаимообусловленность, взаимозависимость отдель-

ных размеров, характеризующихся номинальными значениями и допустимыми отклонениями.

Каждый процесс протекает во времени и характеризуется длительностью. Начало следующей операции обусловлено окончанием предыдущей. Для выполнения задания к требуемому сроку осуществляются планирование и согласование многих процессов во времени. Определение необходимого числа станков, инструментов, транспортных средств требует расчетов затрат времени и фондов времени.

Для осуществления производственного процесса в автоматическом режиме необходимо соединить размерные, временные и информационные связи в единую систему и реализовать их с помощью аппаратных и программных средств.

Контрольные вопросы

1 Благодаря каким факторам в результате автоматизации производства повышается производительность труда?

2 Вследствие чего обеспечивается более высокое качество продукции в автоматизированном производстве, чем в неавтоматизированном?

3 Каким образом в результате автоматизации производства более экономично используются ресурсы?

4 Как влияет серийность производства на выбор характеристик автоматического оборудования?

5 Каковы тенденции развития серийного и массового производства?

6 Каковы маршруты движения основных материалов, инструментов, приспособлений в производственных процессах?

Глава 2. Основы проектирования и реализации размерных связей автоматических производственных процессов

2.1. Требования к качеству изделий, обеспечиваемому сборкой

Качество изделий машиностроения определяется совокупностью свойств материалов, размерных и силовых параметров. Эта совокупность определяется в процессе проектирования машины и реализуется процессом ее изготовления.

Размерные параметры качества изделия описывают требуемое по служебному назначению изделия относительное положение и движение его исполнительных поверхностей. Требуемое относительное положение может характеризоваться тремя расстояниями и тремя поворотами в относительном положении координатных систем, построенных на ее исполнительных поверхностях. Требуемое относительное движение характеризуется параметрами траектории и допустимыми отклонениями действительной траектории от расчетной.

На рис. 2.1 показан внешний вид редуктора привода конвейера. Для выполнения редуктором своего служебного назначения, заключающегося, в том числе, в передаче крутящего момента с выходного вала редуктора на приводной вал конвейера, необходимо обеспечить соосность указанных валов при сборке. Поверхность выходного вала редуктора является одной из его внешних исполнительных поверхностей (ИП). Для обеспечения соосности валов необходимо обеспечить при изготовлении редуктора определенное расстояние A_{Δ} и парал-

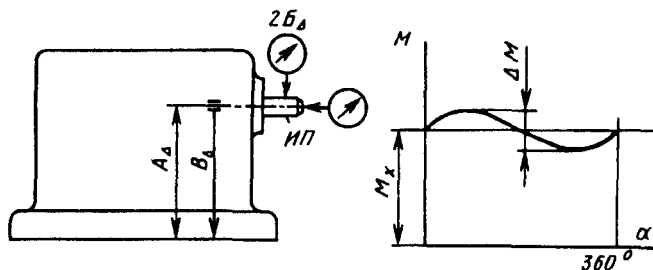


Рис. 2.1. Требования к положению и движению выходного вала редуктора

лельность B_{Δ} оси вращения его выходного вала плоскости основания. Эти требования относятся к относительному расположению ИП в данном случае вала и плоскости основания — основной базы редуктора. Требуемая точность движения выходного вала редуктора описывается допустимыми радиальным $2B_{\Delta}$ и осевым биениями вала при вращении. Указанные требования к координатам положения выходного вала редуктора относительно основных баз, а также к точности вращения вала определяют возможность стыковки выходного вала редуктора с приводным валом конвейера.

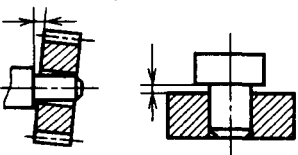
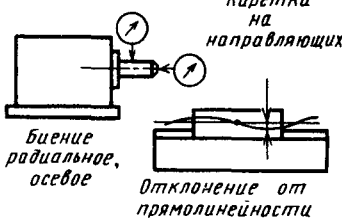
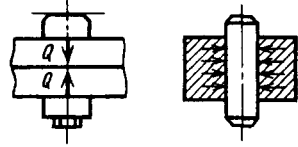
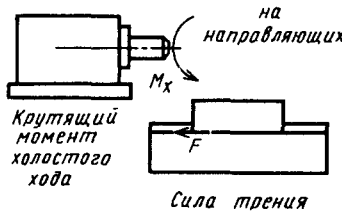
Помимо внешних у редуктора есть и внутренние исполнительные поверхности, например поверхности зубьев шестерен, с помощью которых крутящий момент передается, увеличиваясь от входного вала к выходному валу при соответствующем уменьшении частоты вращения. Поэтому следует также устанавливать требования к точности относительного расположения и движения взаимодействующих поверхностей зубьев каждой пары шестерен. Первое характеризуется допусками межосевого расстояния и параллельности осей делительных цилиндров, второе — допусками радиального биения. Кроме размерных параметров, характеризующих положение и движение исполнительных поверхностей редуктора, к нему предъявляются требования, выражающиеся допустимыми силами и моментами сил, которые характеризуют, в частности, плавность и легкость движения исполнительных поверхностей. Например, могут предъявляться требования к легкости и плавности вращения валов, которые можно характеризовать соответственно крутящим моментом холостого хода M_x и колебанием крутящего момента ΔM за один оборот при холостом ходе.

Размерные и силовые параметры качества изделий определяются при проектировании изделий, исходя из параметров, описывающих их служебное назначение.

Требуемые свойства материалов и часть размерных параметров обеспечиваются процессами изготовления деталей машин. Другая часть размерных параметров и силовые параметры формируются в процессе сборки, при котором осуществляется соединение деталей в сборочные единицы.

Соединение деталей машин может быть подвижным и неподвижным, разъемным и неразъемным. К подвижным соединениям относятся: соединения по ходовой резьбе валов и гаек, подвижные соединения по шлицам, плоским, призматическим и другим направляющим, по цилиндрическим поверхностям с трением скольжения или трением качения. Неподвижные соединения по плоским, цилиндрическим, коническим поверхностям могут быть с натягом (прессовые соединения), с закреплением другими деталями, например заклепками,

2.1. Параметры качества подвижных и неподвижных соединений деталей машин, достигаемые в результате сборки

Параметры качества	Соединения	
	Неподвижные	Подвижные
Размерные	<p><i>Прессовые</i></p>  <p><i>Перенос</i> <i>Зазор</i></p>	<p><i>Вал на опорах</i> <i>Каретка на направляющих</i></p>  <p><i>Биение радиальное, осевое</i> <i>Отклонение от прямолинейности</i></p>
Силовые	<p><i>Болтовые</i> <i>Прессовые</i></p>  <p><i>Сила натяжения болта</i> <i>Давление</i></p>	<p><i>Вал на опорах</i> <i>Каретка на направляющих</i></p>  <p><i>Крутящий момент холостого хода</i> <i>Сила трения</i></p>

резьбовыми соединениями, а также с помощью клея, сварки, пайки. В результате сборки подвижных и неподвижных соединений должны быть тоже обеспечены требуемые по их служебному назначению размерные и силовые параметры качества (табл. 2.1.).

В результате сборки неподвижного соединения должно быть обеспечено: требуемое положение присоединенной детали относительно базовой, характеризуемое пространственными смещениями (несовпадением) комплекта основных баз присоединяемой детали с комплектом вспомогательных баз базирующей детали; требуемая прочность соединения, характеризуемая значениями передаваемых соединением сил и моментов, например силой Q затяжки резьбового соединения.

В подвижных соединениях должны обеспечиваться требуемые параметры траектории движения (перемещения или вращения). Например, должны быть обеспечены прямолинейное перемещение суппорта токарного станка по направляющим станины в пределах установленных ограничений; требуемые силы и моменты сил сопротивления движению, например, ограничивается крутящий момент холостого хода редуктора.

Таким образом, показатели качества собранного изделия можно разделить на размерные и силовые. Размерные показатели выражаются размерами, характеризующими положение (например, отклонение от соосности, параллельности и т.п. одной детали относительно другой, базовой) или движение (например, биение). Силовые показатели характеризуют прочность неподвижного соединения и выражаются значениями сил и моментов, которые передаются этим соединением. В подвижных соединениях силовые показатели характеризуют сопротивление движению — силы трения.

На все основные показатели качества изделия устанавливают предельно допустимые отклонения, так что любое из условий можно записать в общем виде:

$$P_{\min} \leq P \leq P_{\max}, \quad (2.1)$$

где P — какой-либо показатель качества; P_{\min} , P_{\max} — соответственно минимально и максимально допустимые значения параметров.

Например, крепежное резьбовое соединение должно обеспечивать требуемую силу Q , достигаемую затяжкой резьбового соединения. При этом необходимо соблюдение условия

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}. \quad (2.2)$$

Величины Q_{\min} и Q_{\max} определяет конструктор при расчете соединения. Задачей сборки является обеспечение силы затяжки в допустимых пределах. Если, например, $Q < Q_{\min}$, то стык под действием внешних нагрузок может раскрыться. Если $Q > Q_{\max}$, то болт данного диаметра может не выдержать такой силы и разрушится в процессе эксплуатации. Поэтому для качественной работы болтового соединения необходимо выполнить условие (2.2).

Если условия (2.1) в результате сборки выполнены, то изделие соответствует нормам точности и является качественным, годным для эксплуатации.

В ряде случаев силовые параметры качества изделия достигаются через размерные. Так, например, момент холостого хода вала редуктора зависит от натяга подшипников, который регулируется при сборке установкой прокладки соответствующей толщины. Нормальное давление запрессованных деталей зависит от натяга, т.е. разности диаметров вала и втулки.

Таким образом, получение изделия требуемого качества при сборке во многом определяется достижением требуемых размеров: установочных размеров между основными и вспомогательными базами соединяемых при сборке деталей, а также размеров, характеризующих положение и движение исполнительных поверхностей изделия.

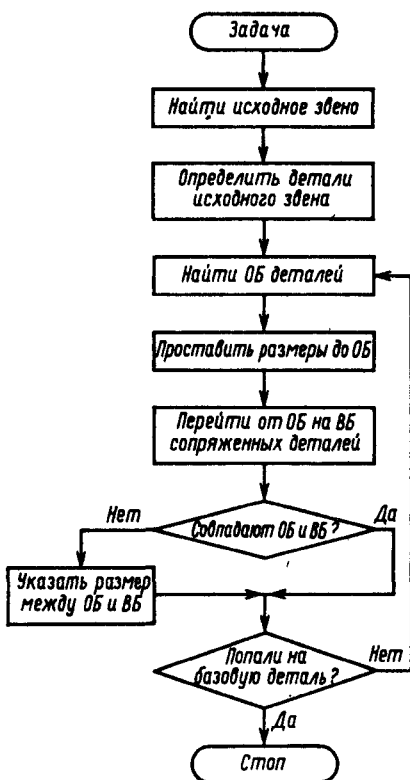
Рис. 2.2. Схема неформального алгоритма построения размерной цепи

Размеры, характеризующие положение и движение ИП машины, принимаются в качестве исходных звеньев конструкторских размерных цепей при размерном анализе конструкции и образуются как замыкающие звенья размерных цепей в результате изготовления машины или сборочной единицы.

Размерный анализ конструкции включает три основных этапа: выявление структуры размерной связи построением размерной цепи; выбор метода достижения точности исходного звена; определение параметров всех составляющих звеньев.

Конструкторские размерные цепи строят по известной методике (рис. 2.2) для каждого размерного параметра положения и движения исполнительных поверхностей машины, которые принимают в качестве исходных звеньев. Для этого от поверхностей или осей, ограничивающих замыкающее звено, проставляют размеры до основных баз ОБ деталей, которым принадлежат исполнительные поверхности машины. Далее переходят на вспомогательные базы ВВ сопряженных деталей и проставляют очередные размеры до основных баз этих деталей. Так продвигаются по обе стороны от исходного звена, пока не придут на одну и ту же базовую деталь. Несовпадения основных и вспомогательных баз сопряженных деталей учитывают отдельным размером, что особенно важно для последующего обоснования требований к точности монтажа деталей при сборке. В результате этого этапа получают конструкторские размерные цепи.

В качестве примера на рис. 2.3 показаны конструкторские размерные цепи, исходными звеньями которых являются размеры A_{Δ} и B_{Δ} , характеризующие требуемое положение и точность вращения выходного вала редуктора (см. рис. 2.1). Составляющими звеньями размер-



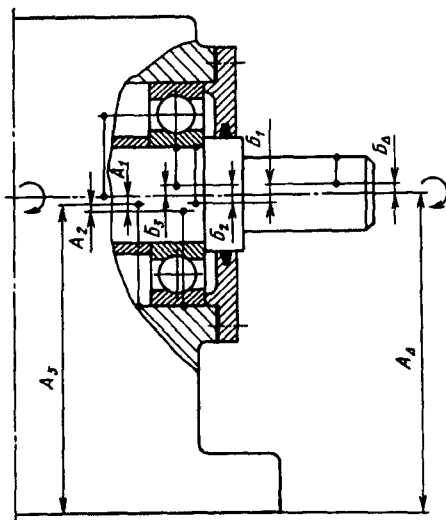


Рис. 2.3. Размерные цепи для размерного анализа конструкции

ных цепей являются размеры составляющих деталей A_3 , B_1 , B_3 , а также установочные размеры установки A_2 , B_2 деталей, т.е. размеры несовпадения основных и вспомогательных баз соединяющихся деталей, в данном случае отклонение B_2 от соосности шейки вала с внутренним кольцом шарикоподшипника и отклонение A_2 от соосности наружного кольца подшипника с отверстием в корпусе.

Следующим этапом анализа является выбор метода дости-

жения точности исходного звена с учетом возможностей его реализации в автоматическом режиме. Последний этап состоит в расчете допусков составляющих звеньев и координат середин полей допусков. Номинальные размеры составляющих звеньев определяют заранее исходя из расчетов деталей машин на прочность, жесткость и т.д. по соответствующим формулам при проектировании конструкции изделия. Практически два последних этапа выполняются параллельно. Оптимальное решение прямой задачи распределения допусков по составляющим звеньям осуществляется таким образом, чтобы затраты на изготовление деталей и сборку машины были минимальны. Наилучшим образом эту сложную задачу можно решить с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР) в интегрированном производстве. В этом случае, опираясь на базы данных, пополняемые в процессе производства, можно быстро оценить изменения стоимости изготовления и сборки сборочной единицы при изменении допусков составляющих звеньев.

Расчет допусков размеров составляющих звеньев осуществляют с учетом выбранного метода достижения точности замыкающего звена при сборке. При отсутствии возможностей для оптимального распределения допусков по составляющим звеньям используют метод расчета по среднему допуску, по единому качеству изготовления звеньев, метод подбора экономично достижимых допусков. В последнем случае предварительно назначается допуск T_i каждого составляющего звена с учетом экономично достижимой точности изготовления каждого звена в условиях данного производства или по справочным таблицам.

Затем допуски всех m составляющих звеньев суммируют. Полученную сумму допусков сравнивают с требуемым допуском T_{Δ} исходного звена и определяют параметр $K = 1/T_{\Delta} \sum_{i=1}^m T_i$.

С учетом этого параметра и других факторов (особенно конструкции, объема выпуска, количества составляющих звеньев, возможностей автоматизации и др.) выбирают метод достижения точности. Пользуясь соответствующим для выбранного метода уравнением допусков, осуществляют перерасчет допусков составляющих звеньев.

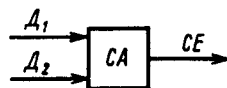
В результате размерного анализа конструкции обосновывают: метод достижения точности при сборке; требования точности размеров деталей при сборке; требования к средствам контроля размеров при изготовлении и сборке.

2.2. Особенности выбора и реализации методов достижения точности при автоматической сборке

Различают пять методов достижения точности (МДТ) замыкающих звеньев размерных цепей: полная взаимозаменяемость (ПВ), неполная взаимозаменяемость (НВ), групповая взаимозаменяемость (ГВ), регулирование (Р), пригонка (П). Кроме того, могут быть использованы различные комбинации этих методов. Рассмотрим возможности и особенности использования каждого из пяти методов достижения точности замыкающих звеньев в конструкторских размерных цепях при автоматической сборке изделий.

Структурная схема автоматической сборки методом ПВ показана на рис. 2.4. Сборочный автомат (СА), осуществляющий сборку двух деталей D_1 и D_2 , которые поступают на его вход, обеспечивает получение сборочной единицы CE . Гарантированное обеспечение требуемого размера замыкающего звена при полной взаимозаменяемости позволяет отказаться от контроля замыкающего звена, получающегося в результате сборки. Это особенно важно в тех случаях, когда трудно автоматизировать контроль получающегося при сборке размера в сборочной единице. При ПВ достаточно контролировать размеры деталей, подаваемых на сборку. В процессе сборки методом ПВ для достижения требуемого размера замыкающего звена не требуется никакой дополнительной информации и связанных с этим дополнительных сложностей по ее получению и автомати-

Рис. 2.4. Структурная схема автоматической сборки методом ПВ



ческому использованию. Метод ПВ отличается от всех других методов достижения точности, требующих получения и использования дополнительной информации в ходе реализации сборочного процесса. Относительная простота организации и управления сборочными процессами при использовании метода ПВ объясняет его широкую распространенность для достижения точности размеров в автоматическом производстве.

Единственный недостаток метода ПВ — необходимость более высокой точности изготовления составляющих звеньев, чем при любом другом методе достижения точности. Поэтому относительная простота автоматизации сборки методом ПВ требует, как правило, высокой точности изготовления деталей, входящих в сборочную единицу.

Сборка методом ПВ наиболее производительна, так как не требует дополнительных затрат времени на получение и использование какой-либо дополнительной информации. Автоматическое сборочное оборудование, работающее при использовании этого метода, характеризуется простотой и компактностью. Однако стремление предельно удешевить сборку и автоматическое сборочное оборудование использованием ПВ приводит в ряде случаев к значительному повышению точности, а следовательно, и себестоимости изготовления составляющих деталей, что не всегда окупается снижением затрат на сборку.

При использовании метода НВ не у всех собранных сборочных единиц гарантируется получение замыкающего звена в требуемых допусках. Поскольку заранее не известно, в каком именно изделии требуемый размер замыкающего звена не обеспечивается, то замыкающее звено размерной цепи, образующееся при сборке, необходимо контролировать в каждой сборочной единице. Поэтому приходится осуществлять 100 %-ный контроль изделий. Это усложняет и удорожает сборку методом НВ, так как необходимо предусмотреть дополнительную контрольную позицию в сборочной автоматической линии или в сборочном автомате. Вместе с тем при использовании метода НВ допуски на составляющие звенья размерной цепи, т.е. на изготовление деталей, увеличиваются при той же точности замыкающего звена по сравнению с допусками при использовании метода ПВ

в среднем в \sqrt{m} раз, где m — число составляющих звеньев, при 0,27 %-ном риске и нормальных законах распределения размеров. Поэтому чем больше составляющих звеньев в размерной цепи, тем выгоднее использовать метод НВ по сравнению с методом ПВ.

Структурная схема сборочного автомата, реализующего сборку методом НВ, показана на рис. 2.5. Детали D_1 и D_2 собираются в сборочном автомате СА. Все CE должны пройти контрольный автомат КА и часть CE , попавших в процент риска, будет отбракована. Эти

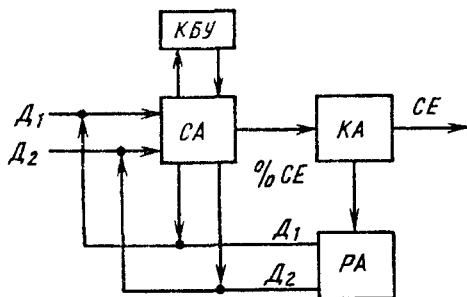
Рис. 2.5. Структурная схема автоматической сборки методом НВ

СЕ должны быть разобраны разбирающим автоматом РА, а составляющие детали возвращены для повторной сборки в другом сочетании.

В ряде случаев, например при сборке валика и втулки по переходной посадке, может оказаться, что некоторые детали вовсе нельзя установить при сборке. Эти случаи тоже включены в процент риска. Они могут привести к заклиниванию или поломке сборочного автомата. Для предотвращения заклинивания и поломок необходимо предусмотреть контрольно-блокировочное устройство КБУ, которое прерывает сборочный процесс, выводит из зоны сборки несобранные детали, возвращает автомат в исходное состояние для продолжения сборки других деталей. КБУ срабатывает при получении текущей информации о сборочном процессе. Для этого бывает достаточным контролировать силы в процессе соединения деталей на рабочей позиции сборочного автомата, например осевую силу при постановке валика во втулку. В случае возникновения натяга или при заклинивании деталей сила сопротивления движению рабочего органа сборочного автомата, устанавливающего деталь, увеличится, что послужит сигналом к прерыванию сборки, возвращению рабочего органа в исходную позицию и удалению собираемых деталей из рабочей зоны автомата.

Использование метода НВ, таким образом, требует дополнительного оснащения сборочного автомата контрольной позицией и блокирующим устройством, требует разборки изделий, не соответствующих требованиям точности (их количество соответствует проценту риска) и средств возврата деталей на сборку. Для осуществления сборки требуется дополнительная информация, которая может быть получена не заранее, а только лишь в процессе сборки или по завершении сборки. Эта информация должна быть получена с помощью соответствующих датчиков, преобразована для автоматического анализа и выдачи управляющего воздействия, а также использована для осуществления автоматической сборки методом НВ.

Наличие процента риска, необходимость получения и использования в ходе сборки дополнительной информации требует дополнительных затрат времени на сборку, что снижает ее производительность. Вместе с тем увеличение в несколько раз допусков размеров составляющих звеньев, т.е. допусков на изготовление собираемых деталей,



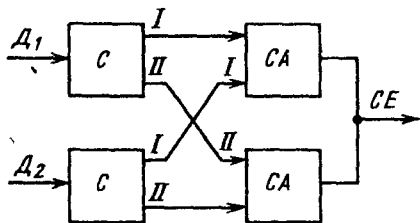


Рис. 2.6. Структурная схема автоматической сборки двух деталей методом ГВ

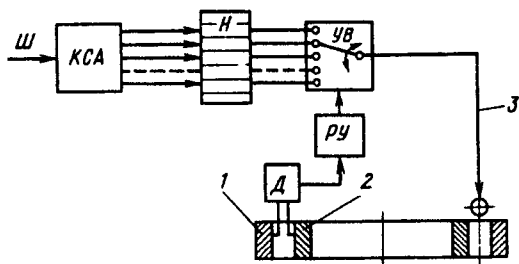
и, следовательно, их удешевление может в ряде случаев окупить дополнительные затраты на автоматическую сборку изделия методом неполной взаимозаменяемости.

Схематично сборка двух деталей методом ГВ показана на рис. 2.6. При автоматической сборке методом ГВ детали должны быть предварительно рассортированы по размерам на группы сортировочными автоматами C . Далее детали D_1 и D_2 первой размерной группы собираются сборочным автоматом CA . Аналогично собираются детали других размерных групп. На схеме для простоты показаны два сборочных автомата, каждый из которых собирает детали одной размерной группы. Так может быть только при соответствующем большом объеме выпуска изделий. Если же для достижения требуемой производительности достаточно одного автомата, то детали разных размерных групп собираются на одном автомате по очереди. В этом случае необходимо обеспечить одновременную подачу на сборочную позицию собираемых деталей какой-либо одной размерной группы. В пределах одной размерной группы достижение точности изготовления изделий осуществляется методом ПВ. Поэтому в собранных изделиях гарантируется достижение требуемого размера замыкающего звена и дополнительный контроль не требуется.

При сборке методом ГВ m составляющих сборочную единицу деталей сортируют на n размерных групп. Для хранения и подачи на сборку необходимо mn накопителей. Некоторые детали клеймят или маркируют, чтобы при сборке их не перепутать с такими же деталями другой размерной группы. Это усложняет организацию сборки. Предварительная сортировка собираемых деталей на размерные группы требует получения информации о размерах всех деталей путем их измерения. Поэтому по сравнению с методом ПВ метод ГВ так же, как и другие методы, требует увеличения информации для осуществления сборки. Для этого необходимы дополнительные устройства и дополнительные затраты времени. Вместе с тем допуски на составляющие звенья расширяются в n раз и при ГВ $K = n$.

Достижение требуемой точности замыкающего звена регулированием размера в автоматической сборке может осуществляться с использованием подвижного или неподвижного компенсатора. В первом случае для этого следует использовать соответствующие возможности конструкции самого изделия, где размер может регулироваться с помощью винтового, клинового или другого механизма. Во

Рис. 2.7. Схема автоматической сборки шарикоподшипников



втором случае при неподвижном компенсаторе требуется заранее изготовить детали-компенсаторы нескольких разных размеров и в процессе сборки установить компенсатор необходимого в данном случае размера. Так, например, для обеспечения требуемого натяга подшипников выходного вала редуктора (см. рис. 2.2), регулируемого с помощью прокладки между крышкой подшипника и корпусом, необходимо собрать узел без прокладки, приложить к крышке необходимую силу для создания натяга подшипника, измерить образовавшийся зазор между корпусом и крышкой и поставить в этот зазор прокладку соответствующей толщины, сняв предварительно крышку подшипника. Таким образом, при регулировании необходимо получать информацию в процессе сборки и организовать обратную связь.

Примером использования метода регулирования в автоматической сборке может быть автоматическая сборка подшипников. Размеры шариков Ш (рис. 2.7), поступающих на сборку, измеряются в контрольно-сортировочном автомате КСА, и шарики сортируются по размерам на 50 размерных групп через 2 мкм. Рассортированные по группам шарики попадают в накопители Н. На позицию автомата поступают два кольца шарикоподшипника: наружное 1 и внутреннее 2. Радиальный зазор между двумя пришедшими на сборку кольцами 1 и 2 автоматически измеряется датчиком Д. Сигнал от датчика поступает в решающее устройство РУ и далее в устройство выбора УВ размеров шариков. УВ включает и переключает подвижный лоток на кассету накопителя с требуемыми размерами шариков. Необходимое число шариков нужного размера по трубчатому лотку З подается на сборочную позицию.

Применение метода регулирования в автоматическом производстве связано с необходимостью автоматического измерения размеров, обработки полученной информации и использования ее для регулирования механизма или процесса.

Использование ЭВМ, контактных головок, активного контроля размеров, адаптивного управления свидетельствует о переходе от метода полной взаимозаменяемости на метод автоматического регулирования для достижения высокой точности в условиях автоматического производства.

Таким образом, метод регулирования для достижения требуемой точности замыкающих звеньев размерных цепей характеризуется следующими общими положениями: допуски размеров составляющих звеньев могут быть установлены исходя из возможностей изготовителя и значительно большими по сравнению с допусками размеров при ПВ; для регулирования размеров при сборке необходимо наличие информации о получаемых при сборке размерах, т.е. наличие обратной связи; регулированием можно обеспечить высокую точность размера замыкающего звена независимо от допусков размеров, с которыми изготовлены составляющие звенья.

Подвижный компенсатор в сборочной единице должен быть реализован в виде винтовых, клиновых и других устройств, позволяющих регулировать размеры.

Достижение требуемой точности замыкающего звена размерной цепи пригонкой состоит в удалении необходимого слоя материала с детали, являющейся компенсатором, для компенсации отклонений размеров всех составляющих звеньев. Этот метод похож на метод регулирования с неподвижным компенсатором. Разница лишь в том, что компенсатор не изготовлен заранее с определенными размерами как при методе регулирования, а имеет необходимый припуск, который частично или полностью удаляется при сборке для достижения требуемой точности замыкающего звена.

Пригонка так же, как и регулировка, позволяет обеспечить высокую точность размера замыкающего звена даже при большом числе составляющих звеньев. Однако для пригонки необходимо осуществлять дополнительную обработку компенсатора непосредственно при сборке, что в ряде случаев нежелательно.

На рис. 2.8 показана схема автоматической пригонки плунжеров под размер плунжерной втулки. Окончательно обработанная плунжерная втулка 1 подается на бесцентрово-шлифовальный станок, на котором под диаметр d_0 отверстия втулки 1 дошлифовывается плунжер 2 по наружному диаметру d_B . Диаметр d_0 отверстия втулки измеряется датчиком D_2 , а диаметр d_B плунжера измеряется в процессе обработки датчиком D_1 . Сигналы с датчиков, пропорциональные диаметрам d_0 и d_B , подаются в сравнивающее устройство 3, где вы-

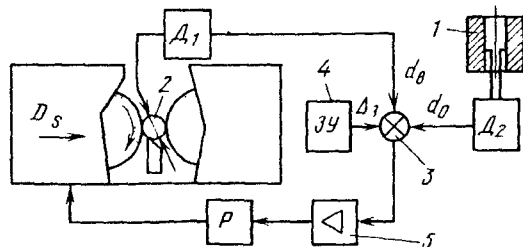


Рис. 2.8. Схема автоматической пригонки плунжеров под размер плунжерной втулки

числяется разность $\Delta = d_0 - d_B$ и сравнивается с сигналом от задающего устройства 4, которое задает требуемое значение ширины зазора в соединении втулки и плунжера (замыкающее звено). Пока заданное значение зазора больше текущего значения, сигнал с выхода сумматора 3, усиленный усилителем 5, оказывается положительным и шлифование плунжера продолжается. По мере шлифования размер d_B постепенно уменьшается и разность $\Delta = d_B - d_0$ постепенно увеличивается. При достижении заданного значения разности диаметров, т.е. $\Delta = \Delta_3$, сигнал на выходе сумматора становится равным нулю и затем становится отрицательным. Регулятор P мгновенно срабатывает и подает команду на отвод шлифовального круга. Размер d_B плунжера соответствует размеру d_0 втулки и их разность равняется требуемому зазору Δ_3 . Таким образом, каждый плунжер индивидуально подгоняется по диаметру к диаметру каждой втулки. Так осуществляется автоматическая пригонка плунжеров.

Обратная связь в данном случае осуществляется благодаря использованию датчика D_1 , измеряющего диаметр плунжера, и датчика D_2 , измеряющего диаметр отверстия втулки. Вычисление разности двух аналоговых сигналов здесь очень просто реализуется операционным усилителем; задатчик представляет собой переключатель или потенциометр со шкалой. В более сложных случаях необходимо использовать вычислительную технику. При сборке методом ПВ в этом нет необходимости. Метод пригонки имеет те же отличия от метода ПВ, что и метод регулирования. В отличие от метода регулирования метод пригонки требует обработки компенсатора.

Каждый из перечисленных пяти методов имеет преимущества, недостатки и области наиболее эффективного использования. Критерисм выбора метода является минимум суммы всех затрат на изготовление составляющих звеньев и сборку.

2.3. Автоматическая сборка

Сборка представляет собой технологический процесс соединения деталей машин в сборочные единицы и машину в целом.

Соединение деталей осуществляется такой их установкой, при которой основные базы присоединяемой детали совпадали со вспомогательными базами базирующей детали.

Построим на сопрягаемых комплектах баз собираемых деталей координатные системы. Назовем координатную систему $X_B Y_B Z_B$, построенную на вспомогательных базах, вспомогательной координатной системой (рис. 2.9). Результатом сборки должно стать совмеще-

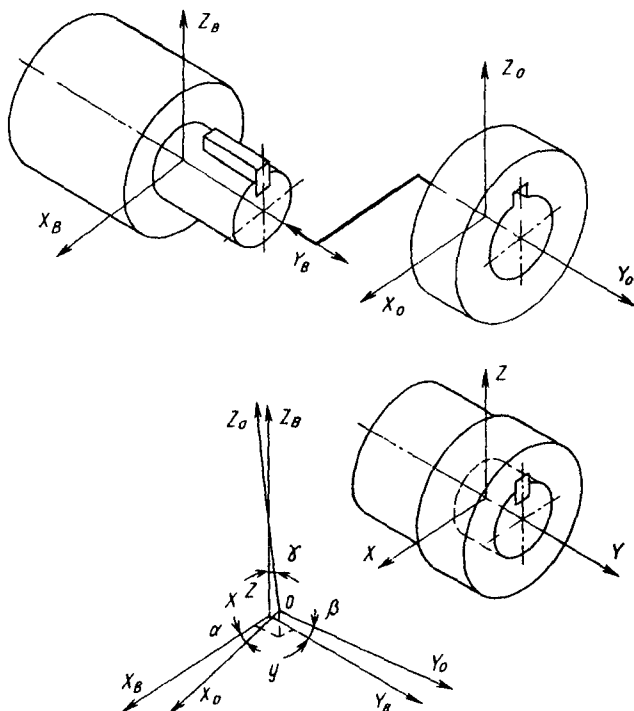


Рис. 2.9. Схема совмещения основной и вспомогательной координатных систем соединяемых деталей при сборке

ние основной координатной системы $X_0Y_0Z_0$ со вспомогательной $X_вY_вZ_в$ с требуемой по служебному назначению этого соединения точностью. Точность совмещения координатных систем может отображаться шестью параметрами: тремя отклонениями x, y, z положения начала основной координатной системы XYZ во вспомогательной и тремя углами поворота α, β, γ координатных осей. Предельно допустимые отклонения указанных параметров или их допуски характеризуют требуемую точность установки присоединяемой детали при сборке сборочной единицы и определяются исходя из служебного назначения этой сборочной единицы. В результате сборки должны реализоваться требуемые конструкторские размерные связи в сборочной единице, обеспечивающие требуемые положения и относительные движения исполнительных поверхностей машины.

Когда говорят о сборке, прежде всего имеют в виду сборку изделия или составляющих его сборочных единиц. Но кроме сборки изделий,

в производстве осуществляют и другие сборочные процессы: сборку режущих инструментов, приспособлений, другой технологической оснастки. Кроме того, при обработке осуществляются вспомогательные операции, аналогичные сборочным: установка заготовок на столы станков, в приспособления, на спутники, в кассеты, на конвейер или транспортную тележку, в ячейку склада; установка режущих инструментов на транспортные средства, в приспособления, инструментальные магазины многоцелевых станков, шпиндели, патроны, держатели; захват заготовки, детали или инструмента манипулятором или промышленным роботом; установка спутников с заготовками, магазинов, кассет на станки, транспортные средства, контрольное или другое оборудование, в ячейку склада; стыковка транспортных тележек со стеллажами, накопителями и другими устройствами при доставке заготовок, спутников, кассет и т.д.; установка мерительного или сборочного инструмента.

Все указанные процессы имеют одинаковые со сборкой операции. Все процессы связаны с ориентацией объектов и совмещением основных и вспомогательных баз объектов, например заготовки и стола станка, инструмента и шпинделя и т.д. Погрешность совмещения баз должна находиться в пределах допуска. Соединение должно обладать необходимыми жесткостью и прочностью. Аналогия перечисленных выше процессов при сборке и обработке позволяет использовать единые методы расчета для устройств, автоматизирующих эти процессы.

Автоматическую сборку можно разделить на ряд последовательных этапов: подача предварительно ориентированных деталей в рабочую зону сборочного автомата; ориентирование присоединяемой детали относительно базовой; присоединение и закрепление детали; освобож-

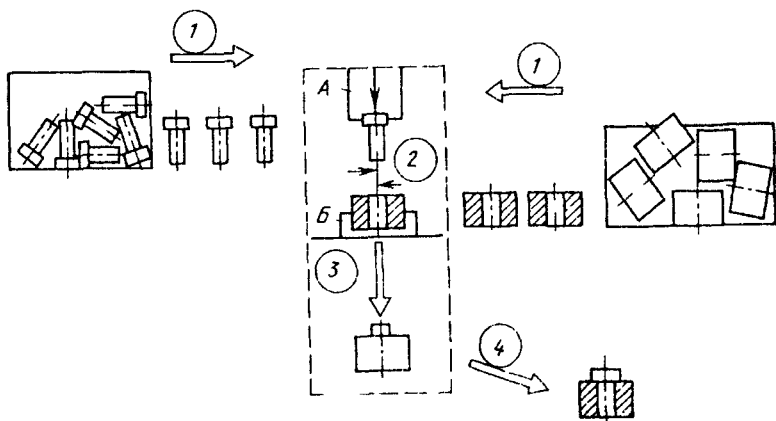


Рис. 2.10. Этапы сборки

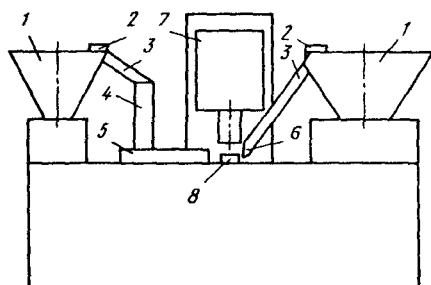


Рис. 2.11. Компоновка однопозиционного сборочного автомата:

1 — вибробункера для хранения и подачи собираемых деталей; 2 — ориентирующие устройства, 3 — лотки; 4 — магазин; 5 — питатель; 6 — отсекающий механизм; 7 — силовая головка, 8 — выталкиватель

дение рабочей зоны сборочного автомата от собранной сборочной единицы.

Этапы сборки иллюстрирует рис. 2.10 на примере автоматической сборки валиков и втулок. Валики и втулки подаются к рабочим органам А и Б сборочного автомата в предварительно ориентированном виде так, что оси валиков и втулок располагаются вертикально. Без предварительной ориентации валики и втулки не могут быть автоматически захвачены рабочими органами сборочного автомата. Далее, для того, чтобы было возможно установить валик в отверстие втулки перемещением захвата А вниз, необходимо обеспечить соосность валика и отверстия во втулке, иначе торец валика упрется в торец втулки, автомат может заклинить. Соосность деталей перед их соединением обеспечивается соосностью захватных устройств А и Б сборочного автомата. Если соосность валика и втулки в пределах установленного допуска обеспечена, то движением схвата А вниз валик вводится в отверстие во втулке и осуществляется соединение двух деталей.

Собранная сборочная единица должна быть удалена из рабочей зоны сборочного автомата, чтобы освободить место для следующих деталей. Из рассмотренных четырех этапов автоматической сборки первый и четвертый этапы являются транспортными. Требования к точности относительного положения деталей на этих этапах сравнительно не велики. Соединение деталей в сборочную единицу осуществляется на втором и третьем этапах. На этих этапах требуется обеспечить определенное относительное положение деталей в более узких допусках, чем на других этапах. Компоновка сборочного автомата показана на рис. 2.11.

2.4. Способы и средства транспортирования, автоматической подачи и ориентирования заготовок и деталей

Транспортирование заготовок и деталей. Способы и средства автоматической подачи деталей на сборку аналогичны способам и средствам подачи заготовок деталей к станкам и другому автоматизированному оборудованию. Такая же аналогия характерна для подачи

режущих инструментов, приспособлений, спутников с заготовками и т.д.

На автоматическую сборку или дальнейшую обработку детали и заготовки могут подаваться поштучно и партиями в ориентированном или дезориентированном положении.

Ориентированным считается определенное одинаковое положение всех деталей, например всех валиков в горизонтальном положении или всех валиков в вертикальном положении. Дезориентированным считается случайное, хаотичное положение деталей, например валиков, сыпанных в бункер. Каждый валик (в бункере) ориентирован в пространстве случайным образом. При обработке на станках заготовки ориентированы определенным образом относительно приспособления, шпинделя, инструмента. Это же относится, как правило, и к последней операции технологического процесса обработки заготовок, после которой детали подаются на сборку. Ориентированное положение деталей после последней операции целесообразно сохранить при транспортировании на сборку, поскольку на сборку детали должны поступать к рабочим органам сборочного автомата в предварительно ориентированном положении. Если же после изготовления деталей их ориентация будет нарушена, то на сборке детали снова понадобится ориентировать, на что необходимо будет затратить дополнительное время и средства. Вместе с тем сохранение ориентированного положения деталей при транспортировании их на сборку также требует специальных средств. Поэтому целесообразность ориентированного или неориентированного транспортирования деталей определяется в итоге стоимостью варианта. Таким образом подача деталей на сборку или на склад после последней операции изготовления может осуществляться как с сохранением, так и с потерей ориентации.

Схемы подачи деталей показаны на рис. 2.12. Поштучно передаются, как правило, крупные детали в ориентированном положении, а также средние и мелкие детали, если расстояние между последним станком и сборочной позицией невелико (рис. 2.12, а, г, д). Так, например, средние и мелкие детали могут быть поданы от станка *СТ* к сборочной машине *СМ* по наклонному лотку (см. рис. 2.12, а), промышленным роботом (см. рис. 2.12, г) или другим транспортным устройством, например поворотным столом многопозиционного сборочного автомата (см. рис. 2.12, д), на котором может осуществляться и изготовление некоторых деталей, например пружин. Во всех этих случаях ориентированная деталь со станка без потери ориентации либо подается на транспортную систему разгрузочным устройством *Р*, либо непосредственно переносится на сборочную позицию. При этом детали могут быть ориентированы иначе, чем на станке; валы, например, могут находиться на станке в горизонтальном положении,

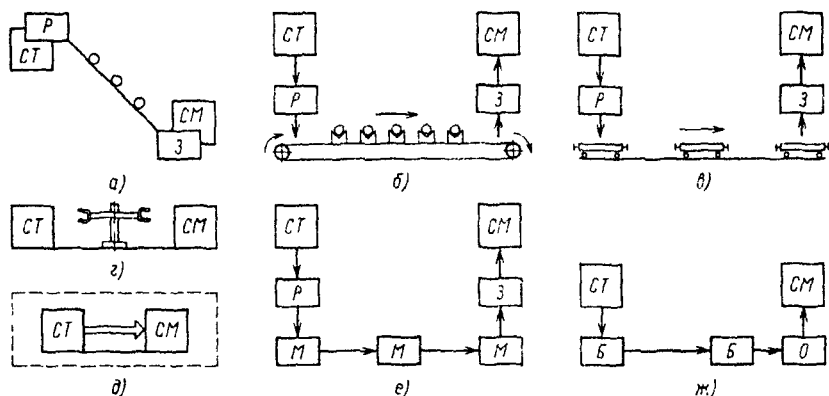


Рис. 2.12. Схемы автоматического транспортирования:
 Б — бункер; О — ориентирующее устройство, М — магазин

а транспортироваться роботом или устанавливаться в кассету в вертикальном положении. Управляемое изменение положения деталей в пространстве не означает потери ориентации. Деталь, например, зажатая в захвате робота, может перемещаться им по различным запрограммированным траекториям, но это не имеет ничего общего с потерей ориентации и занятием произвольного случайного положения, как, например, тогда, когда детали скатываются в ящик, бункер или другую тару, где располагаются хаотически.

На рис. 2.12, б показана схема транспортирования деталей каким-либо конвейером: ленточным, штанговым или другим, оснащенным базирующими элементами, например призмами, которые позволяют транспортирующим системам сохранить положение деталей при транспортировании к сборочной машине или к другому станку. Поштучная перевозка деталей может осуществляться транспортной тележкой (см. рис. 2.12, в) рельсовой или безрельсовой. У сборочной машины деталь перегружается с конвейера или тележки каким-либо загрузочным устройством (З), в качестве которого может использоваться робот или манипулятор. Поштучное транспортирование деталей на короткое расстояние может осуществляться роботом или манипулятором напольным или порталным (см. рис. 2.12, г).

Иногда сборочная позиция и позиция обработки заготовки могут быть объединены в одном автомате (см. рис. 2.12, д). Тогда перенос детали с одной позиции на другую может осуществляться тактовым поворотным столом, роботом, манипулятором.

Очевидное преимущество указанных способов состоит в сохранении ориентированного, упорядоченного положения детали, которое

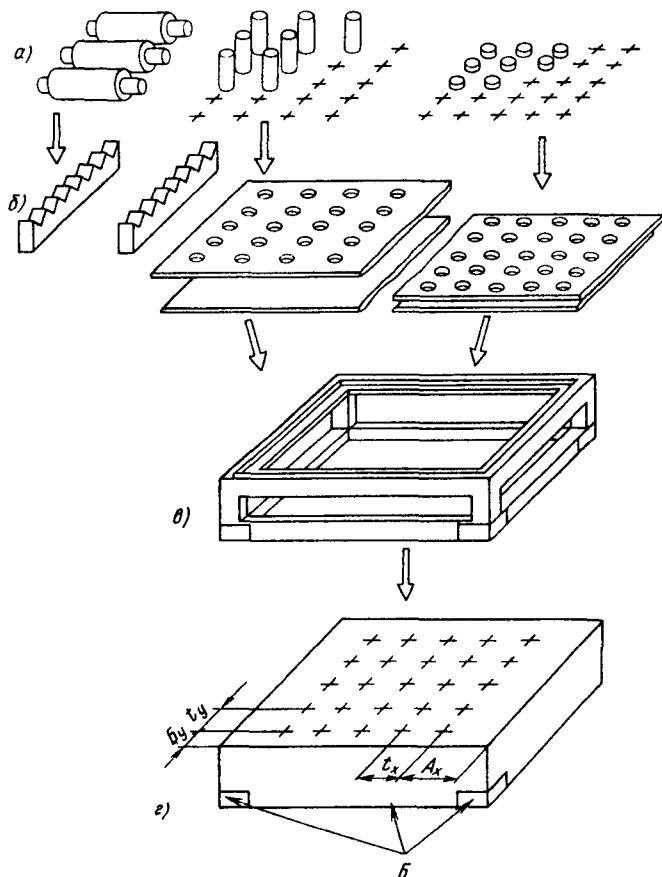


Рис. 2.13. Транспортная тара, сохраняющая ориентированное положение транспортируемых деталей при сборке:

a — детали; *б* — установочные элементы; *в* — корпус; *г* — транспортная тара в сборе

она занимает на станке, и отсутствии необходимости в ее повторной ориентации у сборочного автомата.

Это важное преимущество может быть обеспечено и при транспортировании деталей партиями по несколько штук, в магазинах, кассетах, палетах и другой транспортной таре, обеспечивающей сохранение ориентации деталей при транспортировании (см. рис. 2.12, *e*). Некоторые виды такой тары приведены на рис. 2.13. Тара может быть специальной, рассчитанной только на определенный вид заготовки или детали, универсальной для транспортирования

изделий различных наименований без переналадки, а также переналаживаемой — для транспортирования различных изделий.

Характерной особенностью кассеты для автоматизированного производства является: во-первых, наличие постоянных основных баз B для точной установки кассеты около станка или сборочной машины; во-вторых, наличие определенного нормированного расстояния между комплектами вспомогательных баз, ориентирующих детали во всех кассетах; в-третьих, наличие определенных размеров A_x , B_y с допусками, определяющих положение вспомогательных баз относительно основных баз кассет. Это необходимо для автоматической загрузки и разгрузки тары с помощью манипуляторов или роботов. Робот может брать детали, находящиеся в определенном положении в ячейках кассеты в заранее известных координатах пространства, закодированных в управляющей программе.

Транспортирование магазинов, палет, кассет может осуществляться теми же средствами, что применяются при транспортировании единичных деталей (конвейерами, тележками и т.п.), включая транспортирование мелких кассет роботом. Транспортирование деталей в кассетах, магазинах может осуществляться не только в пределах цеха, завода, но и между заводами.

Заготовки и некоторые изделия могут транспортироваться в неупорядоченном положении в соответствующей таре. Тара в этом случае представляет собой железный или пластмассовый ящик. Ориентированная на станке заготовка или деталь, попадая в этот ящик, теряет ориентацию, и для последующей сборки или продолжения обработки должна быть снова ориентирована с помощью ориентирующего устройства.

Хранение или транспортирование неориентированных заготовок и деталей проще (см. рис. 2.12, ж), поскольку не требует применения специальных магазинов или кассет, а также упорядоченной укладки деталей. Вместе с тем неупорядоченному хранению и транспортированию деталей в ящиках и бункерах присущи существенные недостатки, основные из которых следующие: детали могут быть повреждены в результате постоянных соударений друг о друга и о стенки тары при разгрузке, транспортировании в неупорядоченном состоянии и при пересыпании из тары в бункер ориентирующего устройства; некоторые детали могут сцепиться друг с другом, что затрудняет последующее автоматическое транспортирование деталей. Характерными примерами таких сцепляющихся деталей являются разрезные пружинные шайбы (гроверные шайбы) или пружины.

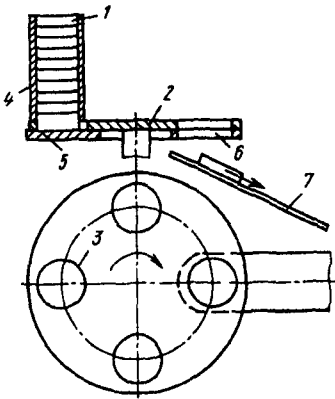
Для автоматической подачи в рабочую зону сборочного автомата детали должны быть ориентированы требуемым образом, для чего необходимы специальные ориентирующие устройства.

Подача ориентированных заготовок и деталей. Для подачи заготовок и деталей из магазинов, кассет, лент к сборочным, обрабатывающим или другим системам используют разнообразные устройства, отличающиеся в том числе степенью универсальности и гибкости. Наиболее гибким устройством является промышленный робот, который, например, может поочередно брать заготовки в заданном программой порядке из ячеек кассеты и устанавливать их в патрон станка для обработки, а после обработки снова ставить в кассету на свободное место и так до тех пор, пока все заготовки не будут обработаны. Причем, если известны постоянные шаги t_x и t_y расположения гнезд в кассете под детали (см. рис. 2.13), то нет необходимости задавать в программе робота координаты каждого гнезда. Достаточно задать положение первого гнезда, шаги t_x , t_y , а также число рядов и ячеек в одном ряду и порядок выемки. Координаты каждого гнезда УЧПУ робота вычислит автоматически. Если кассеты или детали будут другими или по-другому расположены, то достаточно поменять программу и захват робота и он сможет работать в новых условиях. Смена программы и захвата на многих современных роботах может осуществляться автоматически.

Однако и стоимость такого грузозачного робота с системой управления на базе ЭВМ (CNC) значительно превышает стоимость многих других устройств, не имеющих такой гибкости и универсальности. Абсолютное большинство современных роботов может брать деталь или заготовку только в предварительно ориентированном виде и в заданном месте пространства, что требует применения кассет, магазинов или бункеров с ориентирующими устройствами. Известны роботы, оснащенные техническим зрением, которые могут различать детали и брать их в различном положении, как и человек. Но такие роботы пока очень дороги, потому что реализация технического зрения требует использования ЭВМ для анализа полученного изображения, принятия соответствующего решения и выработки управляющего воздействия.

Автоматические манипуляторы имеют постоянную программу работы, которая не может так быстро меняться, как у роботов. Поэтому манипулятор может брать деталь или заготовку только в одном определенном месте, на которое он настроен. Манипулятор не может без посторонней помощи последовательно брать заготовки из ячеек кассеты, как робот. Чтобы манипулятор мог брать детали из ячеек кассеты, необходимо дополнительное устройство — тактовый стол, который должен перемещать кассету с деталями так, чтобы они оказывались по очереди в зоне захвата манипулятором. Часто детали без кассеты устанавливают на тактовые столы, периодически подающие детали в рабочую зону.

Рис. 2.14. Устройство для подачи дисков



В массовом и крупносерийном производстве манипуляторы при простых программах перемещений, характерных для загрузки оборудования, более предпочтительны, чем роботы, поскольку значительно дешевле, а для изменения программы работы не требуется продолжительное время. Для работы манипулятора ему должны быть поданы предварительно ориентированные детали в одном месте рабочего пространства. С этой целью могут использоваться не только тактовые

столы, но и вибробункеры с ориентирующими устройствами, магазины с отсекающими. Роботы и манипуляторы могут быть использованы как универсальное оборудование для подачи различных деталей с допустимыми массой, размерами в пределах обслуживаемой зоны.

В отличие от роботов и манипуляторов специальные устройства для подачи ориентированных деталей, как правило, создаются для подачи деталей только конкретного типа или нескольких близких по форме деталей в условиях массового и крупносерийного производств. Примером является устройство (рис. 2.14) для подачи дисков 1 или других плоских деталей. Устройство представляет собой поворотный стол 2 с отверстиями 3, диаметр которых чуть больше диаметров транспортируемых дисков 1. Диски 1 уложены стопкой в трубчатом магазине 4. Нижний диск опирается на поверхность поворотного стола 2. Стол 2 может вращаться непрерывно или поворачиваться дискретно на определенный фиксированный угол. Как только отверстие 3 при вращении стола занимает положение под трубчатым накопителем 4, стопа дисков 1 в накопителе 4 опускается вниз, так как нижний диск падает в отверстие 3 стола 2. Стол при повороте

перемещает диск по неподвижной плите 5, имеющей вырез 6. Под вырезом 6 установлен склиз 7. Когда при повороте стола 2 его отверстие 3 с диском 1 оказывается над вырезом 6, диск 1 падает на склиз 7 и, перемещаясь по наклонной плоскости склиза 7, попадает в рабочую зону сборочного автомата.

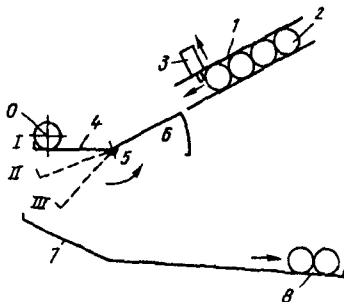


Рис. 2.15. Схема устройства для подачи валков в центры станка

Схема специального устройства для подачи валиков в центры станка показана на рис. 2.15. В бункере помещены штучные заготовки 2 валов с центровыми отверстиями. Отсекатель 3 периодически отсекает поток заготовок на выходе бункера. Рычаг, расположенный на оси 5, может поворачиваться, занимая три различных положения левым плечом 4 на рис. 2.15: вверх в положении I, в среднем положении II и в нижнем положении III. В верхнем положении плеча 4 происходит загрузка заготовки в центры станка, расположенные по оси *O*. В положении I правое плечо 6 рычага опущено и очередная заготовка скатывается по плечам 6 и 4 рычага в положение, при котором ось заготовки располагается по оси центров станка. Далее осуществляется подвод заднего центра, и заготовка вдвигается в центровой патрон станка. Плечо рычага 4 опускается в положение II. Осуществляется обработка заготовки. По окончании обработки задний центр станка отходит, обработанная заготовка попадает на плечи 4 рычага. Рычаг опускается плечом 4 в нижнее положение III, при котором обработанная заготовка скатывается по направляющим 7 в приемный бункер 8. В это время отсекающий 3 поднимается, пропуская очередную заготовку из бункера 1 к торцу плеча 6 рычага, препятствующего дальнейшему движению заготовок. Далее плечо 4 рычага идет вверх в положения II и I и цикл повторяется.

Лотки — наиболее простые устройства, предназначенные для подачи ориентированных деталей самотеком. Лотки могут иметь различный поперечный профиль (прямоугольный, круглый V-образный и др.), различное расположение в пространстве: (лотки прямые, наклонные, вертикальные и т.д.). Детали перемещаются по лоткам, как по наклонным поверхностям, под действием собственного веса. Лотки могут быть открытыми и закрытыми (рис. 2.16). В открытых лотках можно в любом месте вынуть или вставить деталь. В закрытых лотках выпадение детали не может произойти. Лотки используют в основном в комплекте с другими загрузочными устройствами в массовом и крупносерийном поточном производстве. При расчете лотков необходимо выбрать зазор *A* между деталью и стенками лотка, такой, чтобы детали не заклинивались при скольжении или качении по лотку. Для цилиндрических деталей с плоскими торцами минимальную ширину зазора вычисляют по формуле

$$A_{\min} = \sqrt{\frac{D^2 + L^2}{1 + f^2}} - L, \quad (2.4)$$

где *D* и *L* — соответственно диаметр и длина детали; *f* — коэффициент трения;

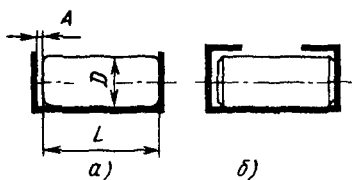


Рис. 2.16. Лотки:
а — открытый, б — закрытый

$$A_{\max} = A_{\min} + T_L + T_B, \quad (2.5)$$

где T_L , T_B — допуски соответственно на длину детали и ширину лотка.

Угол наклона лотков для непрерывающихся деталей выбирают таким, чтобы при качении не было проскальзывания детали в лотке, потому что это может вызвать ее повреждение.

Лотки часто используют в автоматических линиях для транспортирования деталей от станка к станку. Лотки могут быть переналаживаемой конструкции, что позволяет их использовать в крупносерийном производстве на переналаживаемых поточных линиях. В лотках детали могут накапливаться. Для поштучной выдачи деталей из наклонных и вертикальных лотков применяют отсекающие устройства. Схемы отсекающих устройств двух типов показаны на рис. 2.17. Отсекающие устройства обеспечивают поштучную выдачу деталей из потока.

Подача неориентированных заготовок и деталей. Устройства для подачи заготовок или деталей, расположенных хаотично, содержат обычно бункера, подающие механизмы, ориентирующие устройства. На выходе подающего устройства детали принимают требуемое для дальнейшей работы определенное пространственное положение. К устройствам для подачи деталей из неориентированного положения относятся вибробункера различного исполнения, скребковые бункера, бункера с ножевыми захватами и др.

Широкое распространение получили вибробункера (рис. 2.18). Основной частью вибробункера является бункерная чаша 1, которую обычно выполняют из алюминиевого сплава и покрывают внутри тонким слоем стали для повышения износостойкости. Чаша имеет конусную форму. Внутренняя поверхность чаши имеет спиральный выступ 2 такой ширины, чтобы подаваемые детали в

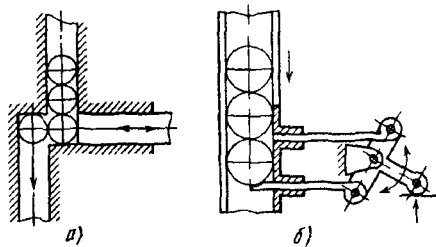
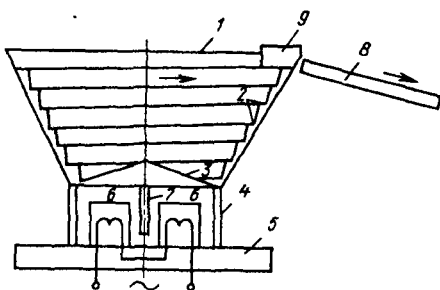


Рис. 2.17. Схемы отсекающих устройств:
а — с одним отсекателем, б — с двумя отсекателями

Рис. 2.18. Вибробункер с электромагнитным вибратором

каком-либо одном или нескольких положениях могли подниматься по спиральному выступу со дна чаши вверх. Внизу в чаше установлен конус 3, обеспечивающий подачу засыпанных деталей к периферии чаши.



Чаша вибробункера установлена на пружинных подвесках 4 на основании 5 и совершает крутильные колебания. Вибрация чаши создается обычно механически либо с помощью асинхронного электродвигателя, на валу которого установлен эксцентрик, либо с помощью электромагнита, питающегося переменным напряжением промышленной частоты 50 Гц. Электромагнит 6 периодически с частотой в 100 Гц притягивает якорь 7, прикрепленный к периферии чаши. В результате бункер совершает колебания, амплитуда которых может составлять доли миллиметра. В чашу бункера засыпают детали или заготовки, которые требуется подать в ориентированном виде к лотку 8. На выходе бункера перед лотком 8, как правило, устанавливают ориентирующее устройство 9, которое пропускает в лоток 8 только детали, ориентированные на спиральном выступе в строго определенном положении. Детали, оказавшиеся в других положениях на выступе, сбрасываются устройством 9 вниз, в чашу, и проходят повторный путь по спиральному выступу 2. Движение деталей по спиральному выступу вверх внутри чаши вибробункера осуществляется благодаря вибрации чаши.

С помощью вибробункеров удастся ориентировать миниатюрные детали часовых механизмов в сборочных автоматах, метизы и даже детали массой в несколько килограмм.

Бункера с элеваторным подъемником (рис. 2.19) могут использоваться для подачи деталей малых и средних размеров, например, для подачи заготовок валов. Наклонная стенка бункера 1 способствует перемещению заготовок к передней стенке. Около передней стенки смонтирован скребковый конвейер 2. Непрерывно перемещающаяся лента конвейера с укрепленными на ней скребками может поднять из бункера только заготовку, рас-

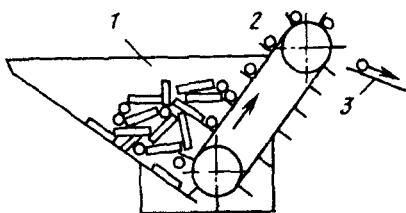


Рис. 2.19. Бункер с элеваторным подъемником

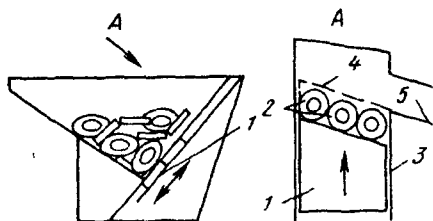


Рис. 2.20. Бункер с ножевым захватом

положенную горизонтально. Заготовки вала далее перегружаются на лоток 3. Далее заготовки могут транспортироваться шаговым конвейером автоматической линии.

На рис. 2.20 показан бункер для подачи деталей 2 типа дисков. Ножевой захват 1 перемещается вдоль стенки бункера вверх и вниз возвратно-поступательно с помощью, например, кулисного механизма или гидроцилиндра. При этом захват проходит через массу наваленных хаотически заготовок. Заготовки, оказавшиеся в положении, показанном на рисунке, поднимаются захватом. Ножевой захват имеет наклонный верхний торец. Но заготовки, поднимаемые торцом захвата, не могут скатиться, так как упрутся в стенки 3 бункера. Как только захват поднимет их до положения 4, заготовки 3 скатятся в лоток 5, расположенный сбоку бункера.

Все описанные загрузочные устройства могут быть использованы и для загрузки заготовок на станки и для загрузки деталей на сборочный автомат.

Специальные подающие устройства могут подавать, как правило, детали только одного наименования и типоразмера, в ряде случаев нескольких близких по размерам и форме. Поэтому они могут применяться там, где требуется подача одних и тех же изделий в течение нескольких лет, т.е. в массовом и крупносерийном производстве.

Ориентирование заготовок и деталей. Детали должны быть поданы к рабочим органам сборочного автомата или к захвату робота в определенном требуемом, ориентированном положении. Если детали попадают на сборку в ориентированном положении, то дополнительных средств ориентации, как правило, не требуется за исключением тех случаев, когда положение детали, в котором она находится в кассете, должно быть изменено. Если детали подаются на сборку или заготовки на обработку в неупорядоченном положении, то для их установки необходимо прежде всего придать им требуемое положение в пространстве. Для этой цели используют различные ориентирующие устройства.

Различают два метода ориентации: пассивный и активный. При пассивном методе из потока разнообразно ориентированных деталей пропусаются только детали с требуемой ориентацией. Остальные детали вновь возвращаются в бункер, откуда снова подаются на вход ориентирующего устройства в случайных положениях. При активном

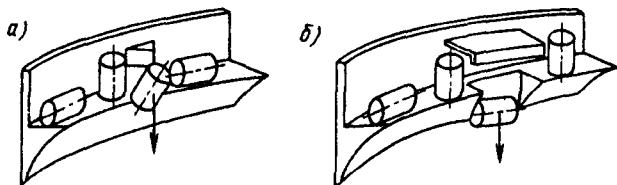


Рис. 2.21. Устройства пассивной ориентации

методе ориентации неправильно ориентированные детали переориентируются требуемым образом.

Устройства пассивной ориентации показаны на рис. 2.21. Простейшие ориентирующие устройства представляют собой различные преграды на пути потока разноориентированных деталей, пройти которые могут только детали в требуемом положении. На рис. 2.21, а на пути потока деталей установлен упор, который отклоняет верхнюю часть деталей,двигающихся вертикально по выступу бункера. Смещение центра тяжести вызывает падение такой детали на дно бункера. Под упором могут пройти только горизонтально расположенные детали. На рис. 2.21, б показано устройство, пропускающее только вертикально двигающиеся валики, которые поддерживаются верхней скобой. Детали с горизонтально расположенной осью скатываются в выемку.

Устройство активной ориентации переориентирует неправильно ориентированные детали. Примером является устройство, ориентирующее винты головками вперед (рис. 2.22). Винты по лотку скользят головками и вперед и назад, но тело болта проваливается в паз, болт принимает почти вертикальное положение, продолжая двигаться на

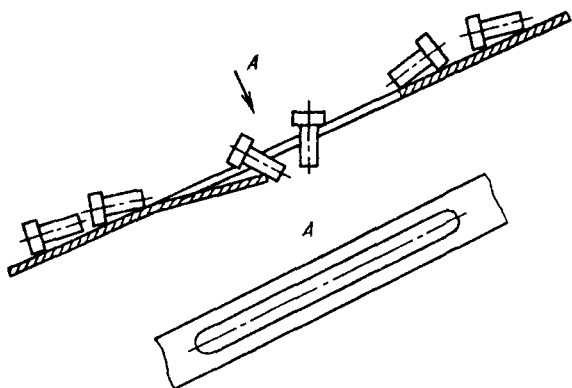


Рис. 2.22. Устройство активной ориентации

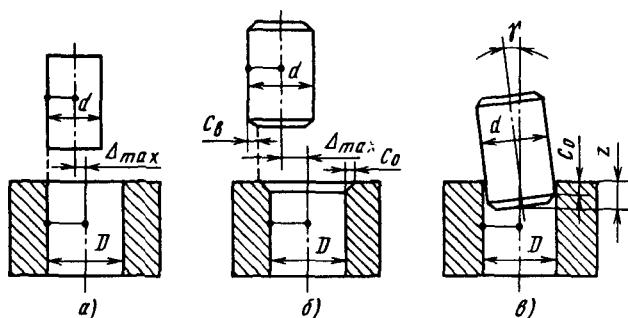


Рис. 2.23. Схема для определения максимально допустимого смещения (а, б) и угла поворота осей вала и отверстия во втулке перед сборкой (в)

нижнем торце головки. Ударяясь об уступ, болты поворачиваются и двигаются только головками вперед.

Ориентирование присоединяемых деталей относительно базовых. Собираемые детали подаются на сборочную позицию автомата в определенных положениях, удобных для их последующего соединения. Однако для того, чтобы установить одну деталь на другую, необходимо расположить одну деталь относительно другой определенным образом с заданной точностью. Так, например, чтобы установить вал во втулку, необходимо обеспечить соосность вала с отверстием втулки. Предельно допустимое отклонение от соосности вала с отверстием в показанной на рис. 2.23 а схеме определяется лишь шириной зазора: чем больше зазор, тем больше предельно допустимое отклонение от соосности, которое вычисляют по формуле $\Delta_{\max} = (D - d)/2$.

Учитывая, что диаметры валиков и отверстий имеют допустимые отклонения, необходимо, чтобы отклонение от соосности не превышало минимальной ширины радиального зазора:

$$\Delta_{\max} = \frac{D_{\min} - d_{\max}}{2}. \quad (2.6)$$

Если вал и отверстие имеют фаски, выполненные под углами, обеспечивающими скольжение одной фаски по другой, то при движении валика вдоль оси А, благодаря фаскам он может попасть в отверстие втулки. В этом случае (см. рис. 2.23, б) допустимое отклонение от соосности в исходном положении может быть больше, чем рассчитанное по формуле (2.6), на ширину фасок:

$$\Delta_{\max} = \frac{1}{2}(D_{\min} - d_{\max}) + C_{\text{в}} + C_{\text{о}}. \quad (2.7)$$

Следует иметь в виду, что при установке валика во втулку с использованием фасок необходимо позволить деталям смещаться в радиальном направлении. Это достигается нежестким, упругим подвесом одной из соединяемых деталей.

Исходя из формулы (2.6) и (2.7) и принимая во внимание, что ширина радиальных зазоров для многих соединений с зазором в машинах составляет сотые и тысячные доли миллиметра, станет очевидным, что на деталях необходимо делать заходные фаски. При наличии фасок допуск относительного положения деталей может быть значительно большим, чем без фасок. Чем больше допуск отклонения от соосности деталей перед сборкой, тем легче его обеспечить при автоматической сборке.

Помимо смещения возможно и отклонение от параллельности осей деталей (см. рис. 2.23, в), которое может быть определено по формуле

$$\gamma = \arctg D - d / (z - C_{\text{о}}), \quad (2.8)$$

где z — заглубление.

Формулы (2.7) и (2.8) справедливы для соединений с зазором. Для соединений с натягом используют следующие формулы:

$$\Delta_{\max} = C_{\text{в}} + C_{\text{о}}; \quad (2.9)$$

$$\gamma = \arcsin C_{\max} / d_{\text{о}}, \quad (2.10)$$

где C_{\max} — ббльшая ширина из $C_{\text{о}}$ или $C_{\text{в}}$.

С помощью указанных формул можно рассчитать предельно допустимые отклонения положения основных баз присоединяемой и вспомогательных баз базирующей детали, при которых возможно соединение деталей. Эти предельно допустимые отклонения иногда называют условиями собираемости.

Для осуществления автоматической сборки погрешности положения деталей перед сборкой должны быть меньше предельно допустимых значений, в противном случае при сближении деталей сборочный автомат может заклинить. Чем больше предельно допустимые отклонения в исходном положении деталей, тем легче осуществить сборку, особенно автоматическую.

Относительное ориентирование деталей может осуществляться различными способами. Если при установке детали используются фаски, то по крайней мере одна из деталей должна иметь возмож-

ность смещаться перпендикулярно оси. Для этого захват робота или другого рабочего органа автомата оснащают упругим подвесом, позволяющим детали смещаться под действием сил, возникающих при соприкосновении поверхностей фасок.

Ориентация одной детали относительно другой может осуществляться рабочими органами сборочного автомата, например захватом робота. При этом погрешность позиционирования робота должна быть значительно меньше предельно допустимых погрешностей положения деталей с учетом погрешностей установки деталей. Установка одной детали в другую с зазором может осуществляться в воздушном потоке, в магнитном поле. Установка детали может выполняться поисковой системой с обратными связями. При установке детали измеряются силы сопротивления, определяется направление смещения детали, чтобы, например, поставить ее в отверстие по посадке с зазором.

2.5. Требования к конструкции изделий, предназначенных для автоматической сборки

Технологичность конструкции изделия особенно важна для автоматической сборки. Опыт автоматизации показывает, что возможна автоматическая сборка только тех изделий, которые были сконструированы с ее учетом.

Конструкция изделия, предназначенного для автоматической сборки, должна быть такой, чтобы автоматическую сборку можно было реализовать и чтобы эта сборка была экономически целесообразной. Требования к технологичности изделий для автоматической сборки можно разделить на требования, предъявляемые к конструкции сборочных единиц, и требования, предъявляемые к конструкции деталей. Кроме того, можно выделить общие требования и специальные, относящиеся к отдельным видам соединений или к отдельным видам деталей.

Требования к сборочным единицам

1. Конструкция сложного изделия должна быть построена по блочно-модульному принципу. Суть его заключается в четком делении машины на отдельные сборочные единицы, что позволяет: осуществлять независимую и параллельную сборку, регулировку и испытание сборочных единиц; проводить унификацию, стандартизацию сборочных единиц; использовать кооперацию и специализацию заводов и производств; обеспечивать удовлетворение требований

потребителя различным сочетанием узлов и блоков при ограниченной номенклатуре с минимальными затратами, быстрее вносить изменения в конструкцию изделия; использовать во вновь разрабатываемых машинах апробированные узлы и блоки.

Каждая сборочная единица какой-либо машины как самостоятельное изделие может выпускаться независимо одно от другого в различных цехах одного завода или на разных заводах, которые могут быть созданы специально для выпуска этого оборудования. При этом процессы изготовления отдельных сборочных единиц одной машины могут выполняться одновременно. Время сборки всей машины значительно меньше, чем при последовательной сборке.

Типизация, унификация и стандартизация сборочных единиц и деталей позволяют ограничить рост числа типоразмеров комплектующих изделий и повысить число выпускаемых одинаковых изделий, а следовательно, снизить себестоимость продукции.

Стандартизация может осуществляться в пределах предприятия, объединения, отрасли, страны, группы стран.

При ограниченной номенклатуре унифицированных узлов, блоков, деталей, выпускаемых специализированными заводами, можно собирать изделия различной модификации для удовлетворения индивидуальным требованиям конкретного потребителя.

На рис. 2.24 показана в качестве примера блочно-модульная конструкция портального манипулятора. Используя унифицированные модули рук (см. рис. 2.24, а), выбирая требуемое число и тип модуля (рис. 2.24, б), а также требуемую конструкцию и размеры портала (рис. 2.24, в), можно собрать манипулятор.

Таким образом, блочно-модульный принцип конструирования позволяет значительно улучшить условия производства изделий, ограничить номенклатуру, специализировать производство, сократить время и себестоимость изготовления продукции. Разделение машины на сборочные единицы позволяет автоматизировать сборку некоторых сборочных единиц.

2. Современные изделия целесообразно разрабатывать целыми гаммами, группами (например, гамма многоцелевых станков для изготовления деталей различных габаритных размеров или гамма роботов, гамма сервоприводов разной мощности и т.п.). При едином конструктивном подходе создаются благоприятные условия для унификации и стандартизации элементов конструкции, а, следовательно, и условия для их автоматической сборки.

3. Конструкция машины или сборочной единицы должна быть такой, чтобы была возможна сборка без частичной разборки.

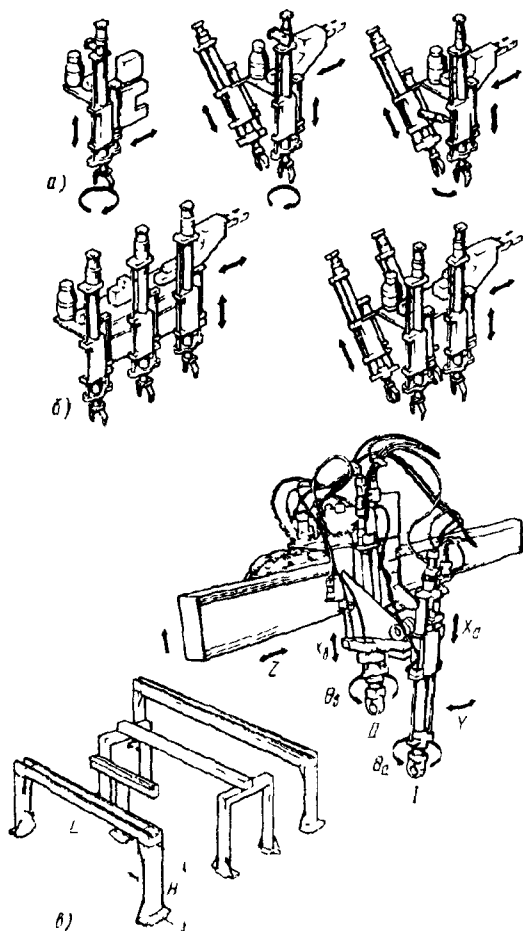


Рис. 2.24. Блочно-модульная конструкция манипуляторов

4. Конструкция машины или сборочной единицы должна быть такой, чтобы была возможна сборка без частичной разборки.

5. Установка деталей при сборке должна осуществляться при минимальном числе движений по различным осям координат.

6. При сборке должен быть обеспечен свободный доступ сборочных инструментов: торцовых гаечных ключей, пуансонов, оправок и т.п. (рис. 2.25).

7. Следует по возможности сокращать число деталей в сборочной единице, например, путем изготовления ряда деталей как единого

Рис. 2.25. Пример изменения конструкции изделия, которое обеспечивает подход торцовых гаечных ключей для автоматического завинчивания гаек:

а, б — подвод торцовых ключей соответственно необеспечен и обеспечен

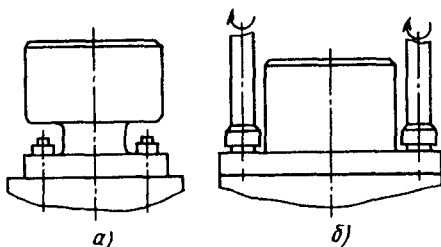
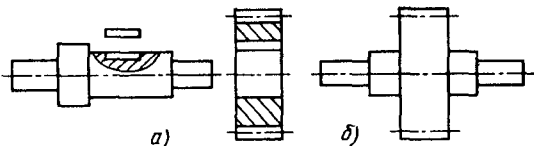


Рис. 2.26. Пример сокращения числа деталей в сборочной единице



целого. Например, вал со шпонкой и шестерней (рис. 2.26, а) можно в ряде случаев заменить одной деталью — валом-шестерней (рис. 2.26, б), что может привести к увеличению стоимости изготовления более сложных деталей, но при автоматизации сборки это может быть оправдано.

Требования к деталям

1. Детали и их конструктивные элементы должны быть стандартизованы. Следует конструировать группы деталей одного служебного назначения в соответствии с размерным рядом. Детали одной группы различаются только размерами, но имеют одинаковую форму и назначение, будучи составными частями изделий одной гаммы. Унификация и стандартизация изделий на базе размерных рядов позволяют произвести унификацию сборочного оборудования и оснастки, существенно сократить расходы на их проектирование и изготовление.

2. Детали не должны сцепляться друг с другом в процессе хранения, перемещения и подачи на сборочную позицию. Сцепление деталей в бункерах, лотках, магазинах может быть вызвано следующими причинами: наличием заусенцев и облоя; формой и размерами деталей; статическим зарядом пластмассовых и других неметаллических деталей; намагниченностью ферромагнитных деталей; наличием масляной пленки, СОЖ и других веществ.

Для предотвращения сцепления деталей предусматривают: снятие фасок и заусенцев, чистку и мойку деталей перед сборкой, антистатическую обработку, размагничивание. Если сцепление может быть

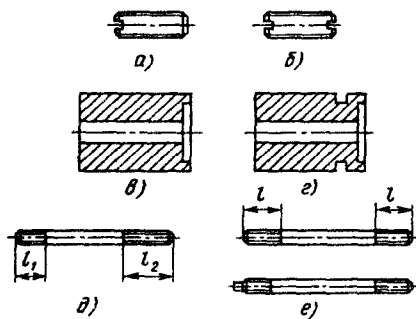


Рис. 2.27. Примеры изменений конструкции деталей, облегчающие автоматическую ориентацию при сборке:

a, в, д — исходные конструкции; *б, г, е* — измененные конструкции

вызвано формой и размерами деталей (например, разрезные пружинные шайбы, спиральные пружины, у которых шаг навивки больше удвоенного диаметра проволоки), то такие детали нельзя

хранить беспорядочно, подавать с помощью вибробункеров. Их нужно подавать поштучно к рабочим органам сборочного автомата, осуществляющим установку этих деталей в собираемое изделие. Поэтому в сборочных автоматах предпочитают осуществлять навивку пружин непосредственно перед их установкой в изделие.

3. Детали для удобства ориентации должны быть симметричными или существенно ассиметричными. Если деталь симметрична относительно какой-либо оси, то отпадает необходимость ее ориентации относительно этой оси перед установкой в изделие. У некоторых деталей можно предусмотреть дополнительные конструктивные элементы, которые делают их симметричными и не мешают выполнению их назначения. Примером является стопорный винт (рис. 2.27). Винт трудно ориентировать по шлицевому торцу автоматически. Трудностей можно избежать, если шлицы сделать на обоих концах винтов.

Резьбовые шпильки с разной длиной l_1 , l_2 резьбы по концам тоже трудно ориентировать автоматически определенным концом для установки в изделие. В этом случае целесообразно сделать одинаковую длину l резьбы обоих концов шпильки. Если этого сделать нельзя, то на одном конце шпильки необходимо предусмотреть уступ, по которому будет происходить автоматическая ориентация. У несимметричной детали центр тяжести должен быть по возможности смещен относительно середины детали. Это необходимо для облегчения ориентирования деталей подающими устройствами.

4. Детали с ассиметричным внутренним контуром должны иметь ассиметричные наружные поверхности. Это связано с тем, что детали легче ориентировать по наружному контуру, чем по внутреннему, если центр тяжести мало смещен от плоскости симметрии (см. рис. 2.27). Наружная проточка детали помогает ориентировать ее необходимой стороной при автоматической установке в изделие.

5. Детали должны иметь заходные фаски. Фаски, как было показано, значительно расширяют допуск отклонения расположения повер-

хностей или осей устанавливаемой и базовой деталей перед их сборкой. Наличие фасок значительно облегчает попадание в резьбу при свинчивании деталей вручную. Но если при ручной сборке, дополнительно затратив время, можно завернуть винт без фасок, то автоматически выполнить это значительно труднее. Вместо обычной винтозавертывающей машины потребуется поисковая система с чувствительными элементами, обратными связями, микропроцессорами для управления поиском. Значительно проще обеспечивать заходные фаски при изготовлении деталей.

6. Детали должны иметь поверхности, удобные для захвата рабочими органами сборочного автомата. Эти поверхности должны иметь достаточно малые отклонения расположения относительно вспомогательных баз для базирующей детали и основных баз для устанавливаемой.

2.6. Последовательность размерного анализа сборки

Систематизируем описанную в предыдущих разделах по частям методику размерного анализа сборки. Целями размерного анализа сборки является: обеспечение требуемого качества изделия; обеспечение возможности автоматизировать сборку.

Основные задачи размерного анализа следующие: выявление размерных связей на всех этапах осуществления автоматического сборочного процесса; выбор методов и средств осуществления автоматического сборочного процесса; определение требований к собираемым деталям, к точности работы используемых сборочных средств.

Общая последовательность размерного анализа автоматического сборочного процесса показана на схеме, приведенной на рис. 2.28. Размерный анализ включает этапы, описанные ниже.

1. Исходя из служебного назначения (СН) машины или сборочной единицы определяют требования точности (ТТ) положения и движения ее исполнительных поверхностей аналитически или экспериментально.

2. Определяют конструкторские размерные связи построением размерных цепей, где исходными звеньями являются ТТ изделия. Схема алгоритма показана на рис. 2.3.

3. Выбирают метод достижения точности (МДТ): полная, неполная, групповая взаимозаменяемость, регулировка или пригонка с учетом экономично достижимой точности изготовления звеньев при заданном объеме производства и возможностях автоматизации.

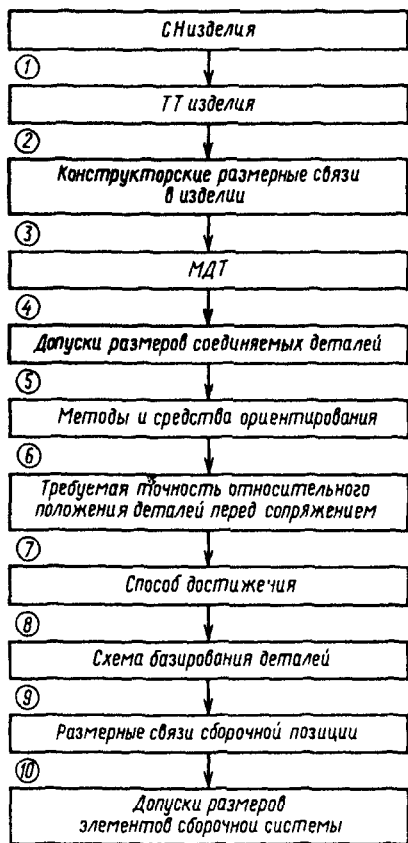


Рис. 2.28. Последовательность размерного анализа процесса автоматической сборки

4. Рассчитывают допуски соединяемых размеров деталей, которые необходимо выдержать при изготовлении деталей для того, чтобы было возможно достичь ТТ при сборке выбранным методом достижения точности.

Указанные 1 — 4-й этапы характерны и обязательны при разработке процесса изготовления изделия с любой степенью автоматизации. Для автоматической сборки следует учесть особенности выбора и реализации МДТ, а также технологичность конструкции изделия. Остальные этапы для условий ручной сборки не нужны. Они необходимы только для автоматизированной сборки.

5. Выбирают методы и средства транспортирования и ориентирования собираемых деталей. Оценивают технологичность конструкции деталей.

6. Определяют требуемую точность относительного положения сопрягаемых перед сборкой деталей с учетом возможностей увеличения допусков благодаря использованию фасок.

7. Выбирают способ достижения требуемой точности относительного положения деталей (с координацией деталей рабочими органами сборочного автомата или поисковой системой).

8. Выбирают схему базирования собираемых деталей и разрабатывают устройства, реализующие требуемую схему с учетом обеспечения свободы перемещений и поворотов деталей по отдельным координатным осям.

9. Выбирают схему сборочной позиции и строят сборочные размерные цепи, исходными звеньями которых являются допустимые отклонения относительного положения координатных систем сопрягаемых деталей (см. п. 6).

10. Рассчитывают допуски размеров составляющих звеньев размерных цепей, которыми в том числе могут быть: пространственные отклонения положения сопрягаемой поверхности каждой детали относительно ее технологических баз при сборке; размеры деталей сборочного автомата.

В результате проведенного размерного анализа сборочного процесса можно выявить: допустимые отклонения размеров сопрягаемых поверхностей, необходимые для реализации выбранного МДТ; допустимые отклонения расположения сопрягаемых поверхностей детали относительно ее технологических баз, используемых при сборке; параметры фасок по сопрягаемым поверхностям для улучшения условий собираемости; требования к поверхностям, используемым в качестве технологических баз при автоматической сборке, например, с целью снижения погрешности установки собираемой детали в рабочем органе сборочного автомата; требования к конструкции детали для облегчения ее ориентации.

Таким образом, размерный анализ сборки позволяет выявить взаимосвязь размеров собираемых деталей, деталей сборочной системы; обосновать требуемые точности размеров, обеспечивающие автоматическую сборку и требуемые параметры сборочной единицы.

Выявление и расчет сборочных размерных связей рекомендуется проводить в следующей последовательности: 1) представить автоматизируемый процесс установки изделия эскизами и вычислить предельно допустимые отклонения в положении устанавливаемой детали относительно базовой, при которых обеспечивается установка; 2) построить размерные цепи, в которых допустимые отклонения являются исходными звеньями; 3) составить уравнения размерных цепей и определить возможные поля рассеяния составляющих звеньев; 4) выбрать МДТ исходных звеньев размерных цепей с учетом его реализации в автоматическом производстве; 5) произвести расчет допусков составляющих звеньев и выбрать методы и средства автоматической реализации процесса с учетом требуемой точности составляющих размеров размерной цепи.

Методику размерного анализа автоматического сборочного процесса рассмотрим на примере сборки валика и втулки промышленным роботом. Требуемый зазор в соединении достигается по методу полной взаимности. Пусть сборку валика 1 со втулкой 2 осуществляет робот 3 (рис. 2.29, а). Валик 1 захватывается роботом, позиционируется соосно с отверстием втулки 2 и далее робот опускает вал в отверстие втулки, осуществляется сборка. Эскизы валика и втулки показаны на рис. 2.29, б. Для того чтобы вал попал во втулку, необходимо обеспечить соосность валика и отверстия во втулке. Максимально допустимое отклонение от соосности определяется по формуле

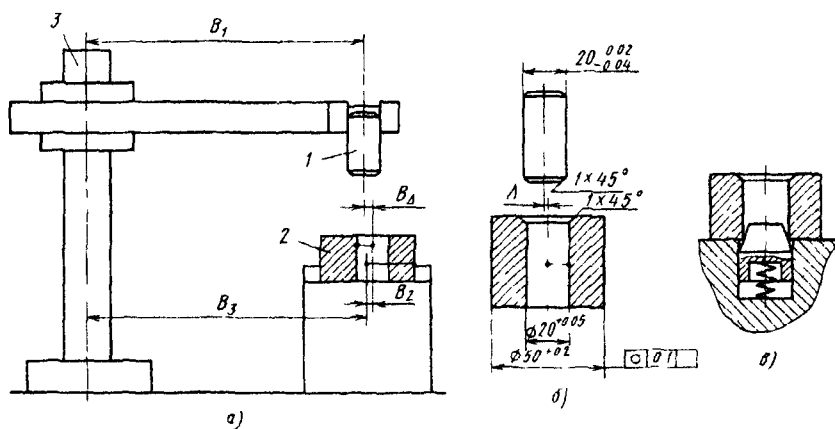


Рис. 2.29. Размерные связи при автоматической установке валика во втулку промышленным роботом

$$\Delta_{\max} = \frac{1}{2}(D_{\min} - d_{\max}) + C_B + C_C,$$

где D_{\min} — минимальный диаметр отверстия втулки; d_{\max} — максимальный диаметр валика; C_B , C_C — ширина фаски соответственно вала и отверстия.

Подставив в формулу указанные на рис. 2.29 размеры соединяемых деталей, получим

$$\Delta_{\max} = \frac{20 - (20 - 0,02)}{2} + 1 + 1 = 2,01 \text{ мм.}$$

Как видно, большую часть максимально допустимого отклонения обеспечивают фаски на деталях. Без фасок допустимое смещение составляло бы 0,01 мм.

Допустимое отклонение B_{Δ} от соосности валика и отверстия в размерной цепи сборочной системы может быть представлено в следующем виде: $B_{\Delta} = 0 \pm 2,01 \text{ мм.}$

На рис. 2.29, а показана размерная цепь: B_1 — размер позиционирования захвата робота; B_2 — соосность отверстия с наружной поверхностью втулки, являющейся основной базой втулки; B_3 — размер, связывающий положение базирующего втулку приспособления с роботом. При наладке робота в режиме обучения добиваются соосного положения валика в захвате и отверстия во втулке, регулируя размер B_1 . Затем окончательный размер B_1 заносится в память УЧПУ робота.

На этапе настройки робота размер B_{Δ} достигается, таким образом, методом регулирования вручную. Затем в каждую втулку 2, попадающую на сборочную позицию устройства 3, автоматически устанавливается валик 1, переносимый из кассеты роботом 3.

Каждый раз должна обеспечиваться автоматическая установка валика роботом во втулку. Для этого точность размера B_{Δ} при автоматической сборке должна обеспечиваться методом полной взаимозаменяемости. В этом случае номинальные значения составляющих звеньев размерной цепи нас могут не интересовать, так как была произведена начальная настройка. Следовательно, уравнение размерной цепи превращается в тождество. Уравнение допусков запишется в следующем виде:

$$T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3,$$

где T_{Δ} — допуск замыкающего звена B_{Δ} ; T_1, T_2, T_3 — допуски звеньев соответственно B_1, B_2, B_3 . В соответствии с чертежом (рис. 2.29, б), если не использовать фаски деталей, то $T_{\Delta} = 0,02$ мм; $T_2 = 0,2$ (допуск соосности $\pm 0,1$); $T_3 = 0,01$ — допуск на тепловые деформации. В этом случае получим: $0,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$, где T_1 — допуск позиционирования робота. Из полученного уравнения ясно, что ни при каком значении T_1 (всегда $T_1 > 0$) нельзя обеспечить автоматическую сборку данного изделия. Анализ уравнения допусков показывает, что автоматическая сборка не осуществима при $T_2 = 0,2$ мм — допуске отклонения от соосности отверстия и наружной поверхности втулки.

Одной из возможностей реализации автоматической сборки является ужесточение требования к соосности отверстия и наружной поверхности втулки. Это удорожает изготовление втулки, но позволяет автоматизировать сборку.

Есть и другая возможность реализации автоматической сборки. Можно изменить базирование втулки в приспособлении. Втулку следует ориентировать не по наружному, а по внутреннему диаметру, например, с помощью подпружиненного конуса (рис. 2.29, в). В этом случае из размерной цепи B исключается размер B_2 — соосность втулки, и тогда уравнение допусков примет вид $0,02 = T_1 + 0,01$, откуда $T_1 = 0,01$ мм. Следовательно, если использовать робот с погрешностью позиционирования не более $\pm 0,005$ мм, то автоматическую сборку можно осуществить. Правда, робот с такой погрешностью позиционирования весьма дорого стоит.

Расчет был сделан исходя из предположения, что фаски деталей не используются. При использовании фасок $T_{\Delta} = 2\Delta_{\max} = 4,02$ мм. Уравнение допусков примет следующий вид: $4,02 = T_1 + 0,2 + 0,01$, откуда $T_1 = 3,81$ мм. При использовании фасок, значительно увели-

чивающих допустимое отклонение от соосности деталей (с 0,02 до 4,02 мм), можно использовать робот с погрешностью позиционирования $\pm 1,9$ мм. Практически даже у загрузочных роботов эта погрешность составляет $\pm 1,0$ мм. Такой загрузочный робот, следовательно, вполне можно использовать для автоматической сборки рассматриваемого комплекта деталей: валика со втулкой.

Однако необходимо помнить, что из-за использования фасок при сборке по крайней мере одна собираемая деталь из двух должна иметь возможность свободно перемещаться в горизонтальной плоскости на расстояние, равное ширине фасок, т.е. в данном случае на 2 мм. С этой целью втулку не следует жестко зажимать по наружной поверхности, как это было возможно, когда фаски не использовались для самоцентрирования. Втулку необходимо поставить в приспособление с радиальным зазором 2 мм. В процессе установки валика во втулку роботом втулка может смещаться в зазоре под действием боковых сил, действующих по фаскам. Фаски должны быть сделаны под такими углами, чтобы не было самоторможения и, как следствие, — заклинивания деталей при сборке. Вместе с тем ориентация втулки по боковой цилиндрической поверхности с зазором в гнезде кассеты является источником дополнительной погрешности установки — отклонения от соосности, — которая должна учитываться в размерной цепи B отдельным звеном. Это звено размерной цепи является, по существу, подвижным компенсатором при достижении точности замыкающего звена размерной цепи — допустимого отклонения от соосности B_{Δ} методом автоматического регулирования.

Если зазор между втулкой и гнездом в кассете будет больше требуемого для компенсации значения, то при сборке валик может торцом упереться в торец втулки и автоматическая сборка также будет невозможна. Таким образом, ширина зазора между втулкой и гнездом в кассете должна быть определена расчетом. Слишком маленький зазор не позволит втулке смещаться и использовать заходные фаски при сборке, а слишком большой зазор приведет к чрезмерно большой погрешности положения втулки в кассете. Практически приходится использовать лишь частично возможности расширения допуска T_{Δ} благодаря использованию фасок. При расчете требуемого диаметра отверстия в кассете под втулку необходимо учесть также допуски диаметров втулки и отверстия в кассете.

Лучшие условия для автоматической сборки можно создать, если втулка будет центрироваться в отверстии кассеты или в специальном приспособлении для сборки и в то же время будет иметь необходимую свободу относительных боковых перемещений. Это можно обеспечить, подпружинив втулку симметрично с боковой стороны установкой, например, трех пружин под углом 120° в плане. Поскольку в этом

случае пришлось бы оснащать все гнезда кассеты такими пружинами для центрирования втулок или использовать дополнительное загрузочно-разгрузочное устройство для установки втулок в специальное "плавающее" приспособление, то целесообразно обеспечить подпружиненный в боковых направлениях захват валика, устанавливаемого во втулку.

Жесткость пружинящих элементов выбирают исходя, с одной стороны, из требуемой надежности центрирования, а с другой, — из допустимого значения боковой силы при автоматической установке валика по фаскам. Максимальное значение возможного смещения определяют, как было показано, расчетом размерной цепи. Зная жесткость и значение возможного смещения, можно рассчитать и сконструировать требуемое устройство.

В данном примере проанализировано только смещение осей при автоматической установке валика во втулку. Однако необходимо аналогичным образом рассмотреть способы достижения требуемого угла скрещивания осей валика и отверстия во втулке. Может потребоваться такое крепление валика в захвате, которое бы обеспечивало возможность не только радиального смещения валика при установке во втулку, но и поворота оси валика в двух вертикальных плоскостях. Таким образом, задача существенно усложняется.

Анализ размерных связей при сборке позволяет, таким образом, согласовать размеры сборочной системы, обосновать требования к точности используемого робота, деталям для автоматической сборки и приспособлениям. При ручной сборке такой анализ не нужен, при автоматической — необходим. Автоматизация сборки требует расчета размерных связей.

2.7. Размерные связи процесса изготовления деталей

Изготовление деталей машин прежде всего должно обеспечивать их требуемое качество, количество и сроки изготовления при минимальных затратах. Качество деталей машин описывается двумя группами параметров: параметрами свойств материалов (прочность, твердость и т.д.); размерными параметрами (размеры деталей, отклонения форм, параметры шероховатости).

Взаимосвязь размеров и свойств реализуется при проектировании машины, как правило, расчетом номинальных размеров исходя из выбранных свойств. Допуски размеров определяют из размерного анализа конструкции с учетом выбранного МТД замыкающего звена, возможностей достижения точности размеров при сборке, а также с

учетом достижимой точности получения размеров деталей при изготовлении с минимальными затратами.

При автоматическом процессе изготовления деталей существуют различные размерные связи, которые можно подразделить на три группы: установочные, операционные, межоперационные.

Установочные размерные связи действуют в процессе автоматической установки заготовок в приспособления, кассеты, на станки, в измерительные машины или приспособления и т.д. Установочные размерные связи, как правило, не влияют на достижение качественных показателей изделия, но определяют возможность автоматического транспортирования заготовок, загрузки и выгрузки станков.

Исходными или замыкающими звеньями установочных размерных связей являются допустимые отклонения расположения технологических баз заготовки и исполнительных поверхностей приспособления, при которых возможно осуществить автоматическую установку заготовки.

Составляющими звеньями установочных размерных связей являются размеры заготовки, приспособления, которые выявляются при построении размерных цепей по общей методике размерного анализа конструкции.

Установочные размерные связи аналогичны сборочным размерным связям и рассчитываются точно так же.

Операционные размерные связи возникают в процессе получения каждого размера детали при изготовлении ее с помощью какой-либо технологической системы. Замыкающим или исходным звеном является получаемый размер детали — операционный размер. В зависимости от вида размерной связи составляющими звеньями могут быть различные размеры технологической системы: размеры инструмента, станка, приспособления, установочные размеры заготовки, инструмента, приспособления.

Установочным размером заготовки, как известно, называют размер (расстояние или поворот), характеризующий положение технологической базы заготовки относительно соответствующей исполнительной поверхности станка или приспособления.

Установочным размером инструмента приспособления называют расстояния и повороты, характеризующие положение основных баз инструмента, приспособления относительно исполнительных поверхностей станка.

От операционных размерных связей зависят операционные размеры, получаемые размеры детали, настроечные размеры станка, режущего инструмента и приспособления, которые необходимо обеспечить при технологической подготовке производства. Настроечные размеры обеспечиваются выбором соответствующих средств и заданием опре-

деленных параметров их настройки. Операционные размерные связи описывают и обеспечивают получение требуемых операционных размеров детали на каждой рабочей позиции автоматической обрабатывающей системы.

Межоперационные размерные связи объединяют в единое целое весь технологический процесс изготовления детали, связывая различные операционные размеры детали, с размерами заготовки и припусками на обработку. Межоперационные размерные связи описывают все этапы преобразования размеров от заготовки до детали. Замыкающими звеньями межоперационных размерных цепей являются припуски на обработку и те размеры детали, которые непосредственно не получаются как операционные размеры ни на одной из операций технологического процесса. Составляющими звеньями межоперационных размерных цепей являются операционные размеры детали, получаемые на операциях технологического процесса, и размеры заготовки.

Операционные и межоперационные размерные связи называют *технологическими размерными связями*.

2.8. Анализ установочных размерных связей при изготовлении деталей

Установочные размерные связи необходимо всегда рассчитывать при автоматической установке заготовок или изделий на станки, в приспособления, на спутники, в накопитель, ячейку склада и т.д. Методика выявления и расчета установочных размерных связей та же, что и при сборке изделий. Установочные размерные связи могут быть отнесены к сборочным. Разница состоит лишь в том, что допуски размеров при установке заготовок или изделий в различные приспособления могут быть, как правило, значительно больше, чем при сборке изделий, и поэтому их легче обеспечить. Вместе с тем сборка каждого изделия осуществляется обычно один раз, если не требуется разборки и повторной сборки. Установка же одних и тех же заготовок или спутников может осуществляться многократно, что также необходимо учитывать.

Цель выявления и расчета размерных связей при автоматической установке изделий, загрузки и выгрузки оборудования следующая: 1) обеспечить работоспособность автоматической системы в течение требуемого времени эксплуатации в условиях действия различных факторов, влияющих на стабильность составляющих размеров и размерных связей; 2) выбрать методы и средства автоматизации, обеспечивающие требуемые размерные связи, сформулировать требо-

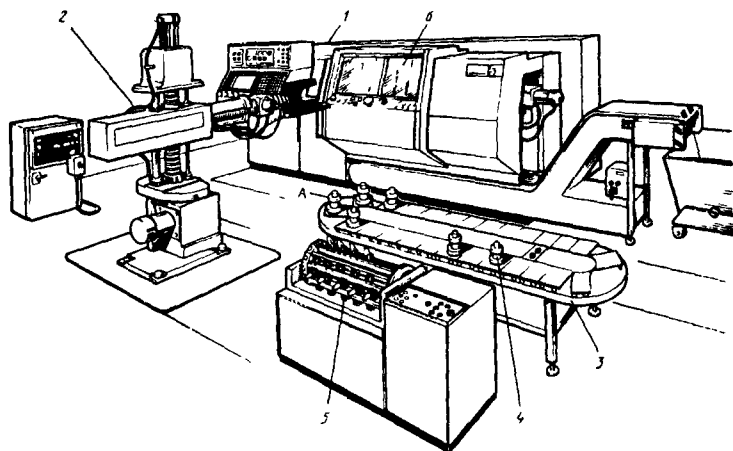


Рис. 2.30. Автоматизированный технологический комплекс

вания к размерной точности автоматических устройств, реализующих автоматическую установку; 3) выбрать методы и способы размерной наладки системы. Кроме того, опираясь на расчет размерных связей, можно установить регламент обслуживания и профилактики, сформулировать допустимые ограничения внешних воздействий при работе системы.

Далее рассмотрим анализ и расчет размерных связей и вытекающие из него технические решения на двух примерах.

Размерные связи при автоматической установке заготовки на станок. На рис. 2.30 показан роботизированный технологический комплекс (РТК). Он содержит токарный станок 1, промышленный робот 2, индексирующий стол 3, подающий заготовки 4 в позицию А для захвата их роботом и установки в шпиндель станка 1 после открывания защитного экрана 6. Кроме смены заготовок робот может заменять режущие инструменты в револьверной головке станка из магазина 5.

Рассмотрим размерные связи, возникающие при автоматической установке заготовки короткого вала в самоцентрирующий патрон токарного станка. Установку заготовки в патрон и съем детали осуществляет робот (рис. 2.31, а). Робот берет заготовку захватом из ячейки кассеты, вносит заготовку в рабочую зону станка так, чтобы ось заготовки совпадала с осью раскрытых кулачков патрона, и затем задвигает заготовку в патрон, после чего подается команда на зажим кулачков патрона.

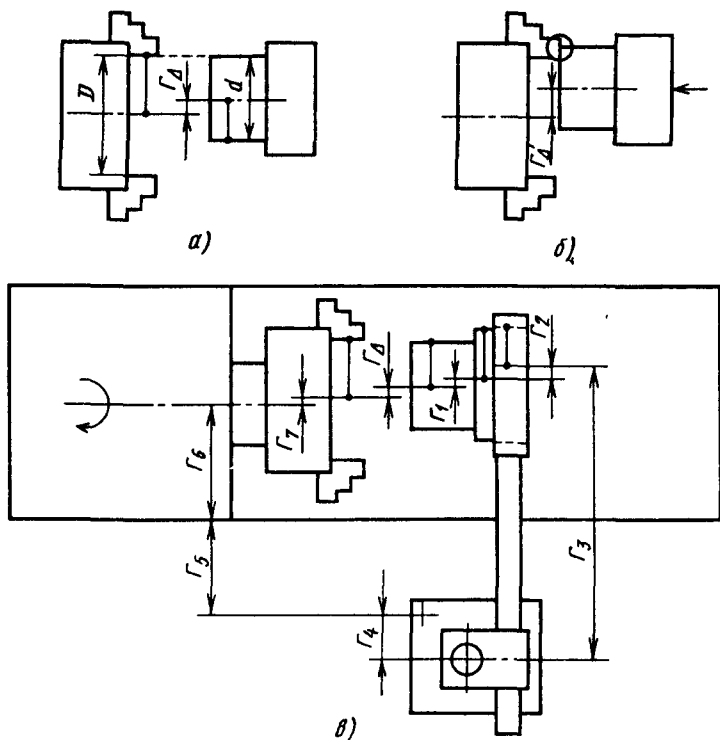


Рис. 2.31. Схема размерных связей при автоматической загрузке станка

Из рис. 2:31, б видно, что ввод заготовки в раскрытые кулачки патрона возможен, если отклонение Γ_{Δ} от соосности позиционируемой заготовки относительно оси кулачков патрона не превышает следующего значения: $\Gamma_{\Delta \max} = 1/2(D - d)$, где D — диаметр раскрытых кулачков патрона; d — диаметр устанавливаемой в патрон заготовки.

Если в момент установки размер Γ_{Δ} окажется больше этого предельно допустимого значения, то при движении захвата робота вдоль оси шпинделя заготовка торцом упрется в патрон (рис. 2.31, в) и автоматическая установка заготовки будет невозможна.

Следовательно, обеспечение требуемого значения Γ_{Δ} является условием возможности автоматической установки заготовки в патрон. Допустимое значение Γ_{Δ} рассчитывается исходя из размеров Γ_{Δ} , D

и d по приведенной формуле. Из этой формулы вытекает предельно допустимое отклонение $\Gamma_{\Delta\max}$ от соосности, которое позволяет роботу ввести заготовку в раскрытый патрон. Поскольку для большинства патронов с механическим приводом закрепления заготовки диапазон раскрытия кулачков может быть достаточно большим, то, как правило, не возникает трудности в обеспечении раскрытия кулачков по диаметру, например, на 20 мм больше диаметра заготовки, тогда предельно допустимое отклонение от соосности будет равно $\Gamma_{\Delta\max} = \pm 10$ мм. Значение исходного звена при желании обеспечить соосность в этом случае можно записать в виде $\Gamma_{\Delta} = 0 \pm 10$ мм. Это означает, что желательно, чтобы $\Gamma_{\Delta} = 0$, но допустимое отклонение ± 10 мм. Допуск на размер Γ_{Δ} в данном случае $T_{\Delta} = 20$ мм.

Однако проведенного расчета для выявления допустимых отклонений от соосности не достаточно. Рассчитанное значение Γ_{Δ} позволяет лишь обеспечить ввод заготовки внутрь кулачков и является необходимым, но недостаточным условием.

Представим себе, как пойдет закрепление заготовки при рассчитанном отклонении от соосности. Кулачки, сдвигающиеся к оси патрона, при наличии отклонения от соосности будут стремиться переместить заготовку в новое положение. Заготовка же пока еще закреплена в захватах робота. Следовательно, возникнут силы при передаче заготовки от робота в патрон. Сила может быть определена по формуле

$$P = j\Gamma_{\Delta}, \quad (2.11)$$

где j — жесткость системы робот — заготовка — патрон.

При жесткости робота $j = 500$ Н/мм в случае отклонения от соосности $\Gamma_{\Delta} = \Gamma_{\Delta\max} = 10$ мм сила, действующая в момент закрепления на робот, заготовку и кулачки патрона, составляет $P = 5000$ Н. Если бы такую силу могли создать кулачки патрона, что-нибудь обязательно бы сломалось: патрон, робот или заготовка. Поэтому, очевидно, вторым не менее важным условием определения предельно допустимого отклонения от соосности является ограничение силы P до допустимого значения, определяемого конкретными условиями установки: моделью станка, размерами и прочностью заготовки, параметрами робота. Допустим, что в конкретном примере для установки валика диаметром 100 мм и длиной 400 мм необходимо, чтобы $P \leq 100$ Н, тогда допустимое отклонение от соосности

$$\Gamma'_{\Delta_{\max}} = P/J = 100/500 = 0,2\text{мм.}$$

В данном случае второе условие значительно жестче первого, так как

$$\Gamma'_{\Delta_{\max}} < \Gamma_{\Delta_{\max}}.$$

Далее необходимо построить размерную цепь, показанную на рис. 2.31, а. Размерная цепь Γ описывается уравнением $\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3 - \Gamma_4 - \Gamma_5 - \Gamma_6 - \Gamma_7$, где Γ_1 — отклонение от соосности технологической базы заготовки, устанавливаемой в патрон, и базы, определяющей положение заготовки в захвате робота; Γ_2 — отклонение от соосности поверхности заготовки в схвате, вызванное погрешностью установки заготовки в схвате Γ_{2y} и погрешностью центрирования схвата $\Gamma_{2ц}$; $\Gamma_2 = \Gamma_{2y} + \Gamma_{2ц}$; Γ_3 — расстояние от оси захвата робота до базы отсчета размеров при автоматическом перемещении захвата робота по программе УЧПУ (запрограммированное значение размера позиционирования захвата); Γ_4 — расстояние от базы отсчета размеров до основной базы робота, определяющее его положение относительно станка; Γ_5 — расстояние между станком и роботом; Γ_6 — расстояние от оси шпинделя станка до основной базы станка; Γ_7 — отклонение от соосности кулачков патрона по отношению к оси шпинделя, вызванное погрешностью центрирования кулачков патрона $\Gamma_{7ц}$ и погрешностью установки патрона на шпиндель Γ_{7y} ; $\Gamma_7 = \Gamma_{7y} + \Gamma_{7ц}$.

Размерная цепь Γ характеризует связь размеров станка, робота и отклонения от соосности. Эта связь может быть отображена математически тремя уравнениями: уравнением размерной цепи в номиналах; уравнением допусков этих размеров, которое соответствует методу достижения точности; уравнением средних отклонений размеров.

При наладке РТК (см. рис. 2.31) размер Γ_3 при программировании робота подбирают так, чтобы Γ_{Δ} было в пределах допустимых значений, т.е. при наладке используют метод регулирования. Однако при автоматической загрузке-выгрузке деталей необходимо применение метода полной взаимозаменяемости.

При работе РТК действительное значение размера Γ_{Δ} будет меняться в основном вследствие погрешностей позиционирования робота, тепловых деформаций, погрешностей установки заготовки в захвате. Так, например, погрешность позиционирования загрузочных роботов может составлять $\leq 0,5$ мм и больше; шпиндель токарного станка, например, 16К20РФЗ при нагреве передней бабки на 20°C при работе ОТК смещается в вертикальной плоскости на $0,04$ мм, а в горизонтальной на $0,02$ мм. Какие требования к точности робота

нужно в данном случае предъявить? Какой робот следует использовать: с точностью позиционирования ± 1 ; $\pm 0,1$ или $\pm 0,01$ мм, если учесть, что с увеличением точности позиционирования увеличивается и стоимость робота? Ответы на эти вопросы можно получить, проведя размерный анализ.

При автоматической работе РТК необходимо обеспечить, чтобы каждую заготовку робот устанавливал в патрон станка без поднастройки и регулировки, поэтому соосность Γ_{Δ} нужно обеспечивать по методу полной взаимозаменяемости. При полной взаимозаменяемости допуск замыкающего звена должен быть равен сумме полей допусков звеньев составляющих: $T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7$, где $T_1 - T_7$ — допуски размеров Γ соответствующего номера. Допуск соосности $\Gamma_{\Delta} = \pm 0,2$ мм составляет $T_{\Delta} = 0,4$ мм.

Рассмотрим допуски составляющих размеров. Допуск соосности T_1 указан на чертеже заготовки, которую предлагается обрабатывать на РТК. Для необработанной поковки допуск может превысить допуск исходного звена. Допуск T_2 определяется погрешностью установки заготовки в захвате робота и погрешностью центрирования захвата. Для необработанной поковки погрешность установки может быть существенна. В результате сумма допусков значительно превысит допуск T_{Δ} замыкающего звена.

Следовательно, при принятых допусках обеспечить необходимые условия для автоматической установки заготовки нельзя.

Возможно несколько путей решения поставленной задачи. Во-первых, можно сократить допуски размеров составляющих звеньев, для этого, например, применить более точный захват с меньшей погрешностью центрирования; использовать предварительно обработанные заготовки для уменьшения погрешности установки; робот следует располагать не на отдельном основании, а непосредственно на станине станка; нужно ограничить диапазон рабочих температур при эксплуатации РТК и таким образом уменьшить составляющие допусков $T_2 - T_6$.

Во-вторых, можно расширить допуск замыкающего звена T_{Δ} . Из формулы (2.11), из которой было получено значение допуска, следует, что расширение допуска при той же допустимой силе может быть обеспечено снижением жесткости закрепления заготовки в захвате робота. Этот путь наиболее удобен и поэтому захваты роботов делают подпружиненными. Однако чрезмерно уменьшать жесткость тоже вредно, так как при установке изделий различной массы будет большая погрешность позиционирования оси заготовки в захвате по высоте. Выбрав наиболее дешевый робот с точностью позиционирова-

ния ± 1 мм, можно определить ожидаемое поле рассеяния ω_{Δ} размера Γ_{Δ} по формуле $\omega_{\Delta} = \sum \omega_i$, где ω_i — поля рассеяния составляющих звеньев, пусть $\omega_{\Delta} = 2,4$ мм. Следовательно, в захвате требуется обеспечить максимальное смещение заготовки $\Gamma'_{\Delta\max} = \pm 1,2$ мм. Для этого жесткость крепления должна быть не больше: $j_{\max} = P/\Gamma'_{\Delta\max} = \frac{100}{1,2} = 83,3$ Н/мм.

Примем $j = 80$ Н/мм. При заданных жесткости и необходимом значении смещения можно сконструировать пружинный упругий подвес захвата робота.

В-третьих, можно использовать робот с автоматической поисковой системой управления. При этом могут измениться структура и параметры размерной связи, изменится МДТ замыкающего звена: вместо полной взаимозаменяемости будет использоваться автоматическое регулирование размера. Компенсатором в размерной цепи может быть размер позиционирования захвата робота, который управляется от УЧПУ.

Робот необходимо оснастить техническим зрением и техническим интеллектом с использованием ЭВМ для анализа полученного изображения и управления положением захвата с деталью, т.е. нужна система адаптивного управления роботом.

Однако такой робот будет стоить намного дороже, чем обычно применяемый грузочный робот, и при современном уровне развития техники вряд ли будет конкурентноспособным для автоматической загрузки рассматриваемого токарного станка.

Для этого достаточно подсчитать срок окупаемости дополнительного оснащения робота техническим зрением и учесть таким образом разницу в стоимости интеллектуального и обычного грузочного робота. Но если все же понадобится использовать интеллектуальный робот для автоматизации установки заготовок, то, чтобы определить необходимые требования к датчикам информации такого робота, к системе управления, точности позиционирования, необходимо выявить и рассчитать размерные связи. Иначе невозможно ни разработать, ни выбрать подходящий робот из числа имеющихся, ни запрограммировать его работу.

Таким образом, при автоматизации процессов необходим анализ возникающих в автоматизируемом процессе размерных связей.

Рассмотренная задача автоматической установки заготовки роботом в патрон аналогична многим другим, возникающим при сборке, например, при установке вала во втулку или наоборот, автоматической установке режущего инструмента в шпиндель станка или гнездо

магазина и т.д. Размерные анализы автоматической сборки и загрузки станка рассмотрены упрощенно, только для смещения оси заготовки, но возможен и перекос осей. Вообще же положение одной детали относительно другой в пространстве характеризуется шестью параметрами: тремя перемещениями и тремя поворотами систем координат. Для анализа каждого из шести параметров должна быть построена размерная цепь.

Рассмотренный пример позволяет сделать следующие выводы:

при автоматической установке заготовки или сборке изделия необходимо обеспечить соответствующие размерные связи, в противном случае автоматическая установка или сборка невозможны;

обеспечение этих размерных связей не влияет непосредственно на конечные размерные показатели изделия, т.е. на его качество, но влияет на работоспособность автоматов, т.е. на возможность автоматической установки или сборки;

при автоматизации производственных процессов необходимо глубоко изучить сущность автоматизируемого процесса, в частности, необходимо выявить и рассчитать размерные связи, выбрать МДТ и соответствующие средства реализации размерных связей в автоматическом производстве;

для расчета размерных связей при автоматической сборке изделий, автоматической установке заготовки, изделия, спутника, режущего инструмента на станок, в кассету, в магазин и т.д., а также при автоматической стыковке транспортных средств можно пользоваться общей методикой размерного анализа автоматического сборочного процесса (см. рис. 2.28, 6—10).

Размерные связи при стыковке транспортных тележек. Автоматические транспортные тележки с индуктивной, оптической или какой-либо другой системой управления используют для автоматического транспортирования заготовок на спутниках, изделий, кассет с заготовками и инструментами.

На рис. 2.32 показано положение транспортной тележки 3 относительно приемного накопителя 4 в момент перегрузки спутника 1 с заготовкой 2 с тележки 3 на накопитель 4. Спутник 1 установлен на приводных роликах 5 конвейера тележки 3. Эти ролики могут вращаться электродвигателем, при этом спутник 1 перемещается на роликах. После того как тележка остановилась около станции, включается роликотый конвейер и спутник 1 перемещается к приемному накопителю 4. На накопителе 4 в верхней части установлен такой же, как на тележке, конвейер, благодаря которому спутник перемещается на накопитель 4. Для того чтобы перемещение спутника с тележки на

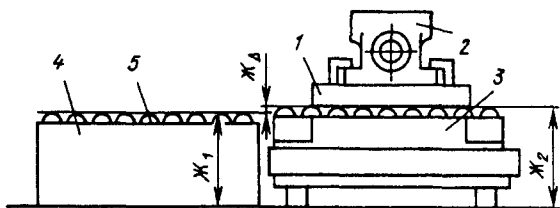


Рис. 2.32. Перегрузка спутника с транспортной тележки:

1 — спутник, 2 — заготовка, 3 — автоматическая тележка, 4 — станция накопителя, 5 — приводной ролик

накопитель было возможным, необходимо прежде всего, чтобы конвейеры тележки и накопителя находились на одном уровне, т.е. на одинаковой высоте от пола.

В соответствии с методикой для размерного анализа рассматриваемого процесса прежде всего необходимо определить исходное звено размерной цепи, которое должно обеспечиваться для перемещения спутника.

При перемещении спутника допускается некоторый перепад высоты $Ж_{\Delta}$. Допустимое значение $Ж_{\Delta}$ определяется конструкцией транспортирующего устройства и, как видно из рис. 2.32, — диаметром первого ролика. Чем больше этот диаметр, тем больше максимально допустимый перепад, при котором спутник может переместиться на накопитель. Допустимое значение $Ж_{\Delta}$ определяется не только диаметром роликов, но и коэффициентами трения. Пусть в конкретном случае при расчете установлено, что $Ж_{\Delta} = 0 \pm 10$ мм. Это означает, что ролики тележки могут находиться выше на 10 мм или ниже на 10 мм роликов накопителя или между этими крайними значениями. Стыковочный размер $Ж_{\Delta}$ является своеобразным условием собираемости при передаче спутника. Далее необходимо построить размерную цепь $Ж$, в которой несовпадение высот является замыкающим звеном, а размеры $Ж_1$ — высота приемной станции и $Ж_2$ — высота тележки — являются составляющими звеньями. Стыковка должна обеспечиваться при подходе любой тележки транспортной системы к любому накопителю, следовательно, должна быть обеспечена в рамках рассматриваемой ГПС полная взаимозаменяемость тележек и накопителей.

При обеспечении $Ж_{\Delta}$ методом ПВ должны соблюдаться следующие условия:

$$Ж_{\Delta} = Ж_2 - Ж_1;$$

$$T_{\Delta} = T_2 + T_2 + T_1; \quad (2.12)$$

$$\Delta_{0\Delta} = \Delta_{02} - \Delta_{01}.$$

В этой системе первое уравнение — уравнение размерной цепи в номинальных значениях. Номинальное значение размера $Ж_{\Delta} = 0$. Следовательно, $Ж_1 = Ж_2$, т.е. номинальные значения высоты приемной станции и тележки должны быть одинаковы. Какой именно будет номинальная высота при автоматизации загрузки, безразлично; пусть $Ж_1 = Ж_2 = 1000$ мм. Координата середины поля допуска $\Delta_{0\Delta}$ размера $Ж_{\Delta}$ равна нулю, так как допустимые отклонения симметричны, т.е. $\Delta_{0\Delta} = 0$. Третье уравнение системы (2.12) справедливо при $\Delta_{01} = \Delta_{02} = 0$. Второе уравнение системы (2.12) показывает, что сумма допусков на высоту накопителя T_1 и высоту тележки T_2 не должна превышать допуска замыкающего звена $T_{\Delta} = 20$ мм ($Ж_{\Delta} = 0 \pm 10$ мм); $T_1 + T_2 = 20$ мм. Этому могут удовлетворить различные сочетания T_1 и T_2 , например, $T_1 = T_2 = 10$ мм. Однако допуск T_1 легче обеспечить, чем T_2 , учитывая, что тележка перемещается на колесах, а накопитель установлен неподвижно.

Поэтому с учетом трудностей реализации допусков на практике выберем решение: $T_1 = 6$ мм; $T_2 = 14$ мм. Тогда с учетом ранее принятой симметричности отклонений относительно номинального размера, что следует из $\Delta_{01} = \Delta_{02} = 0$, получится окончательное решение: $Ж_1 = 1000 \pm 3$ мм и $Ж_2 = 1000 \pm 7$ мм. Это значит, что высота от пола столов всех накопителей в ГПС должна быть не меньше 997 мм и не больше 1003 мм, а высота любой из тележек транспортной системы должна находиться в пределах 993 — 1007 мм.

Многозначность возможных сочетаний допусков T_1 и T_2 , удовлетворяющих условию $T_1 + T_2 = 20$ мм, не является недостатком методики расчета, это объективная закономерность проектного расчета, выражающая множество возможных путей решения проектных задач. Точное соотношение может быть установлено технико-экономическим расчетом стоимости реализации и эксплуатации транспортной системы. Так, например, устанавливая допуск, следует учесть, что резиновые ободы колес тележки по мере эксплуатации будут изнашиваться и поэтому при малом допуске на высоту тележки придется часто ее ремонтировать для восстановления допустимого размера $Ж_2$. Условия

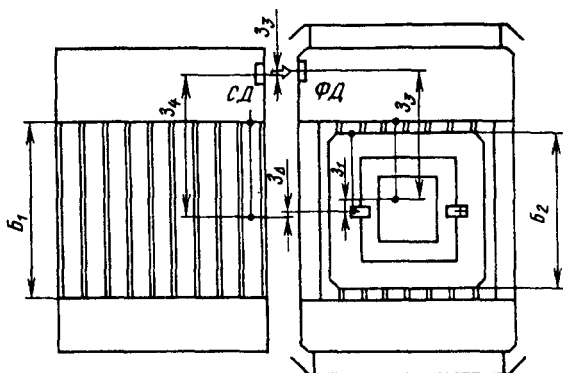


Рис. 2.33. Вид в плане на тележку перед передачей спутника

расчета можно еще более уточнить и усложнить, если учесть упругую деформацию тележки под действием веса перемещаемых деталей и добавочное поле рассеяния размера $Ж_2$ при перевозке тележкой деталей различной массы. Таким образом, в рассмотренном примере необходима взаимная увязка размеров транспортной системы, без которой автоматические погрузка и выгрузка неосуществимы. Аналогично вертикальным размерам должны быть увязаны и размеры в двух других координатных направлениях.

На рис. 2.33 показан вид в плане на тележку со спутником и приемную станцию рольгангового накопителя. Для того, чтобы была возможна автоматическая передача спутника с тележки на станцию, необходимо, чтобы тележка остановилась напротив станции с требуемой точностью относительного позиционирования. Если при подъезде тележки к станции не будет обеспечен требуемый размер $З_Δ$, то автоматическая нагрузка спутника будет невозможна. Точная остановка тележки может осуществляться с помощью фотодатчика (ФД), установленного на тележке и взаимодействующего с источником света — светодиодом (СД).

Точность позиционирования тележки определяется многими факторами: массой, скоростью подъезда, точностью датчиков, качеством тормозной системы и другими параметрами. Так, например, точность позиционирования $З_4$ автоматической тележки "Электроника" составляет ± 10 мм. Достаточно ли такой точности для конкретной транспортной системы? Какая точность позиционирования необходима? Какие размеры и с какой точностью необходимо выдерживать при изготовлении, монтаже, наладке и эксплуатации транспортной системы? Ответы на все эти вопросы можно получить, проведя размерный анализ рассматриваемых процессов. Без него невозможно обосновать

необходимую точность размеров всех компонентов системы и осуществить выбор необходимых средств автоматизации, целенаправленно вести наладку системы.

На составленной схеме (см. рис. 2.33) обозначим исходное звено размерной цепи Z_{Δ} — отклонение от соосности оси симметрии спутника и конвейера приемной станции. Далее построим размерную цепь $Z_1 - Z_4$. В этой цепи: Z_1 — отклонение от соосности оси симметрии спутника относительно оси симметрии конвейера тележки, вызванное погрешностью положения спутника на тележке; Z_2 — расстояние от оси симметрии спутника до $\Phi Д$ — конструктивный размер тележки; Z_3 — отклонение от соосности $\Phi Д$ тележки и $С Д$ на приемной станции, вызванное погрешностью позиционирования тележки, включающей погрешность фотодатчика и погрешность в результате инерционности срабатывания тормоза, а также инерционности самой тележки; Z_4 — расстояние от источника света на приемной станции до оси симметрии конвейера — конструктивный размер.

Исходный допуск соосности $T_{\Delta} = 0,5(B_1 - B_2)$, где B_1 и B_2 — ширина соответственно конвейера станции и спутника. Увеличение T_{Δ} за счет увеличения B_1 ограничено в связи с необходимостью точного позиционирования спутника на станции. Одно из возможных решений — поставить на станцию дополнительное позиционирующее устройство, которое после приема спутника обеспечит его точное позиционирование.

2.9. Операционные размерные связи в автоматизированном производстве

В автоматизированном процессе изготовления детали все размеры детали, достигаемые в результате обработки, должны получаться автоматически. Получаемый в результате операции размер детали называют *операционным*. Операционный размер образуется как замыкающее звено технологической размерной цепи в технологической системе, настроенной на получение этого размера. Все операционные размеры детали, получаемые на операциях технологического процесса, можно разделить на несколько видов, которые различаются структурами операционных размерных цепей, а следовательно, и составляющими звеньями.

Рассмотрим отдельные виды операционных размерных связей и соответствующие им виды операционных размеров детали, получаемых в автоматизированном производстве. Во всех случаях операционные размеры при автоматической обработке должны обеспечиваться

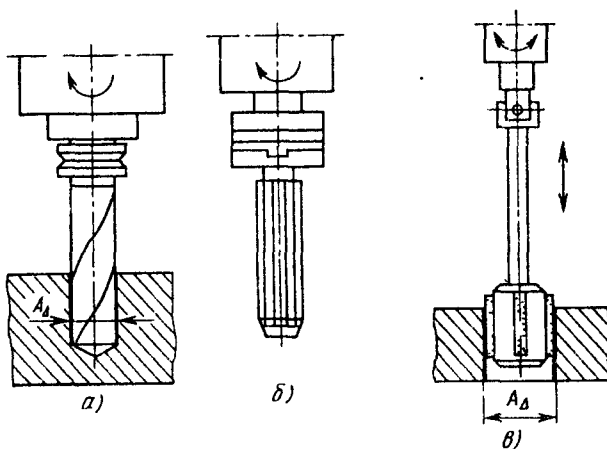


Рис. 2.34. Схема получения размеров деталей мерными инструментами: а — сверлом, б — разверткой, в — хонинговальной головкой

либо методом полной взаимозаменяемости на настроенном оборудовании, либо методом регулирования.

1. *Размеры, получаемые мерным инструментом.* Эти размеры получают в основном методом копирования как размеры замкнутых поверхностей. Примером является получение диаметров отверстий при сверлении (см. рис. 2.34, а), зенкерования, развертывании (рис. 2.34, б), хонинговании (рис. 2.34, в). Получаемый диаметр отверстия детали в основном зависит от диаметра соответствующего инструмента, которым осуществлялась обработка, если не принимать во внимание динамические погрешности, вызываемые биением шпинделя, а также упругую деформацию заготовки. В ряде случаев при развертывании инструмент закрепляют в плавающем патроне в шпинделе, что позволяет не передавать на инструмент динамические нагрузки, вызванные радиальным биением шпинделя, а также отклонением оси вращения шпинделя относительно оси обрабатываемого отверстия. С этой же целью при хонинговании хон закрепляют в шпинделе через карданный или шаровой шарнир. Станок, таким образом, служит лишь приводом движения инструмента.

Настройка инструмента на получение требуемого размера может осуществляться методом полной взаимозаменяемости, когда для получения требуемого диаметра отверстия выбирается соответствующий стандартный инструмент, например сверло или зенксер требуемого диаметра. В сложных инструментах настройка требуемого размера в узком диапазоне может осуществляться методом регулирования, например раздвиганием брусков в хонинговальной головке.

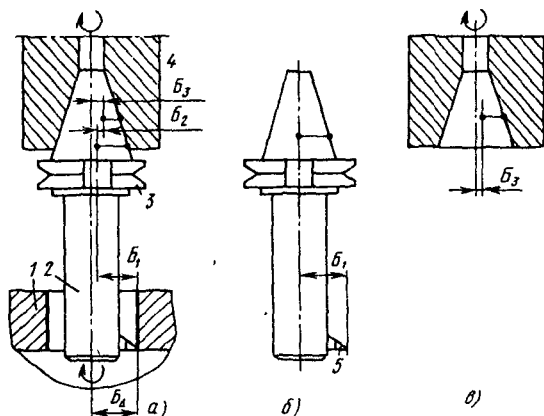


Рис. 2.35. Схема получения диаметра отверстия растачиванием:
 а — схема размерной цепи; б — эскиз инструмента; в — эскиз шпинделя

Автоматическое получение размера также может осуществляться методом полной взаимозаменяемости заранее настроенным инструментом, например, при сверлении или методом автоматического регулирования размера инструмента при измерении получаемого размера детали, например, при хонинговании.

2. *Размеры детали, получаемые формообразующим движением.* Размеры получают с использованием формообразующего движения инструмента или заготовки. Примером является получение диаметра при растачивании отверстия в заготовке 1 (рис. 2.35) расточной борштангой 2. Расточная борштанга 2 закреплена в стандартном инструментальном переходнике 3, имеющем конусный хвостовик для установки в шпиндель 4 многоцелевого станка. На переходнике предусмотрена кольцевая проточка для захвата манипулятором, осуществляющего переустановку инструмента из инструментального магазина в шпиндель 4 и обратно по команде УЧПУ. Диаметр отверстия в результате растачивания образуется как удвоенный радиус B_{Δ} траектории режущей кромки резца 5, закрепленного в борштанге. Радиус B_{Δ} может быть представлен как замыкающее звено размерной цепи: $B_{\Delta} = B_1 + B_2 + B_3$, где B_1 — расстояние от режущей кромки резца 5 до оси базирующего конуса оправки 3; B_2 — отклонение от соосности конуса оправки 3 и конусного отверстия в шпинделе 4 станка; B_3 — отклонение от соосности конуса шпинделя и оси вращения, т.е. половина радиального биения конуса шпинделя.

Размер B_1 получается перемещением резца 5 в борштанге 2 микрометрическим винтом при настройке борштанги вне станка на специ-

альном приборе для настройки режущих инструментов. Размер B_2 является установочным размером борштанги в конус шпинделя и определяется погрешностью установки. Размер B_3 характеризует точность станка.

Требуемый радиус B_Δ при растачивании на станке должен достигаться автоматически, т.е. методом полной взаимозаменяемости, при установке налаженного вне станка инструмента в шпиндель и осуществлении растачивания. По сравнению с размером A_Δ , полученным мерным инструментом (операционным размером первого вида, см. рис. 2.34), размер B_Δ зависит не только от размера самого инструмента B_1 , но и от установочного размера инструмента B_2 и точности формообразующего движения станка B_3 . Уравнение допусков для размерной цепи B следующее: $T_\Delta = T_1 + T_2 + T_3$, где T_1, T_2, T_3 — допуски соответственно размеров B_1, B_2, B_3 .

Для уменьшения поля рассеяния диаметра расточенного отверстия в детали необходимо уменьшить допуски всех составляющих размеров. Необходимо повысить точность настройки инструментов вне станка, для чего используются высокоточные измерительные приборы (см. рис. 2.39), оснащенные проекционными микроскопами и устройствами цифрового отсчета перемещений с разрешающей способностью до 1 мкм.

Точность установки режущего инструмента в шпиндель станка повышают следующим образом: повышают точность изготовления и износостойкость контактирующих базовых поверхностей (конуса оправки, шпинделя станка и прибора); предотвращают попадание грязи в зону контакта базовых поверхностей; стабилизируют силу затяжки конуса в шпиндель.

Для очистки конусных поверхностей при установке инструмента в шпиндель прокачивают сжатый воздух через полый шпиндель или тщательно отфильтрованную микронным фильтром СОЖ, с помощью которой эффективность очистки выше. Однако прокачка СОЖ возможна только, если рабочее пространство станка находится внутри герметичного бокса. Стабильности силы затяжки инструментов на многоцелевых станках добиваются использованием для затяжки пакета тарельчатых пружин. Все эти мероприятия позволяют снизить погрешность расточенного отверстия.

3. Размеры детали, получаемые от обработанных поверхностей до технологических баз. При обработке на станках получают размеры детали, которые определяются расстоянием от режущих кромок инструментов или их осей до технологических баз заготовки. Примеры таких размеров показаны на рис. 2.36 и 2.37. Рассмотрим, например, как обеспечивается заданный диаметр при обработке

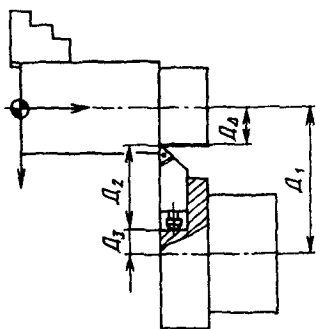


Рис. 2.36. Размерная цепь образования радиуса детали при обтачивании

заготовки на токарном станке с ЧПУ. Схема обработки и размерная цепь, определяющая получение радиуса, показаны на рис. 2.36.

В процессе токарной обработки образуется радиус D_{Δ} заготовки, равный (без учета упругих деформаций материала заготовки) расстоянию от вершины резца до оси вращения заготовки. Для станка с ЧПУ режущий инструмент (РИ) настраивается на определенную заданную длину D_2 вне станка на специальном приборе для настройки инструментов с помощью винта, размер D_1 — расстояние от оси револьверной головки до оси заготовки, обеспечивается с помощью системы ЧПУ в соответствии с данными заложенной в систему ЧПУ программы обработки. Образуется замкнутый контур размеров D_{Δ} , D_1 , D_2 , D_3 , т.е. размерная цепь, в которой замыкающим звеном является получаемый размер детали. Уравнение размерной цепи в данном случае следующее: $D_{\Delta} = D_1 - D_2 - D_3$.

В процессе обработки нарттии заготовок размер D_{Δ} каждой из них будет меняться вследствие прогрессирующего размерного изнашивания РИ, приводящего к постоянному уменьшению размера D_2 . Кроме того, на размер D_{Δ} будет влиять размер D_1 , меняющийся вследствие неизбежной погрешности позиционирования станка, а также теплового деформирования. Действуют и другие факторы, вызывающие случайные изменения указанных составляющих размеров и, как следствие, изменение замыкающего звена — радиуса детали.

Если мы хотим получить размер детали с заданным допуском, то необходимо с соответствующей точностью настроить станок и режущий инструмент, внести соответствующую коррекцию в систему ЧПУ, чтобы согласовать эти размеры с тем размером, который был запрограммирован ранее на перфоленте в программе управления станком.

Если размер D_{Δ} будет обеспечиваться методом полной взаимозаменяемости, то должно соблюдаться условие $T_{\Delta} = T_1 + T_2 + T_3$, где T_{Δ} , T_1 , T_2 , T_3 — допуски соответственно размеров D_{Δ} , D_1 , D_2 , D_3 .

Для обеспечения размера детали с требуемым по чертежу допуском необходимо ограничить допуск настроечного размера режущих инструментов вне станка, допуск установочного размера и режущего

инструмента на станок, допуск на износ режущего инструмента, допуск позиционирования станка, допуск тепловой деформации. А для этого необходимо выбрать соответствующие средства — станок с требуемой точностью позиционирования, прибор для настройки инструмента, а также следует осуществлять своевременно компенсацию износа режущего инструмента. Для компенсации погрешности настройки и установки режущего инструмента можно использовать контактные головки (см. рис. 2.40, 2.41) и другие средства.

При обработке заготовок корпусных деталей на многоцелевых станках в числе прочих образуются размеры заготовки от обработанных поверхностей или их осей до технологических баз. На рис. 2.37 показана операция фрезерования торцевой фрезой плоскости заготовки. В результате операции получают размер E_{Δ} обрабатываемой заготовки от режущих кромок инструмента до технологических баз заготовки. Размер E_{Δ} должен соответствовать требованиям чертежа детали. При обработке заготовки по управляющей программе на настроенном станке размер E_{Δ} образуется как замыкающее звено размерной цепи. Составляющими звеньями этой размерной цепи являются: размер $E_{p,и}$ настройки режущего инструмента, программируемый размер $E_{п}$ позиционирования подвижной каретки вдоль оси шпинделя, установочный размер заготовки на спутнике $E_{з,с}$ и конструктивный размер E_c многоцелевого станка, связывающий положение конца шпинделя относительно нуля отсчета размеров измерительной системы станка.

Чтобы получить требуемый по чертежу размер детали, необходимо: составить программу обработки с указанием размера $E_{п}$ и ввести ее в ЧПУ станка, например, с помощью перфоленты с управляющей программой. Необходимо настроить торцевую фрезу, установленную в стандартной конусной оправке для автоматической смены режущего инструмента на длину $E_{p,и}$ в отделении настройки режущих инструментов. Следует установить заготовку на спутник с определенным размером $E_{з,с}$.

Все названные размеры должны иметь соответствующие номинальные значения с допустимыми отклонениями. Погрешность реализации заданного программой размера $E_{п}$ на станке с ЧПУ определяется погрешностью позиционирования станка. Погрешность размера $E_{p,и}$ определяется погрешностью используемого для настройки прибора и квалификацией оператора. Погрешность размера $E_{з,с}$ определяется используемыми средствами и квалификацией рабочего.

Все указанные размеры образуются в разных отделениях ГПС: $E_{п}$ — в отделении программирования и подготовки управляющих программ $E_{p,и}$ — в отделении комплектации и настройки

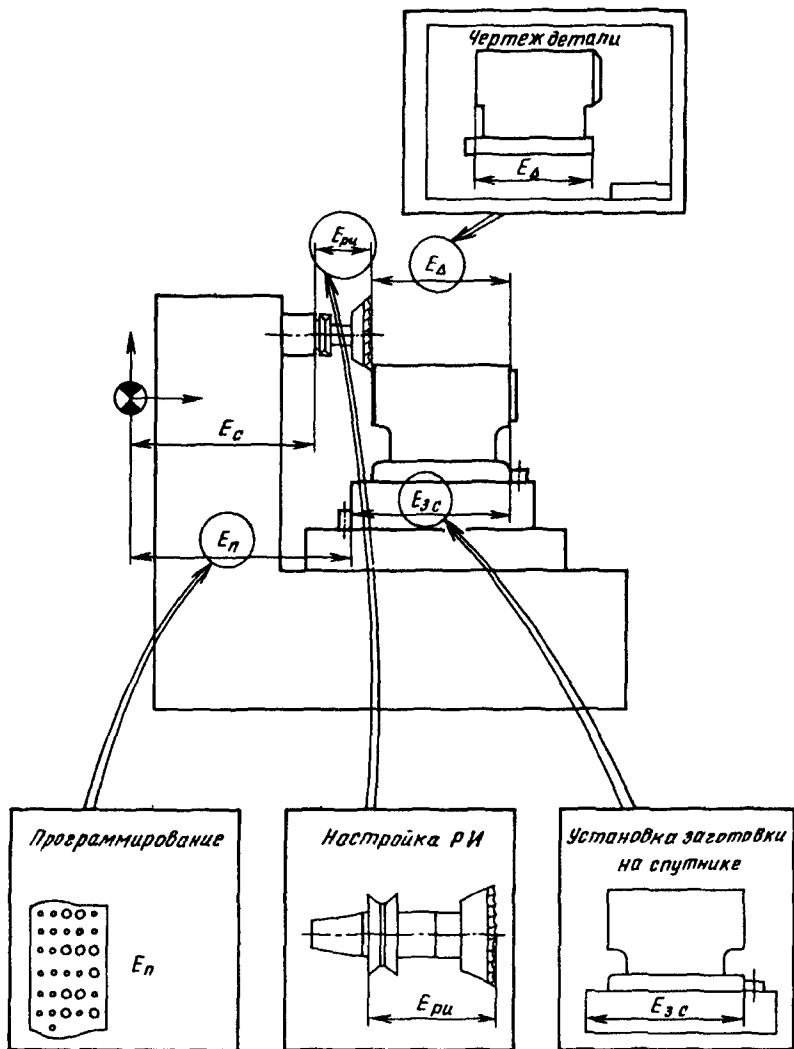


Рис. 2.37. Схема согласования размеров в управляющей программе, настройке режущего инструмента, установки заготовки на спутник для автоматического получения требуемого размера детали

режущих инструментов; $E_{зс}$ — в отделении установки заготовок на спутники.

Все указанные размеры образуются обычно не одновременно, а в различное время, в различных отделениях.

Когда наступает срок выполнения обработки указанной заготовки с этими размерами, на станок с ЧПУ поступает управляющая программа, подготовленная заблаговременно. В инструментальный магазин загружается комплект необходимого режущего инструмента. Каждый инструмент характеризуется своими настроечными размерами. Подается спутник с установленной заготовкой.

На станке все подготовленные заранее составляющие размеры стыкуются вместе, образуя размерную цепь E , в которой в результате получается требуемый по чертежу размер детали E_{Δ} :

$$E_{\Delta} = E_{п} + E_{зс} - E_{с} - E_{р и} \quad (2.13)$$

Допуск T_{Δ} получающегося размера E_{Δ} детали определится из выражения

$$T_{\Delta} = T_{п} + T_{зс} + T_{с} + T_{р и} \quad (2.14)$$

Для того чтобы получить в результате требуемый размер, все составляющие размеры должны быть обеспечены требуемыми допусками.

Погрешность позиционирования станка должна быть не более допустимой $T_{п}$, погрешность настройки режущего инструмента должна быть не больше допуска настроечного размера $T_{р и}$, погрешность установки заготовки должна не превышать допуска $T_{зс}$. Должна поддерживаться постоянная температура в цехе в определенном допуске, например $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$, чтобы тепловые деформации станка были в пределах допуска $T_{с}$.

Если удастся обеспечить требуемые допуски составляющих размеров, то требуемый размер детали может быть получен автоматическим методом полной взаимозаменяемости без какой-либо подналадки оборудования.

Если условие (2.14) не выполняется, то необходимо добиваться требуемой точности замыкающего звена другими методами, например, автоматическим регулированием размеров с использованием контактных головок.

В современной ГПС обработку первой заготовки нового типоразмера, как правило, в настоящее время осуществляют в полуавтоматическом режиме, вводя ручную коррекцию в УЧПУ станка с целью компенсации систематических погрешностей. С этой целью в УЧПУ предусмотрены корректоры размеров для всех инструментов по числу гнезд в магазине.

Таким образом, для автоматического получения нужного размера детали необходимо согласовать многие составляющие размеры. Для этого необходимо настроить размерные цепи и произвести расчеты

размеров составляющих звеньев и их допустимых отклонений. Если этого не сделать, то придется согласовывать размеры вручную на станке и добиться автоматического получения требуемых размеров детали не удастся. Для осуществления автоматической настройки технологической системы нужно рассчитать требуемые размеры составляющих звеньев и их обеспечить. Следовательно, необходимо получить информацию о требуемых размерах и их допустимых отклонениях. Эту информацию необходимо передать в соответствующие отделения ГПС: настройки режущего инструмента, установки заготовок и т.д.

Все действия по настройке и установке сопряжены с затратами времени. Таким образом, для того чтобы можно было начать обрабатывать заготовку в запланированный момент времени, необходимо заблаговременно сделать все необходимое. Если опоздать с каким-либо подготовительным этапом, то срок начала обработки придется отложить, сборочный участок будет простаивать из-за отсутствия нужной детали. Если все подготовительные этапы осуществить много раньше, придется хранить на складе настроенный инструмент, заготовки на спутниках. В этом случае увеличиваются потребное число спутников и инструментов в производстве, емкость складов, цикл изготовления детали и расходы.

На рис. 2.38 показана размерная цепь получения размера A_{Δ} от конца сверла до технологической базы корпусной детали. Этот размер получается так же, как размер E_{Δ} на рис. 2.37. В размерной цепи A дополнительно учтены отдельными звеньями установочный размер A_y сверла в шпиндель, методы повышения точности которого аналогичны рассмотренным методам для размера B_2 на рис. 2.35, а также размер A_k , устанавливаемый в корректоре размеров УЧПУ станка для ком-

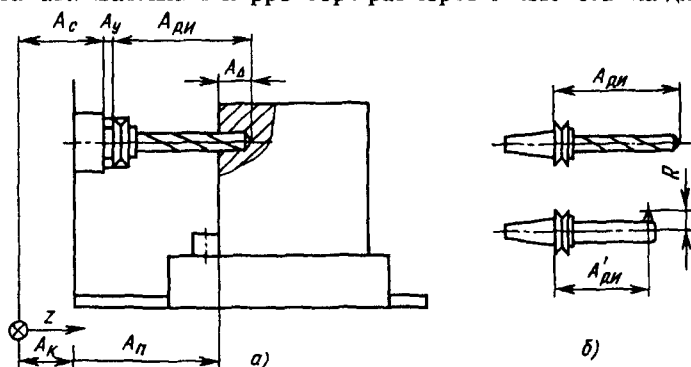


Рис. 2.38. Влияние размера настройки режущего инструмента на размер детали: а — схема операционной размерной цепи; б — размер инструментов

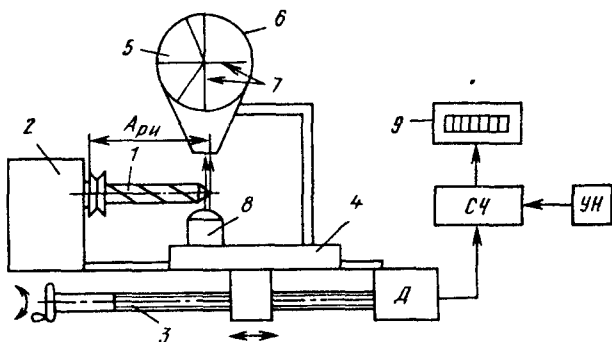


Рис. 2.39. Схема прибора для настройки инструментов:

1 — инструмент; 2 — шпиндельная бабка; 3 — шариковый ходовой винт; 4 — каретка; 5 — изображение режущей кромки на экране; 6 — экран проектора; 7 — риски на экране; 8 — источник света; 9 — цифровое табло; Д — датчик; СЧ — счетчик; УН — устройство установки нуля

пенсации отклонений размеров $A_{p.и}$, измеренных на приборе настройки режущих инструментов (рис. 2.39) относительно расчетного значения настроечного размера инструмента, учтенного при определении программируемого размера $A_{п}$.

Чтобы не менять размера в программе изготовления детали при поступлении каждого нового сверла, используют корректор размера, куда при настройке станка вносится, как правило вручную, соответствующий инструменту размер коррекции. В ГПС размер коррекции вносится автоматически с поступлением нового инструмента на станок. Так обеспечивается настройка станка методом полной взаимозаменяемости с настройкой инструментов вне станка, которая, как правило, осуществляется на показанном приборе вручную.

Настройку станка можно автоматизировать с помощью контактной головки 1 (рис. 2.40), которая устанавливается на каретке для контакта с инструментом, расположенным в шпинделе. Режущий инструмент, в данном случае сверло, в этом случае может не настраиваться предварительно вне станка на приборе, а перед первым использованием автоматически подводится к щупу контактной головки. При отклонении щупа по оси Z от исходного положения на 1 мкм в головке срабатывают электрические контакты, и электрический сигнал через преобразователь ПР поступает в УЧПУ на базе ЭВМ (СNC). Подача каретки с головкой на инструмент мгновенно прекращается, а координата положения каретки по оси Z, отсчитываемая при программном перемещении датчиком обратной связи ДОС, запоминается в регистре. Поскольку положение шпинделя известно (размер $A_{сг}$), то автоматически вычисляется размер $A_{p.и}$.

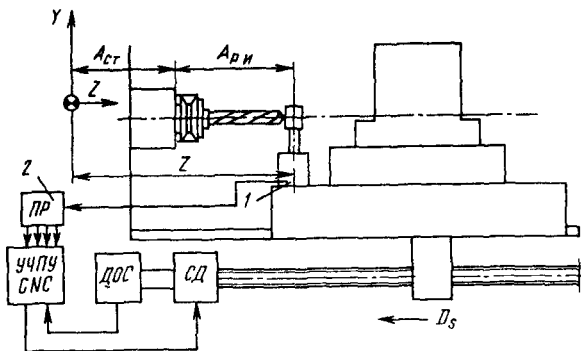


Рис. 2.40. Схема использования контактной головки для взаимодействия с инструментом на многоцелевом станке:

1 — контактная головка на каретке станка; 2 — преобразователь сигналов для УЧПУ; ДЭС — датчик обратной связи; СД — серводвигатель перемещения каретки вдоль оси Z; ПР — преобразователь

Использование контактной головки на многоцелевом станке для контакта с инструментом позволяет не только отказаться от настройки многих инструментов вне станка и повысить тем самым степень частичной автоматизации, но, кроме того, позволяет компенсировать погрешности установки инструмента в шпиндель станка, размерный износ, тепловые деформации технологической системы. Все это способствует повышению точности размеров детали, получаемых в результате обработки.

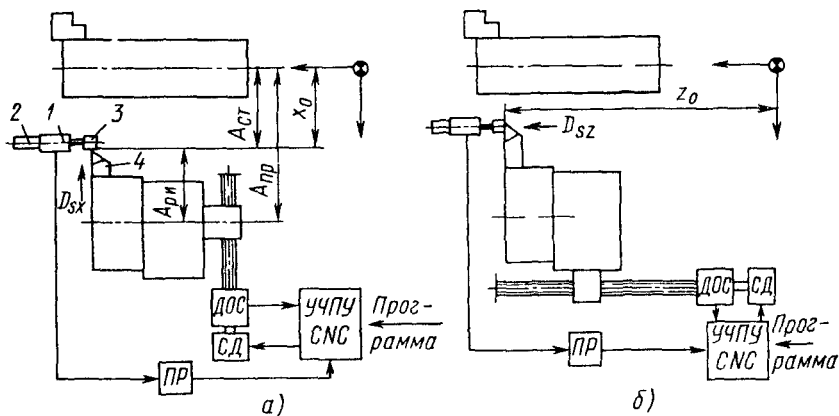
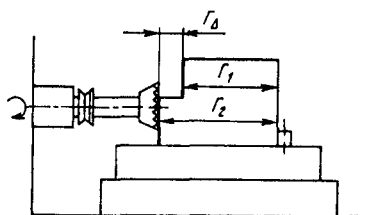


Рис. 2.41. Структурные схемы систем автоматической размерной настройки токарных станков с УЧПУ на базе ЭВМ:

а — для диаметральных размеров, б — для осевых размеров

Рис. 2.42. Схема получения размера между поверхностями, обработанными за один установ заготовки и режущего инструмента



Использование метода регулирования требует дополнительной информации, которая получается с помощью контактной головки, и дополнительных затрат времени на осуществление измерений.

Аналогично осуществляется настройка на токарных станках (рис. 2.41).

4. *Размеры детали, получаемые между поверхностями, обработанными за один установ.* Размер Γ_{Δ} , получаемый между двумя поверхностями, обработанными на многоцелевом станке за один установ заготовки (рис. 2.42), зависит от двух размеров Γ_1 и Γ_2 . Каждый из них получен от обработанной поверхности до одной и той же технологической базы заготовки как размер E_{Δ} третьего вида (см. рис. 2.37): $\Gamma_{\Delta} = \Gamma_1 - \Gamma_2$; $\omega_{\Delta} = \omega_1 + \omega_2$.

В соответствии с последним выражением размер Γ_{Δ} получается менее точным, так как его поле рассеяния больше, чем каждого размера Γ_1 и Γ_2 . На самом деле в данной ситуации размер Γ_{Δ} получится более точным, чем размеры Γ_1 и Γ_2 . Это объясняется тем, что погрешности установки заготовки Δ_3 и в данном случае погрешность настройки и установки режущего инструмента $\Delta_{и}$ при обработке обеих поверхностей заготовки одинаковы по величине и направлению. Размеры Γ_1 и Γ_2 получают одинаковые приращения, равные $\Delta_3 + \Delta_{и}$. Однако на размер Γ_{Δ} эти приращения влияния не оказывают, так как одинаковые погрешности взаимно компенсируются. Это следует из следующих уравнений. Пусть $\Gamma_1' = \Gamma_1 + \Delta_3 + \Delta_{и}$; $\Gamma_2' = \Gamma_2 + \Delta_3 + \Delta_{и}$, тогда $\Gamma_{\Delta}' = \Gamma_1 - \Gamma_2 = \Gamma_1 + \Delta_3 + \Delta_{и} - \Gamma_2 - \Delta_3 - \Delta_{и} = \Gamma_1 - \Gamma_2 = \Gamma_{\Delta}$.

Увеличение или уменьшение размеров Γ_1' и Γ_2' на одно и то же значение не изменяет размера между поверхностями, обработанными за один установ. Погрешности обоих размеров взаимно компенсируются.

Однако при получении размера \mathcal{J}_{Δ} (рис. 2.43) между поверхностями, обработанными за один установ заготовки и инструмента, но с

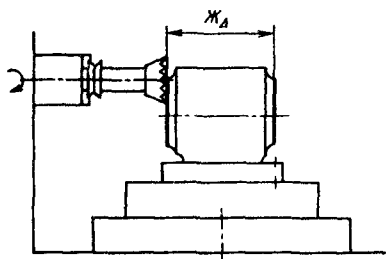


Рис. 2.43. Схема получения размера между поверхностями, обработанными за один установ заготовки и режущего инструмента с поворотом стола станка на 180°

поворотом стола, погрешности Δ_3 и $\Delta_и$ не только не компенсируются, но удваиваются. Это объясняется тем, что знаки погрешностей противоположны вследствие поворота стола.

Погрешности установки не влияют на операционные размеры детали между поверхностями, обработанными за один установ, если при их обработке не менялось относительное направление осей координат технологических баз заготовки в технологической системе.

Размеры указанного вида имеют несколько подвидов, так как могут быть получены за один установ заготовки на спутник, спутника на станок, режущего инструмента; за одно позиционирование стола станка; за одну индексацию стола при повороте.

Могут быть и другие подвиды размеров, а также сочетания указанных подвидов.

5. *Размеры детали, получаемые от измерительных баз.* Сначала рассмотрим получение размера от измерительной базы заготовки при сверлении отверстий на вертикально-сверлильном станке с ручным движением подачи (рис. 2.44). Если требуется выдержать размер I — глубину отверстия, то вначале при касании сверлом верхней плоскости заготовки фиксируют по шкале и лимбу положение шпинделя. Принимая зафиксированное положение шпинделя за начало отсчета размера, отсчитывают по лимбу перемещение шпинделя, равное I_Δ , после чего шпиндель с инструментом возвращают в исходное положение.

Как видно из схемы на рис. 2.44, на погрешность размера I_Δ , получаемого от измерительных баз $ИБ$, не влияют погрешности установки заготовки, установки и настройки режущего инструмента. На погрешность рассматриваемого размера влияет только погрешность измерения положения измерительной базы и погрешность позиционирования шпинделя.

Автоматизировать получение размера от измерительных баз можно двумя путями: фиксированием момента касания инструментом заго-

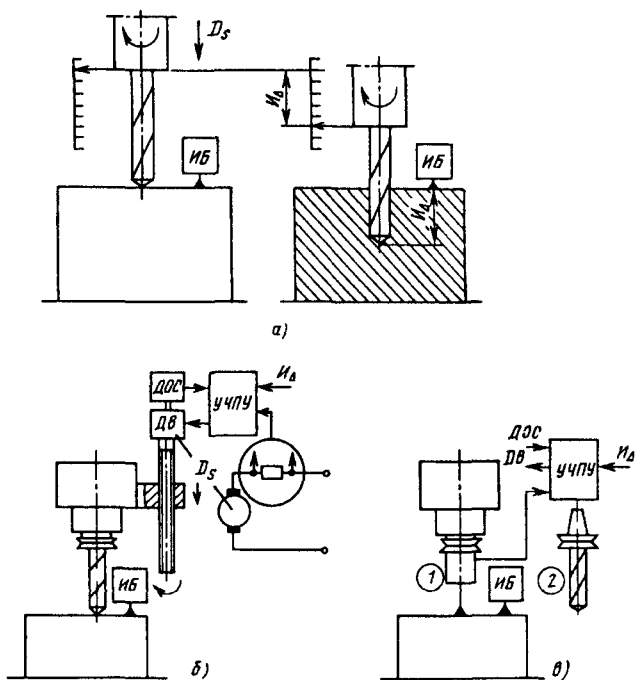


Рис. 2.44. Схема получения размера детали от измерительных баз:
а — вручную отсчетом перемещения от ИБ; *б* — автоматически по увеличению силы тока якоря серводвигателя подачи при врезании; *в* — измерением положения ИБ контактной головкой перед обработкой

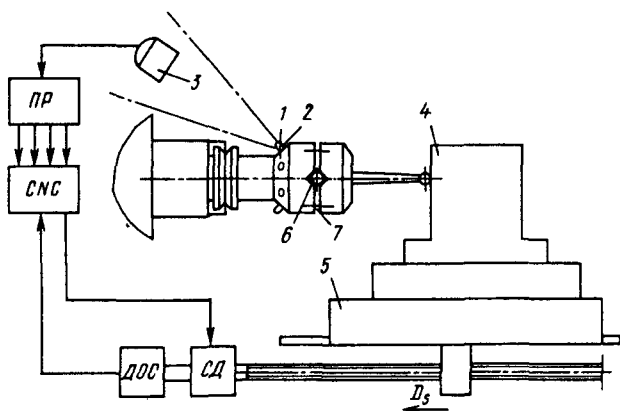


Рис. 2.45. Схема работы контактной головки с оптической передачей сигнала:
1 — конусная поверхность; *2* — светодиод; *3* — фотоприемник; *4* — заготовка, *5* — каретка; *6* — шарик; *7* — регулировочные винты

товки с последующим автоматическим перемещением инструмента на требуемое расстояние; предварительным определением положения измерительной базы в координатах станка и перемещением инструмента на требуемое расстояние. В обоих случаях используется метод регулирования, требующий дополнительной информации для его реализации.

Автоматическое фиксирование момента касания инструментом заготовки в процессе резания на станках может осуществляться различными способами: по электрическому контакту сверла с заготовкой, увеличению крутящего момента на шпинделе или увеличению составляющей силы резания, возникновению искры при шлифовании, увеличению механических колебаний на заготовке и др. Момент касания сверлом заготовки может быть зафиксирован автоматически по увеличению силы тока в цепи якоря электродвигателя привода подачи. При увеличении силы тока в УЧПУ поступает сигнал начала отсчета запрограммированного перемещения шпинделя со сверлом.

Предварительное определение положения измерительной базы заготовки на многоцелевых станках может осуществляться с использованием контактной головки (рис. 2.45), автоматически устанавливаемой в шпиндель станка из инструментального магазина. Щуп головки автоматически подводится до контакта с заготовкой. При контакте с заготовкой щуп отклоняется от нейтрального положения. Отклонение щупа на 1 мкм вызывает срабатывание контактов в измерительной головке. Движение подачи прекращается, а в УЧПУ фиксируется значение координаты положения рабочих органов станка, при котором произошел контакт. Это значение координаты принимается за начало отсчета размеров при дальнейшей обработке заготовки.

При использовании головки отсчет размеров может вестись не только от поверхностей заготовки, но и относительно осей, например, литого отверстия. По существу, это дает возможность базировать заготовку программными средствами и вести обработку отверстия при базировании относительно этого отверстия за один установ заготовки на станке.

Схема движения щупа головки относительно отверстия заготовки показана на рис. 2.46, а, схема получения размера H_{Δ} от оси отверстия до фрезеруемой поверхности с предвари-

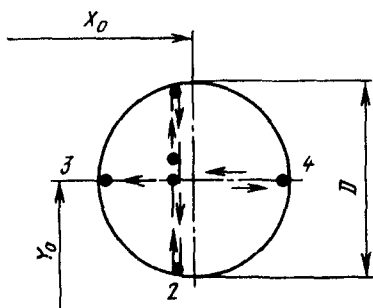


Рис. 2.46. Схема относительного перемещения щупа контактной головки при измерении диаметра D отверстия и координат X_0 , Y_0 положения оси заготовки на многоцелевом станке

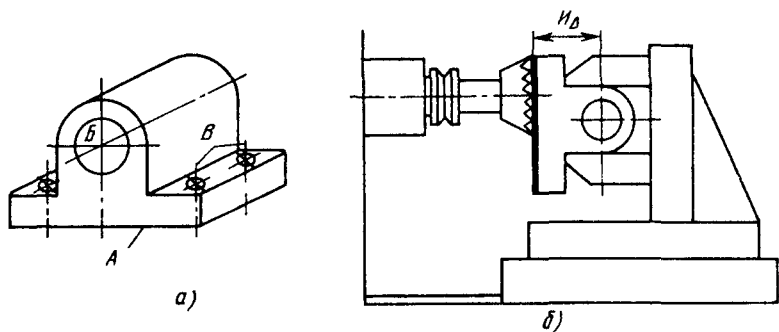


Рис. 2.47. Корпус (а) подшипника и схема (б) получения размера на многоцелевом станке с отсчетом перемещений от оси литого отверстия благодаря использованию контактной головки:

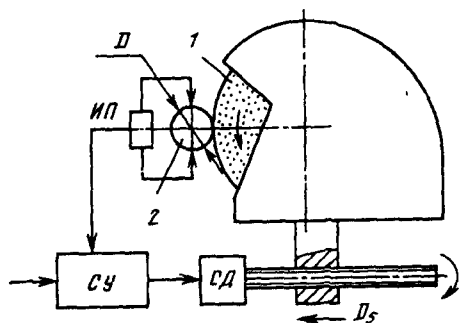
A — плоскость основания заготовки, B — отверстия под подшипники, B — крепежные отверстия

тельным измерением положения оси отверстия — на рис. 2.47. Точность получения размера I_{Δ} таким методом зависит от точности измерения координатного размера до базы и точности обработки. Для многоцелевого станка в суммарную погрешность войдут две погрешности позиционирования, погрешность установки контактной головки в шпиндель, погрешность самой головки, погрешность установки и настройки режущего инструмента. При использовании контактной головки расходуется дополнительное время на измерение и смену инструмента.

6. *Размеры детали, полученные с использованием активного контроля.* Суть этого метода получения размера состоит в том, что операционный размер детали измеряется в процессе его получения и сравнивается с заданным. В размерной цепи технологической системы предусмотрено компенсирующее звено, размер которого автоматически подстраивается так, чтобы получался требуемый размер детали.

Характерным примером может быть автоматическое шлифование на круглошлифовальном станке с активным контролем размеров (рис. 2.48). Шлифовальный круг 1 с помощью серводвигателя $СД$ подается с поперечным движением врезания к заготовке 2 , которая шлифуется в центрах. Прибор $ИП$ контактного или бесконтактного типа измеряет текущий диаметр D детали. Информация о размере D поступает в систему управления $СУ$ станком, которая выключает движение подачи и отводит шлифовальный круг от заготовки при достижении заданного диаметра. Точность получаемого размера зависит от точности измерения, точности позиционирования и динамической точности цепи обратной связи. К этому же типу размеров

Рис. 2.48. Схема получения размера с использованием активного контроля



относится размер, получаемый методом пробных рабочих ходов с автоматическим измерением, например, контактной головкой и компенсацией размера настройки станка с помощью УЧПУ типа CNC.

7. Прочие неоперационные размеры детали, получаемые в

результате обработки. К прочим размерам, образующимся в результате обработки заготовки, можно отнести размеры от обработанных поверхностей или их осей до поверхностей заготовки, не обрабатываемых за один установ и не являющихся ни технологическими, ни измерительными базами. Такими поверхностями могут быть: поверхности, которые обрабатывались на других операциях технологического процесса; поверхности заготовки, не подлежащие обработке.

В первом случае размер образуется как замыкающее звено и рассматривается в подразд. 2.10 как образующийся в межоперационных размерных связях. Во втором случае к точности размера, как правило, высоких требований не предъявляют, он тоже образуется как замыкающее звено межоперационной размерной связи.

На корпусной детали, обработанной на многоцелевом станке, есть почти все перечисленные виды операционных размеров, за исключением размеров, полученных с использованием активного контроля, поскольку активный контроль не используется пока при обработке на многоцелевых станках. Диаметры крепежных отверстий образуют в результате сверления и нарезания резьбы метчиками (вид 1). Межосевые расстояния получают обработкой за один установ заготовки (вид 4). Диаметры отверстий под опоры валов, как правило, получают расточкой (вид 2). Положение оси расточенного отверстия относительно технологических баз заготовки получают как размер 3-го вида. Глубину крепежных отверстий получают, как правило, как размеры 4-го вида, так как сначала фрезеруют поверхность, а потом сверлят отверстия. На современных многоцелевых станках, оснащенных контактными головками, могут быть получены размеры вида 5.

Все типы операционных размеров детали, получаемых в результате обработки, приведены в табл. 2.2. Типы операционных размеров характеризуются методом их образования и различаются структурой, т.е. составом размерной связи, замыкающим звеном которой этот размер является. Следовательно, типы операционных размеров различаются качественным составом составляющих звеньев и, соответ-

*2.2. Составляющие погрешностей операционных размеров детали
в зависимости от структуры операционных размерных связей*

№ вида	Способ формирования операционного размера детали		Составляющие погрешности операционного размера детали						
			Погрешность размера РИ	Погрешность установки РИ	Погрешность движения ИП	Погрешность позиционирования	Погрешность установки заготовки	Погрешность измерения	Погрешность размера заготовки
1	Мерным инструментом		+	-	-	-	-	-	-
2	Формообразующим движением		+	+	+	-	-	-	-
3	До технологических баз		+	+	+	+	+	-	-
4	Между поверхностями, обработанными за один установ (РИ и заготовки)		-	-	-	+	-	-	-
5	От измерительных баз	а по касанию РИ	-	-	-	+	-	+	-
		б измерительной головкой	+	+	+	+	-	+	-
6	Активным контролем		-	-	-	-	-	+	-

ственно — составом погрешностей, которые суммируются на замыкающем звене. Операционные размеры четвертого вида для примера представлены в табл. 2.2 только одним подвидом — размером, полученным за один установ режущего инструмента и заготовки.

Ряд погрешностей, присущих операционным размерам некоторых типов, можно сократить, например погрешность настройки и установки РИ в типе 3 использованием автоматического регулирования, в данном случае использованием контактной головки для контакта с инструментом, как показано на рис. 2.40.

2.10. Межоперационные размерные связи

Межоперационными размерными связями называют технологические размерные связи, проявляющиеся во взаимодействии операционных размеров детали и размеров заготовки на различных стадиях изготовления детали. Простейшей межоперационной размерной связью является связь размеров заготовки I_1 , операционного размера детали I_2 и припуска на обработку, показанная на рис. 2.49. В результате обработки заготовки, имевшей размер I_1 , удаляется припуск Z , который в данном случае является функцией двух размеров I_1 и I_2 . Связь определяется уравнением

$$Z = I_{\Delta} = I_1 - I_2. \quad (2.15)$$

Рассмотрим более сложный случай межоперационных размерных связей. Пусть необходимо изготовить двухступенчатый валик (рис. 2.50) Валик обрабатывается на токарном станке за два установка, как показано на эскизах наладок. Все торцовые поверхности заготовки пронумерованы по порядку. Припуски показаны с двойной индексацией. Припуск Z_2^3 означает, что он снимается с поверхности № 2 на операции № 3. Каждый из припусков в описанной схеме является замыкающим звеном соответствующей технологической размерной цепи: $Z_1^1 = B_0 - B_1$; $Z_3^2 = B_1 - A_2 - B_2$. Для того чтобы

составить уравнения, можно схему технологических размерных связей представить по методике проф. В.В. Матвеева (рис. 2.51). На этой схеме наверху вычерчивается заготовка, внизу — изде-

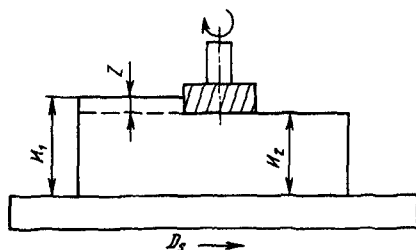


Рис. 2.49. Связь размеров заготовки I_1 , изделия I_2 и припуска Z

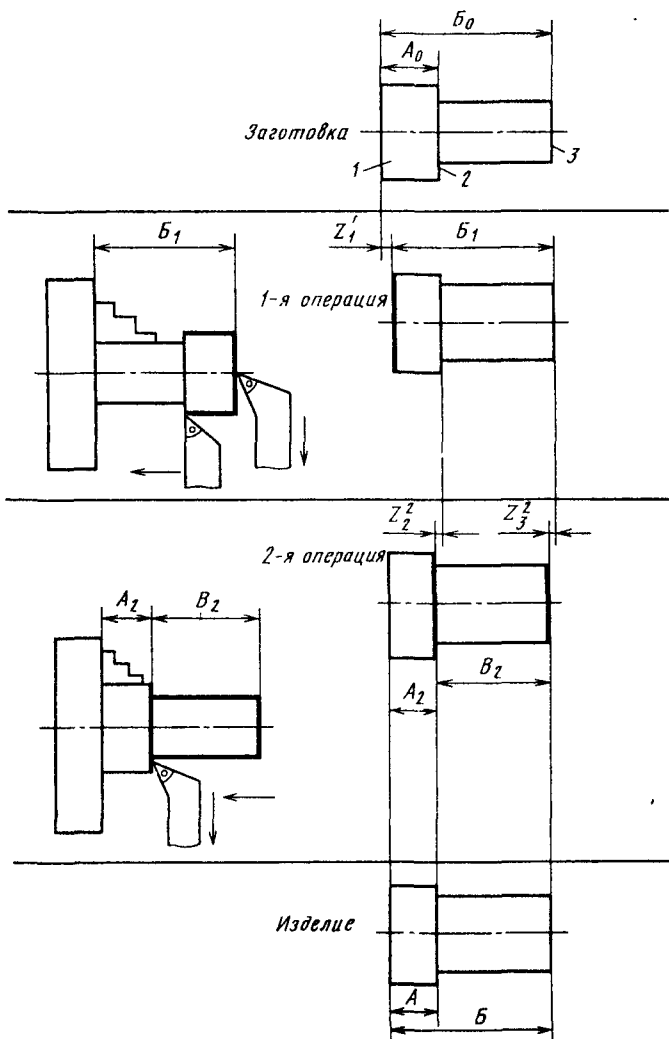


Рис. 2.50. Схема преобразования размеров заготовки в процессе изготовления детали. Поверхности заготовки нумеруют слева направо цифрами 1, 2, 3 и т.д. и далее к номеру поверхности добавляют нули. Поверхности заготовки 10, 20, 30 обозначают точками, от них проводят вертикали. В зоне с надписью "Заготовка" наносят размеры заготовки A_0 и B_0 , которые, как и поверхности, имеют нулевые индексы, что указывает на принадлежность к размерам заготовки.

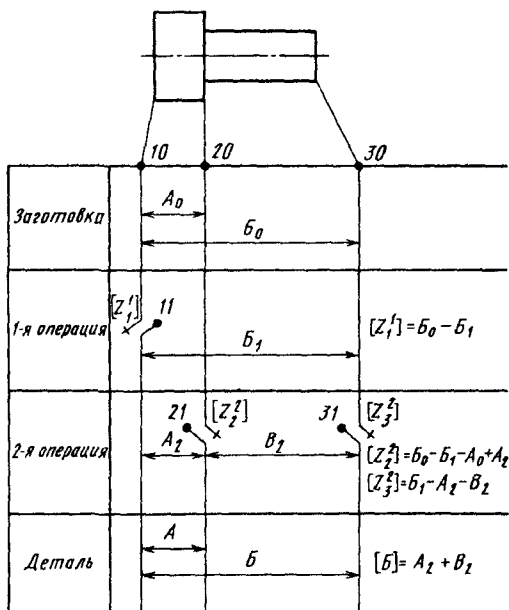


Рис. 2.51. Схема размерного анализа технологического процесса изготовления валика

Число размеров должно быть на один меньше, чем число вертикальных линий. На данной схеме три поверхности и два размера между ними. Ниже зоны с размерами заготовки следуют зоны операций, на которых происходит изменение продольных размеров заготовки. В данном примере операции две.

На первой операции обрабатывают поверхность 10 заготовки, в результате чего поверхность 10 исчезает, а на ее месте появляется справа новая поверхность 11. Исчезновение поверхности 10 показывают крестиком, а появление новой поверхности 11 справа показывают жирной точкой. Разрыв вертикальной линии в данном случае показывает припуск, который обозначен Z_1^1 — припуск с первой поверхности на первой операции ставят рядом. Далее проставляют размер от вновь полученной поверхности 11 до технологической базы, которой является на первой операции торец 30 заготовки. Поэтому ставится между поверхностями 11 и 30 размер B_1 .

Аналогично на второй операции снимают припуски Z_2^2 и Z_3^2 с поверхностей 20 и 30 заготовки. При этом образуются соответственно новые поверхности 21 и 31 слева от соответствующих поверхностей заготовки, поэтому крестики ставят на линиях справа, а точки — на

новых поверхностях на линиях слева. На второй операции образуются размеры A_2 до базы и B_2 между поверхностями, обработанными за один установ. На этом получение продольных размеров заготовки заканчивается, поэтому ниже последней второй операции идет поле с надписью "изделие", где на продолжениях вертикалей ставятся размеры изделия в соответствии с чертежом.

После построения схемы продольных размеров составляют уравнения технологических размерных цепей для каждого замыкающего звена. Замыкающими звеньями являются, как правило, припуски и те размеры детали, которые не получают непосредственно ни на одной из операций технологического процесса. Чтобы выявить замыкающие звенья — размеры детали, если такие есть, необходимо последовательно проверить получение каждого размера детали. В данном случае, размер A совпадает с размером A_2 , полученным на второй операции. Поэтому размер A не является замыкающим звеном, этот размер непосредственно получается на второй операции. Проверяем следующий размер B . Размер B непосредственно не получается ни на первой, ни на второй операции. Считать, что размер B_1 является размером B , нельзя, так как между ними есть разрыв линии — припуск Z_3^2 . Поэтому размер B является замыкающим звеном и определяется из уравнения $[B] = A_2 + B_2$.

Теперь составим уравнения для каждого из припусков. В нашем примере таких припусков три, следовательно, и уравнений три. При составлении уравнений пользуются следующим правилом: двигаясь от одной линии, ограничивающей замыкающее звено по горизонтальным размерам схемы и вертикалям, стремятся прийти к другой линии, ограничивающей то же самое замыкающее звено. Все размеры, по которым осуществляется движение, включаются в размерную цепь. При выявлении контура цепи проходить через разрывы вертикальных линий нельзя. Нельзя также двигаться по размерам детали.

Пользуясь этим правилом, получим следующие уравнения для припусков:

$$[Z_1^1] = B_0 - B_1;$$

$$[Z_2^2] = B_0 - B_1 - A_0 + A_2; \quad (2.16)$$

$$[Z_3^2] = B_1 - A_2 - B_2.$$

Таким образом, для приведенного примера с учетом размера $[B]$ получим всего четыре уравнения по числу замыкающих звеньев размерных цепей. Число уравнений должно быть равно числу замыкающих звеньев.

Следующим этапом является решение уравнений. Для этого прежде всего следует разобраться, что нам известно о всех размерах, принимающих участие в уравнениях. Для этого все размеры удобно разделить на группы и рассмотреть их по порядку.

1. *Размеры детали.* В нашем примере это размеры A и B . Они известны из чертежа изделия, где указаны их номинальные значения и допустимые предельные отклонения. При этом $A = A_2$.

2. *Размеры заготовки.* В данном случае размеры A_0 и B_0 . Для этих размеров в начале расчета известны лишь допуски, так как метод получения заготовки выбран. Номинальные значения размеров должны быть установлены в ходе расчетов.

3. *Операционные размеры.* В данном случае это размеры A_2 , B_1 , B_2 . Размер $A_2 = A$ известен полностью из чертежа детали. Для размеров B_1 и B_2 известны только ожидаемые поля рассеяния, которые могут быть получены при проведении операций на данных станках. Поля рассеяния для конкретных операций могут быть взяты из справочных таблиц, установлены экспериментально или могут быть рассчитаны как замыкающие звенья операционных размерных цепей. Итак, в начале расчета известны допуски указанных размеров. Номинальные значения и отклонения получают в результате расчета.

4. *Припуски на обработку* $[Z_1^1]$, $[Z_2^2]$, $[Z_3^3]$. Для припусков к началу расчета размерных цепей известны лишь их минимальные значения $Z_{1\min}^1$, $Z_{2\min}^2$, $Z_{3\min}^3$, которые должны быть подсчитаны по формуле

$$Z_{\min} = Rz + D, \quad (2.17)$$

где Rz — высота шероховатости поверхности заготовки; D — глубина дефектного слоя заготовки.

Значения параметра шероховатости поверхностей после каждого вида обработки могут быть взяты из справочников. Максимальные значения припусков рассчитывают в результате решения уравнений размерных цепей.

Аналогичным образом строят размерные схемы по другим координатным направлениям; в данном случае нужна еще схема диаметральных размеров, а также схема отклонений расположения поверхностей (от параллельности, от перпендикулярности).

В результате расчета размерных цепей определяют припуски, операционные размеры и размеры заготовки. Целью расчета является

проверка возможности получения требуемых размеров детали в проектируемом технологическом процессе. В результате расчета определяются запасы или допуски размеров детали или выявляется невозможность обеспечения того или иного размера детали. В последнем случае проектируемый технологический процесс нуждается в изменении. Такими изменениями могут быть: введение дополнительных проходов, введение дополнительных операций, изменение технологических баз на операциях, выбор другого метода получения заготовки и ряд других мероприятий.

Без проведения размерного анализа нового технологического процесса невозможно гарантировать получение детали требуемого качества. На тех заводах, где такие размерные анализы не проводятся, затрачивается много времени на внедрение новых технологических процессов, на их отладку, что существенно снижает экономическую эффективность производства.

В автоматизированном производстве отладка новых технологических процессов обработки вновь поступающих заготовок, особенно в ГПС, должна осуществляться автоматически, поэтому без такого расчета там обойтись невозможно. В противном случае наладку ГПС для изготовления новой детали осуществляют используя ручной труд высококвалифицированных наладчиков. Таким образом, размерный анализ целесообразен при любой степени автоматизации производства, но особенно необходим в автоматическом производстве.

Операционные и межоперационные технологические размерные цепи связаны между собой операционными размерами. Операционные размеры образуются как замыкающие звенья операционных размерных цепей различного вида, возможные структуры которых рассмотрены выше (см. табл. 2.1). В межоперационных размерных цепях операционные размеры 1 — 6-го видов (см. табл. 2.2) являются составляющими звеньями.

При технологической подготовке производства осуществлять аналитически расчет поля рассеяния операционного размера по составляющим звеньям за рядом исключений нецелесообразно, поскольку для каждой действующей технологической системы не составляет труда определить поле рассеяния операционных размеров из опыта эксплуатации.

В результате расчета межоперационных размерных цепей могут быть два варианта.

1. Все размеры детали обеспечиваются. Ряд операционных размеров имеют запасы по допускам. В этом случае в зависимости от типа операционного размера и запаса по допуску можно расширить допуски на некоторые наиболее критичные составляющие звенья. Например, можно увеличить допуск настроечных размеров некоторых инструментов при настройке их вне станка.

2. Некоторые размеры детали не обеспечиваются в заданных допусках. В этом случае необходимо внести изменения в проектируемый процесс и, следовательно, в его размерные связи.

В проектируемый процесс можно внести изменения следующими способами.

1. Повысить точность операционных размеров следующим образом: а) повышением точности составляющих звеньев соответствующих операционных размерных цепей, например, повышением точности настройки режущих инструментов вне станка, увеличением частоты и качества очистки базовых поверхностей и т.д.; б) компенсацией погрешностей настройки, установки и размерного износа режущих инструментов, например, использованием контактных головок или (если это было предусмотрено) повышением частоты измерений, например, перед каждым рабочим ходом на токарном станке; в) применением адаптивного управления для сокращения погрешности размера динамической настройки или ее компенсации при получении операционного размера;

2. Изменить вид операционного размера, например, заменой чистового точения отверстия развертыванием или использованием активного контроля размеров.

3. Ввести дополнительный рабочий ход или дополнительную операцию.

4. Изменить схему базирования заготовки.

5. Повысить точность размеров заготовки.

Помимо указанных, могут использоваться и другие способы, так, например, к п. 1а могут относиться и изменение способа установки заготовки на спутник и способа повышения точности при использовании спутников, а также стабилизация или компенсация тепловых деформаций технологической системы и ряд других мер.

С использованием размерного анализа представляется возможность рассчитать требуемую частоту компенсации размерного износа режущего инструмента, обосновать применение автоматической очистки конуса шпинделя оправкой с замшевыми прокладками, использование контактной головки в конкретном случае. Таким образом, размерный анализ технологического процесса в автоматизированном производстве позволяет обосновать применение необходимых средств повышения точности при автоматическом получении размера, а также определить требования к точности и режим использования этих средств, например определить требуемую точность компенсации размерного износа, диапазон компенсации, частоту измерения (перед каждым рабочим ходом или после обработки определенного числа заготовок в партии) и т.д. Таким образом, размерный анализ технологического процесса позволяет обосновать требования к средствам автоматизации для обеспечения требуемых размеров изделия.

2.11. Размерные связи при изготовлении деталей на спутниках в ГПС

Обеспечение точности размеров при установке заготовок на спутниках. Применение спутников для изготовления деталей, особенно в ГПС, характеризующихся частой сменой объектов производства, позволяет решить многие задачи автоматизации изготовления деталей, в том числе: транспортирования заготовок и изделий, автоматизации загрузки и выгрузки станков, повышения эффективности процесса путем сокращения числа переустановок заготовки в технологическом процессе и связанных с этим потерь времени, повышения точности обработки за счет сокращения количества переустановок заготовки. Наличие спутников обеспечивает эффективную работу как отдельных многоцелевых станков (рис. 2.52), так и станков в составе ГПМ (гибких производственных модулей) и ГПС. Поэтому число изготавливаемых многоцелевых станков со сменными спутниками постоянно увеличивается.

Использование спутников (рис. 2.53) в ГПС дало возможность устанавливать на одинаковые спутники различные заготовки и решить проблему автоматического транспортирования различных

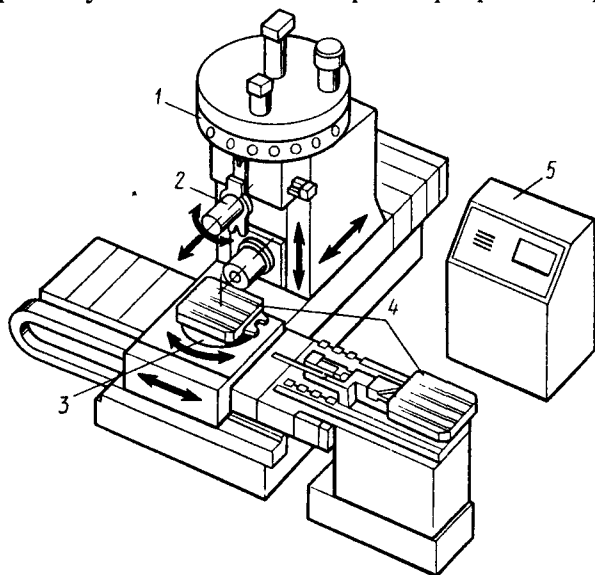


Рис. 2.52. Многоцелевой станок:

1 — инструментальный магазин; 2 — двухзахватный манипулятор УАСИ; 3 — поворотный стол; 4 — сменные спутники; 5 — УЧПУ

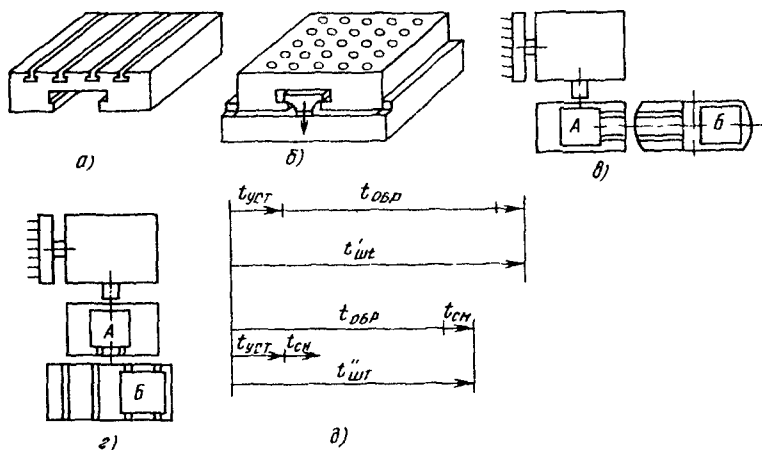


Рис. 2.53. Спутники на многоцелевых станках:

a — с Т-образными пазами; *б* — с отверстиями; *в* — схема смены спутников с помощью поворотного накопителя; *г* — то же, линейного накопителя, *д* — циклограммы обработки заготовок без спутников и на спутниках; *A* — спутник в рабочей позиции; *B* — спутник в накопителе; $t_{уст}$ — время установки заготовки; $t_{обр}$ — время обработки заготовки на станке; $t_{сн}$ — время на снятие заготовки; $t_{сн}$ — время на смену спутников; $t'_{шт}$ — штучное время без использования спутников, $t''_{шт}$ — штучное время с использованием спутников

заготовок в ГПС. Установка заготовок на спутники осуществляется вне станков на специально отведенном для этого участке. Время $t_{уст}$ установки заготовки (см. рис. 2.53, *д*) на спутник, как правило, меньше времени обработки $t_{обр}$ заготовок на многоцелевых станках, что позволяет совмещать время обработки одной заготовки со временем установки другой на спутник. Поэтому в ГПС для закрепления заготовок на спутниках часто используют простейшие зажимные приспособления.

Установочные и зажимные элементы приспособления могут устанавливаться непосредственно на спутник или собираться на отдельной базовой плите, устанавливаемой затем на спутник. Для крепления элементов приспособлений на спутниках используют Т-образные пазы или отверстия, или и то, и другое одновременно.

При изготовлении на спутниках размеры между поверхностями и осями отверстий детали получают либо как операционные размеры между поверхностями, обработанными за один установ заготовки на

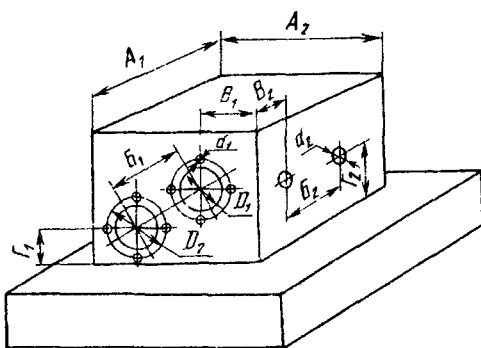
Рис. 2.54. Размеры детали, изготовленной на спутнике

спутник (размеры $A_1, A_2, B_1, B_2, B_1, B_2$ — рис. 2.54), либо как размеры до технологических баз (размеры Γ_1, Γ_2).

Для того чтобы при изготовлении детали на спутнике обеспечить требуемую точность размеров детали, получаемых до технологических баз, необходимо в том числе обеспечить требуемое положение заготовки на спутнике, которое может достигаться различными способами и за несколько этапов.

Спутник имеет по меньшей мере две координатные системы: основную $X_{ос}, Y_{ос}, Z_{ос}$, построенную на основных базах спутника, которыми спутник базируется на станке, и вспомогательную $X_{вс}, Y_{вс}, Z_{вс}$, построенную на вспомогательных базах, которыми базируется приспособление (рис. 2.55, а). Вначале на спутник устанавливают необходимое приспособление с координатной системой $X_{п}, Y_{п}, Z_{п}$, в которой базируются заготовки. Затем на приспособление устанавливают заготовку, имеющую технологические базы, на которых построена координатная система X_3, Y_3, Z_3 . Затем спутник с установленной заготовкой транспортируется к станку и ориентируется своими основными базами на рабочей позиции относительно координатной системы станка X_c, Y_c, Z_c , относительно которой осуществляется программируемое перемещение рабочих органов станка.

На каждом рассмотренном этапе совмещение и относительная ориентация перечисленных координатных систем осуществляется с какими-то погрешностями, которые должны находиться в пределах определенных допусков. В результате установки заготовки на спутник необходимо обеспечить требуемый установочный размер (например, E_{3c} на рис. 2.37) заготовки на спутник, характеризующий относительное положение технологических баз заготовки X_3, Y_3, Z_3 в системе $X_{ос}, Y_{ос}, Z_{ос}$. При получении размера детали до технологических баз в результате обработки на спутнике в итоге важны размеры, характеризующие положение координатной системы X_3, Y_3, Z_3 , построенной на технологических базах заготовки относительно координатной системы станка $X_{ос}, Y_{ос}, Z_{ос}$, поскольку в ней осуществляется отсчет размеров при перемещении рабочих органов станков по программе ЧПУ.



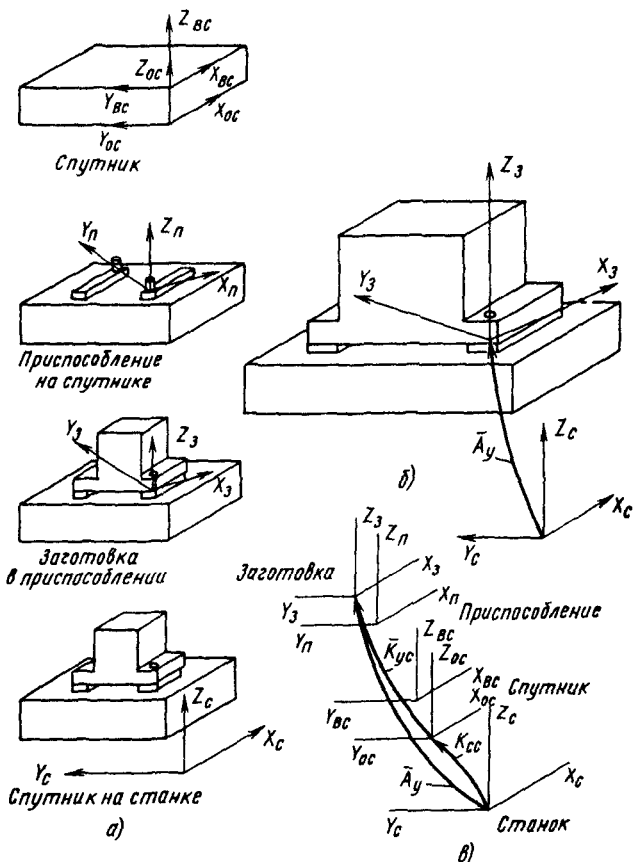


Рис. 2.55. Схемы формирования положения заготовки на спутнике и на станке: а — схема этапов установки, б — схема образования вектора-размера установки в системе координат станка, в — векторная схема

Требуемое положение заготовки на станке, обеспечивающее получение размера в соответствии с чертежом детали, может достигаться либо методом полной взаимозаменяемости, либо регулированием. При полной взаимозаменяемости на каждом этапе обеспечивается определенное положение одной координатной системы относительно другой с высокой точностью. При регулировании требуемое положение достигается либо на спутнике, либо непосредственно в координатной системе станка благодаря автоматической выверке положения по результатам показаний измерительных приборов.

Установка заготовок на спутники с целью обеспечения требуемой точности размеров детали может осуществляться следующими способами: установкой в настроенное приспособление; установкой с выверкой на спутнике с предварительной разметкой заготовки или без разметки; произвольной установкой с последующим измерением координат положения заготовки на спутнике на координатно-измерительной машине и соответствующей корректировкой начала отсчета размеров при обработке на станке с ЧПУ; произвольной установкой с автоматической выверкой на станке.

При установке первыми двумя способами обеспечивается требуемое положение заготовки на спутнике с заданной точностью. Последние два способа позволяют устанавливать заготовки на спутнике с произвольной точностью, но с последующим измерением координат положения заготовки на станке или на спутнике и автоматической коррекцией размеров управляющей программы в УЧПУ.

Рассмотрим подробнее способы установки заготовок на спутники.

1. Установка в настроенное приспособление (см. табл. 2.3).

Сначала на спутник устанавливают приспособление или отдельные базирующие элементы. Требуемая точность установки базирующих элементов на спутнике может обеспечиваться методом полной взаимозаменяемости, если эти элементы устанавливаются в базовые отверстия или пазы спутника, или методом регулирования. Далее в настроенное приспособление устанавливают заготовки, которые затем обрабатываются на станках. Затраты времени на установку и выверку приспособления на спутнике окупаются экономией времени за счет сравнительно быстрого базирования заготовки в приспособлении. Поэтому этот способ, если требования к точности удовлетворяются, экономичен для серийного изготовления деталей, когда в настроенное один раз на партию приспособление многократно устанавливаются по очереди заготовки одной партии запуска.

Размеры, получаемые на детали до технологических баз, например размеры I_{Δ} , K_{Δ} образуются как замыкающие звенья операционных размерных цепей (см. табл. 2.2). Составляющими звеньями в этих цепях являются: размеры I_1 , K_1 — размеры установки заготовки на спутник — расстояния от технологических баз заготовки до основных баз спутника, включая погрешности установки приспособления на спутник и заготовки в приспособление; размеры I_2 , K_2 — расстояния от основных баз спутника на станке до базы отсчета размеров на станке с ЧПУ, содержащие погрешности установки спутника на станок и погрешности в результате теплового деформирования станка; размеры I_3 , K_3 — размеры позиционирования стола станка относительно шпинделя по двум осям координат, содержащие погрешности позиционирования станка по осям координат.

2.3. Способы и этапы установки заготовок на спутники в ГПС

Способ установки	Этапы подготовительных работ и установки заготовки				
	Разметка заготовки	Установка базирующей и крепежной оснастки на спутник	Установка заготовки	Измерение положения	Регулирование положения заготовки
В настроенное приспособление	—	+	+	—	—
С выверкой положения заготовки на спутнике без разметки	—	+	+	+	+
С выверкой положения заготовки на спутнике по разметке	+	+	+	+	+
С выверкой положения спутника на станке, с измерением положения заготовки на спутнике вне станка	—	+	+	+	+
С выверкой положения на станке, с измерением положения заготовки на станке	—	+	+	+	+

Для повышения точности получаемых размеров детали I_{Δ}, K_{Δ} необходимо методом полной взаимозаменяемости повысить точность составляющих звеньев: точность установки приспособления на спутник; точность установки спутника на станок и точность позиционирования станка. Повышение точности установки достигается, во-первых, повышением точности и износостойкости поверхностей элементов, участвующих в базировании, повышением их жесткости, во-вторых, очисткой перед установкой базовых поверхностей от стружки и грязи путем обдувки или лучше промывки отфильтрованной СОЖ; в-третьих, правильным приложением сил закрепления, в том числе стабильностью сил зажима заготовки, спутника. Для этого рекомендуется при использовании винтовых прихватов осуществлять затяжку болтовых соединений с постоянным крутящим моментом тарированным гаечным ключом.

2. *Установка заготовки с выверкой на спутнике с предварительной разметкой заготовки или без разметки.* На спутник устанавливают регулируемые опоры, использующие, как правило, винтовые или клиновые самотормозящиеся соединения. Точность установки таких опор на спутник значения не имеет, поэтому время на установку таких опор затрачивается меньше. Затем на регулируемые опоры устанавливается заготовка, положение которой на спутнике перед закреплением регулируется таким образом, чтобы выдерживались требуемые расстояния от поверхностей заготовки, используемых в качестве технологических баз, до основных баз спутника.

Если заготовка предварительно размечена, т.е. на ее поверхностях нанесены риски, то при выверке положения заготовки на спутнике в качестве технологических баз используются риски и точки пересечения рисков на заготовке. Выверка осуществляется, как правило, вручную измерением достигнутого положения заготовки соответствующими средствами и изменением высоты регулируемых опор так, чтобы получить необходимые показания измерительных приборов. В качестве измерительных приборов могут использоваться индикаторы часового типа или другие шкальные или цифровые приборы соответствующей точности. При установке партий заготовок могут использоваться различные приспособления, шаблоны, рейсмусы. При этом регулировкой добиваются совпадения поверхностей или рисков с указателем на глаз.

Как правило, размечают заготовки больших размеров и дорогие, из которых с использованием разметки "выкраивают" деталь с учетом возможных дефектов литья, индивидуальных погрешностей заготовки. Автоматизация разметки частично достигается использованием координатно-разметочных машин, аналогичных по конструкции координатно-измерительным машинам, но отличающихся, как прави-

ло, меньшей точностью, а также наличием средств для нанесения рисок и меток на материале заготовки. С этой целью могут использоваться и лазеры.

Однако выверку положения заготовок на спутниках особенно с помощью разметки трудно автоматизировать, поскольку для этого необходимы приборы технического зрения, ЭВМ и достаточно сложные программы для анализа изображения.

Затраты времени на выверку каждой заготовки из партии делают этот способ менее экономичным при больших партиях заготовок по сравнению с установкой в приспособление. Однако выверкой может обеспечиваться более высокая точность, чем при установке заготовки в настроенное приспособление за счет сокращения погрешности установки приспособления и уменьшения погрешности установки заготовки благодаря контролю.

3. *Произвольная установка заготовки на спутник с последующим измерением координат ее положения на спутнике и коррекцией размеров при обработке.* При этом способе возможна произвольная установка заготовки по крайней мере по нескольким осям координат. При этом нет необходимости в придании строго определенного положения заготовке на спутнике перед ее закреплением. Заготовку в ряде случаев можно устанавливать "на глаз" без использования опорных элементов приспособлений для направляющей и опорной баз, что значительно облегчает установку заготовки и сокращает затраты времени на установку заготовки и настройку приспособления.

После закрепления заготовки на спутнике координаты положения заготовки измеряются на координатно-измерительной машине. Информация о действительном положении заготовки на спутнике поступает в УЧПУ станка (типа CNC), где в соответствии с этой информацией перед обработкой смещается ноль отсчета размеров — "ноль заготовки", т.е. все размеры позиционирования смещаются на соответствующее значение.

Упрощается установка заготовки и сокращается необходимое на это время, но появляются затраты времени на измерение положения каждой заготовки на спутнике на координатно-измерительной машине. Процесс может быть полностью автоматизирован, однако требуется дополнительная информация: программа измерения, программа коррекции и текущая информация о действительном положении заготовки на спутнике.

Необходимо подчеркнуть, что "свободное" положение заготовки на спутнике может быть разрешено только по тем направлениям и поворотам осей координат, по которым имеется программное регулирование на станке. Как правило, обеспечивается возможность компенсации перемещений по трем осям координат. На горизонтальных

многоцелевых станках, кроме того, можно компенсировать поворот заготовки в одной плоскости поворотом стола, если поворотный стол позволяет это делать с требуемой точностью (есть столы, которые например, могут поворачиваться только на 45 или 90°). Полная выверка заготовки на станке по шести координатам возможна сравнительно редко — при наличии глобусного стола. Поэтому этот способ используется частично для выверки положения заготовки по двум-четырем осям, например по направляющей и опорной базе.

В погрешность получаемых размеров включаются погрешности измерения положения заготовки, погрешности установки спутника на станок и погрешности позиционирования станка.

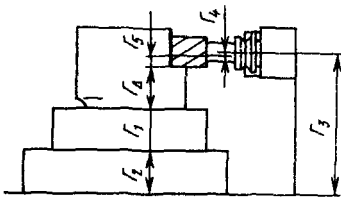
4. *Произвольная установка с автоматической выверкой на станке.* Отличие этого способа от предыдущего состоит в том, что измерение положения заготовки на спутнике осуществляется непосредственно на станке перед обработкой заготовки с помощью измерительной головки (см. рис. 2.45 — 2.47), которая автоматически устанавливается из инструментального магазина в шпиндель станка, превращая его в координатно-измерительную машину. При этом компенсируются полностью не только погрешности установки заготовки на спутник, но также погрешности установки спутника на станок и погрешности размеров самого спутника по некоторым осям. Отпадает необходимость в координатно-измерительной машине, в передаче и запоминании информации о положении заготовки, в кодировании спутников. Однако увеличивается время нахождения заготовки на станке и соответственно снижается производительность последнего.

Выбор способа установки определяется требуемой точностью размеров, затратами времени, зависящими, в том числе, от числа заготовок в партии, техническими возможностями оборудования на основе технико-экономического анализа.

Повышение точности изготовления изделий на спутниках в ГПС. Обеспечение требуемой точности размеров при обработке заготовок на спутниках имеет ряд особенностей. Обработка многих поверхностей заготовки за один установ на спутниках позволяет снизить погрешность размеров между обработанными поверхностями благодаря исключению влияния погрешности установки заготовки. Вместе с тем вследствие того, что размеры спутника включаются в операционные размерные связи системы, они вносят дополнительные погрешности в операционные размеры детали, получаемые до технологических баз.

При обработке заготовок на спутниках расстояние от обработанной поверхности до технологической базы определится (рис. 2.56) как замыкающее звено технологической размерной цепи, в которую войдут: размер спутника G_1 (высота), конструктивные размеры стан-

Рис. 2.56. Схема влияния высоты спутника Γ_1 на размер детали Γ_Δ



ка, показанные одним звеном Γ_2 , программируемый по оси Y размер Γ_3 , кроме того, радиус режущего инструмента Γ_5 , погрешность его установки в шпиндель станка Γ_4 в виде отклонения от соосности.

В погрешность размера Γ_1 помимо погрешности высоты спутника входят погрешности установки заготовки на спутнике и спутника на станок.

Получаемый в результате обработки размер детали является замыкающим звеном в размерной цепи, которая описывается уравнением $\Gamma_\Delta = -\Gamma_1 - \Gamma_2 + \Gamma_3 - \Gamma_4 + \Gamma_5$.

Соотношение допусков следующее: $T_\Delta = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$ или с учетом малой вероятности сочетания крайних значений разме-

$$ров \quad T_\Delta = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + T_4^2 + T_5^2}.$$

При использовании спутников в погрешности размеров детали, получаемых до технологических баз, дополнительно войдут погрешности установки на спутник, спутника на станок и погрешности размеров самих спутников, на которых будут обрабатываться заготовки данного вида.

Спутник, таким образом, вносит дополнительные погрешности в размеры изделия, получаемые до технологических баз.

Повысить точность операционных размеров детали, получаемых при обработке, возможно следующими способами: уменьшить допуски каждого размера, т.е. повысить точность спутников и точность установки; использовать один спутник для установки заготовки данного типа: закрепить группу спутников за данной заготовкой или станком; использовать автоматическую коррекцию размеров. Рассмотрим эти способы.

1. Повышение точности спутников и точности установки заготовки на спутник и спутника на станок приводит к уменьшению погрешности размера Γ_1 . Повышения точности установки заготовки на спутник и спутника на станок достигают рациональной конструкцией спутника и средств крепления, тщательной очисткой контактирующих базовых поверхностей, сокращением износа этих поверхностей, стабилизацией силы закрепления. Для этого, в частности, при установке заготовок для затяжки винтовых прихватов используют дина-

мометрические ключи. Погрешность установки спутников на станок может не превышать нескольких микрометров по соответствующей оси, при выборе правильной конструкции и тщательном изготовлении спутника и приемного узла. Первый способ повышения точности, таким образом, осуществляется методом полной взаимозаменяемости.

Повышение точности изготовления спутников для ГПС приводит к значительному удорожанию их. Для того чтобы можно было исключить погрешность, связанную с разбросом размеров спутников, можно всегда устанавливать заготовку данного типа только на один спутник, размер которого однажды скорректирован введением соответствующей коррекции в УЧПУ в размер L_3 . Для другой заготовки используют другой спутник и т.д. В этом случае в каждой управляющей программе можно ввести коррекцию на действительный размер спутника. Такой подход удобнее и тем, что для установки заготовок данного типа на спутнике устанавливают базирующие и крепежные элементы для конкретного вида заготовок.

2. Использование одного спутника для обработки партии одинаковых заготовок. При изготовлении деталей одного определенного типа на одном спутнике скорректировать отклонение размеров этого спутника, а также сократить число переналадок спутника. Однако это возможно лишь при одновременном изготовлении в ГПС ряда различных деталей, которые можно распределить по спутникам, кроме того, потребуется постоянное переключение станка на разные программы, так как во время освобождения спутника от детали и закрепления на нем следующей заготовки станок не должен простаивать, а на других спутниках закреплены заготовки других типов.

Быстрое переключение программ возможно лишь для УЧПУ типа CNC. Кроме того, комплект инструментов в магазине станка должен позволять выполнять обработку нескольких различных заготовок, что достигается при групповой обработке заготовок. Этого удастся добиться подбором обрабатываемых заготовок в группы по конструктивно-технологическим признакам, а также увеличением вместимости инструментальных магазинов станков. Необходимо также предусмотреть соответствующее планирование и управление производством.

3. Повышение точности изготовления детали достигается разделением всех спутников по размерам на несколько размерных групп. Каждая группа спутников закрепляется за одним станком, что позволяет повысить точность методом групповой взаимозаменяемости. Поле рассеяния размеров спутников в каждой группе окажется меньше общего поля рассеяния в число раз, равное числу групп сортировки.

С этой же целью рекомендуется не путать спутники на разных ГПС одной модели. Каждый модуль предназначен для работы с

определенными спутниками. Однако это значительно снижает возможности ГПС при взаимодополняющих станках. Кроме того, усложняется планирование и управление работой ГПС.

4. Использование автоматической коррекции размеров для каждого спутника, т.е. использовании метода регулирования. Это возможно осуществить практически несколькими способами.

Во-первых, можно использовать контактную головку, с помощью которой автоматически измерить координаты положения заготовки или спутника на станке и автоматически внести индивидуальную для каждого случая коррекцию в программу обработки данной заготовки на данном спутнике.

Во-вторых, можно заранее измерить размеры всех спутников и закодировать каждый спутник. Размеры спутников в ГПС измеряют и составляют таблицу соответствия номера спутника и действительных отклонений его размеров.

Когда спутник с заготовкой установлен на станок (рис. 2.57, а), со спутника преобразователем *ЛР* автоматически считывается кодовый номер (рис. 2.57, б). По номеру спутника запоминающее устройство (ЗУ) выдает индивидуальное отклонение размера спутника данного номера. Поправка, равная отклонению размера данного спутника, автоматически учитывается при обработке заготовки, добавляясь с соответствующим знаком ко всем размерам данного направления в программе. Так, например, для спутника № 3 отклонение высоты составит $+0,01$ мм (см. рис. 2.57, а). В программируемые размеры A_n позиционирования шпинделя автоматически добавится поправка $+0,01$ мм. В результате в размер A детали погрешность размера спутника не войдет. Таблица номеров спутников или поправок хранится в ЗУ управляющей ЭВМ. В кодоносителе спутника могут быть непосредственно записаны отклонения его размеров и тогда таблица отклонений в ЭВМ не нужна. Общий объем информации в ГПС при этом не меняется, но перераспределяется по носителям. По мере изнашивания спутников, при их замене, ремонте информация об отклонениях их размеров должна обновляться.

Способы автоматического регулирования позволяют обеспечить наиболее высокую точность, однако требуют дополнительной информации, а следовательно, — дополнительного времени и средств ее получения, хранения, переработки и использования.

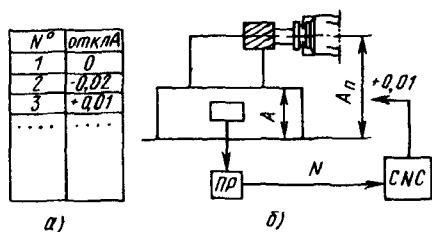


Рис. 2.57. Схема автоматической компенсации отклонений размеров спутников по коду, считываемому со спутника

Автоматизация установки заготовок на спутники. Время снятия детали и установки заготовки вручную на спутник обычно меньше времени обработки заготовок на многоцелевых станках. Поэтому в серийном производстве часто используют простейшие зажимные механизмы для закрепления заготовок на спутниках вручную. Кроме того, применение механизированных зажимных устройств с гидро- и пневмоприводами, используемых для установки заготовок на столах обычных станков, затруднено на спутниках из-за того, что необходимо обеспечить автономность перемещения спутника с закрепленной на нем заготовкой. К спутнику невозможно подсоединить гидропневмошланги или электрический кабель, так как он не сможет свободно передвигаться в ГПС. Поэтому автоматизация закрепления заготовок на спутниках должна осуществляться иначе, чем на обычных станках.

Автоматизация установки заготовки на спутник включает две самостоятельные задачи: во-первых, необходимо автоматически захватить заготовку, переместить ее в зону приспособления и скоординировать в пространстве для того, чтобы было возможно ее последующее базирование и закрепление на спутнике; во-вторых, необходимо автоматически закрепить заготовку на спутнике.

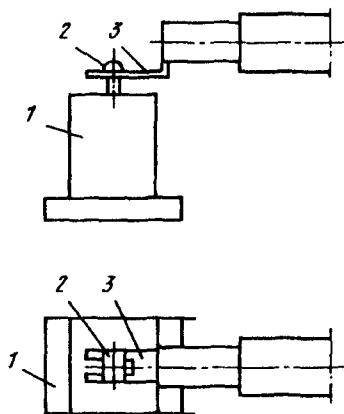
Автоматическое транспортирование заготовки на спутник может осуществляться с помощью робота. Для этого необходимо подавать заготовки в ориентированном положении к зоне загрузки, если робот не оснащен видеодатчиками, позволяющими ему брать заготовку из неориентированного положения. В ГПС для установки различных заготовок на спутниках могут применяться: широкоуниверсальные, переналаживаемые захваты, специальные и сменные захваты.

Широкоуниверсальные захваты могут быть различной конструкции, например типа самоцентрирующего трехкулачкового патрона для заготовок деталей типа тел вращения или плоскопараллельных самоцентрирующих губок для призматических заготовок. Универсальные захваты могут имитировать кисть руки человека. Для заготовок с плоскими поверхностями могут применяться магниты, вакуумные присосы. В любом случае должны обеспечиваться захват, транспортирование и установка заготовок всех видов заданной номенклатуры.

Для захвата заготовок разнообразной конфигурации могут использовать сменные захваты с ручной или автоматической сменой. Современные роботы могут оснащаться комплектом автоматически сменяемых захватов, которые устанавливают в специальном магазине. Робот автоматически меняет захваты в соответствии с управляющей программой.

Для транспортирования заготовок в ГПС могут применяться простые по конструкции и дешевые специальные захваты, предназна-

Рис. 2.58. Схема переноса и установки заготовок роботом



ченные для взаимодействия со специальным одинаковым элементом, предусмотренным конструктивно в каждой заготовке только для ее переноса. Такой элемент в виде, например, прилива специальной формы можно получать в процессе изготовления заготовки. Он может крепиться механически к заготовке или приклеиваться клеем.

На рис. 2.58 показана схема переноса заготовки со специальным элементом, приклеиваемым клеем к заготовкам с целью размещения их в подвешенном состоянии на ярусных тележках, а также с целью транспортирования заготовок роботом. Робот берет заготовку 1 за специальный элемент 2 вильчатым захватом 3 и переносит ее на спутник. Далее заготовка автоматически закрепляется на спутнике.

После обработки деталь автоматически снимается роботом со спутника и устанавливается в накопитель.

Автоматическое закрепление заготовок на спутниках может осуществляться роботом, оснащенный гайковертом, который затягивает винтовые прижимы. Могут использоваться специальные внешние приводы для закрепления заготовок на спутниках.

На спутниках для закрепления заготовок используют самотормозящие механизмы: винтовые, клиновые, а также тарельчатые пружины и гидросистемы. Например, винтовой механизм показан на рис. 2.59. Он представляет собой самоцентрирующие тиски. Губки 1, 2 тисков перемещаются винтом 3, половина которого имеет правую, половина левую резьбу. Винт 3 приводится в движение внешним гайковертом 4, шпindelь 5 которого на позиции загрузки спутника может выдвигаться и входить в зацепление с муфтой 6 винта 3 тисков. При вращении шпинделя гайковерта вращается и винт тисков, перемещая губки 1, 2 либо навстречу друг другу при закреплении заготовки, либо в противоположном направлении, при откреплении заготовки.

Схема крепления заготовки тарельчатыми пружинами показана на рис. 2.60. Заготовка 1 прижимается с помощью гидроцилиндров 4 к базовым упорам 2, привинченным на спутнике 3. Поршни и штоки гидроцилиндров 4 выдвигаются под действием сжатых пружин 5. Для открепления заготовки 1 используется гидропривод. На спутнике 3 установлен гидроцилиндр 6, шток которого взаимодействует на загрузочной позиции спутника со штоком внешнего управляющего

Рис. 2.59. Спутник с винтовым механизмом зажима заготовки

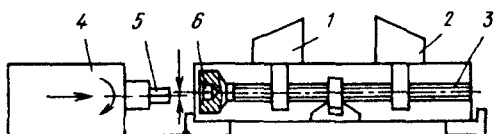
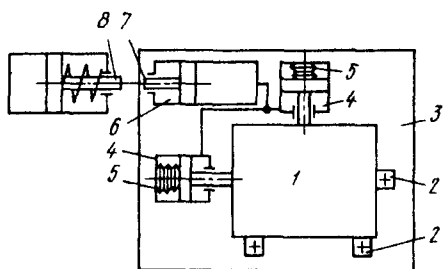


Рис. 2.60. Схема закрепления заготовки на спутнике тарельчатыми пружинами

гидроцилиндра 8. При смене заготовки шток гидроцилиндра 8 по команде выдвигается и нажимает на шток 7 гидроцилиндра 6. Масло за поршнем гидроцилиндра 6 вытесняется в гидроцилиндры 4. Поршни и штоки гидроцилиндров 4, преодолевая сопротивление тарельчатых пружин, перемещаются внутрь гидроцилиндров, освобождая заготовку 1. После снятия обработанной заготовки и установки на ее место новой давление в гидроцилиндре 8 снижается и тарельчатые пружины 5 закрепляют заготовку.



На рис. 2.61 показана принципиальная схема закрепления заготовки с помощью гидравлических прихватов. Давление масла на спутнике создается гидроцилиндром 1, поршень 2 которого перемещается при вращении ходового винта 3, на котором он установлен. Под действием давления масла штоки 4 гидроцилиндров 5 прижимают заготовку 6 к установочным элементам 7 спутника 8. Привод винта 3 гидроцилиндра 1, расположенного на спутнике, осуществляется через торцовую муфту 9 с помощью внешнего приводного устройства, входящего в зацепление с муфтой 9 на позиции разгрузки-выгрузки спутника.

Созданное гидроцилиндром 1 давление масла в гидросистеме спутника будет со временем постепенно снижаться вследствие утечек масла в зазорах, уменьшая силу закрепления заготовки. Для длительного (в течение 24 ч и более) закрепления заготовки на спутнике нужно поддерживать давление масла в гидросистеме, компенсируя утечки. Это обеспечивается в гидросистеме с помощью гидроаккумулятора 10. Поршень гидроаккумулятора подпружинен. При перемещении поршня 2 гидроцилиндра 1, создающего давление в гидросистеме спутника, поршень аккумулятора 10 смещается вправо, сжимая пружину. В дальнейшем утечки масла компенсируются благодаря тому, что масло из гидроаккумулятора поступает в гидросистему.

Преимущества гидросистем, закрепляющих заготовки на спутниках, следующие: большая сила закрепления, возможность закрепить заготовку в нескольких местах с одинаковой силой, большая гибкость,

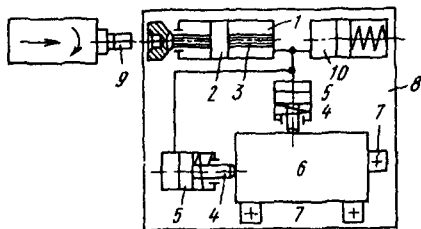


Рис. 2.61. Схема закрепления заготовки на спутнике с помощью гидравлических приватов

чем у механического закрепления (по типу рис. 2.59). Преимущества закрепления с использованием тарельчатых пружин следующие: стабильность силы закрепления,

способствующая стабильным контактным и собственным деформациям и снижению поля рассеяния размера установки заготовок на спутник, и высокая надежность, исключая самопроизвольное открепление заготовки или снижение силы закрепления.

Для автоматического закрепления заготовок на спутниках помимо описанных могут использоваться и различные другие принципы, а также механизмы и системы, их реализующие. Возможно, например, приклеивание заготовки на время обработки к спутнику, заливка пластмассой, закрепление магнитом и др.

Автоматически установить заготовку на спутник удастся только, если в процессе установки будут обеспечены условия собираемости заготовки со спутником. Для этого необходимо обеспечить определенные установочные размерные связи в системе спутник—робот—заготовка, в которые входят в том числе координаты позиционирования робота с заготовкой, размеры, определяющие положение спутника во время установки заготовки.

Для автоматического закрепления заготовки на спутнике нужно в момент закрепления обеспечивать соосность шпинделя 5 (см. рис. 2.59) и гнезда 6 спутника. В противном случае шпиндель 5 не может взаимодействовать с гнездом 6 муфты и губки 1 и 2 не будут автоматически работать. Для соосности гнезда и шпинделя в пределах требуемого допуска нужно, чтобы у всех спутников в данной ГПС гнезда находились на одной и той же высоте от основания спутника. Допуск на этот размер может быть рассчитан по формулам для расчета размерных цепей.

При ручной установке заготовок на спутники нет необходимости в рассмотрении и расчете размерных связей, но при автоматизации такой расчет необходим.

Для того чтобы установить заготовку на спутник, необходимо выполнить автоматически определенную последовательность действий. Робот должен ввести заготовку в тиски спутника, затем тиски на спутнике зажимают и после этого разжимают захват робота. Определение последовательности и расчет продолжительности действий требует рассмотрения взаимодействия процессов во времени.

Для осуществления требуемого взаимодействия процессов нужна информация.

Закреплять кулачками заготовку на спутнике нужно только после того, как робот поставит заготовку в кулачки. Команда на включение привода зажима кулачков должна быть подана после получения сигнала о том, что робот поставил заготовку. Сигнал от робота должен быть передан в систему управления, в которой по получении этого сигнала должна включаться команда на включение шпинделя механизма зажима.

Таким образом, автоматизировать установку заготовки на спутник, как и любой другой процесс, можно только, если обеспечить согласование размеров, времени и информации в рассматриваемой системе устройств, реализующих автоматический процесс.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой размерные связи автоматического сборочного процесса?
2. В чем заключаются размерные связи процесса автоматического изготовления деталей в машиностроении?
3. Как выбрать способ транспортирования деталей на сборку — в ориентированном или неориентированном положении? Какая информация для этого необходима?
4. Какие факторы влияют на выбор способа ориентирования деталей?
5. Каким образом может повлиять на конструкцию изделия решение собирать изделия автоматически?
6. В каких случаях может потребоваться повышение параметров точности изготовления детали, предназначенной для автоматической сборки по сравнению с параметрами точности, определенными исходя из ее служебного назначения?

Глава 3. Основы проектирования временных связей автоматизированных производственных процессов

3.1. Цель и задачи построения временных связей процесса

Основные функции ГПС и ее основного элемента ГПМ следующие: механическая обработка заготовок; загрузка заготовок и выгрузка деталей с основного и вспомогательного оборудования; подача заготовок и деталей на позиции загрузки-выгрузки; складирование и накопление заготовок и деталей; контроль качества деталей; контроль состояния элементов ГПС; контроль выполнения технологических процессов; управление технологическим процессом, материальными и информационными потоками; обеспечение станочной, контрольной и вспомогательной оснасткой; диспетчирование материальных и информационных потоков; связь с верхними уровнями управления; удаление отходов.

Несмотря на разнообразие, можно выделить три основные компоновки, характеризующиеся типом применяемого устройства манипулирования (УМ) заготовкой и его расположением относительно рабочей зоны основного оборудования (рис. 3.1). Первый тип компоновок ГПМ (рис. 3.1, а) строят на базе токарного станка ЧПУ с магазином инструментов и УМ портального типа с расположением портала параллельно оси вращения шпинделя станка. Такая линейная компоновка оправдала себя на практике как наиболее компактная и наиболее доступная для технического обслуживания. В настоящее время приблизительно 70 — 80 % всех ГПМ для токарной обработки строят по такой схеме.

Второй тип компоновок (рис. 3.1, б) характеризуется применением УМ портального типа, работающих в прямоугольной пространственной системе координат. Такая схема характеризуется максимальным удобством с точки зрения размещения периферийного оборудования, обслуживаемого УМ (накопители, позиции контроля и др.), а также меньшими временами обслуживания вследствие меньших перемещений по сравнению с перемещениями при линейной

Рис. 3.1. Типовые компоновки ГПМ для токарной обработки:

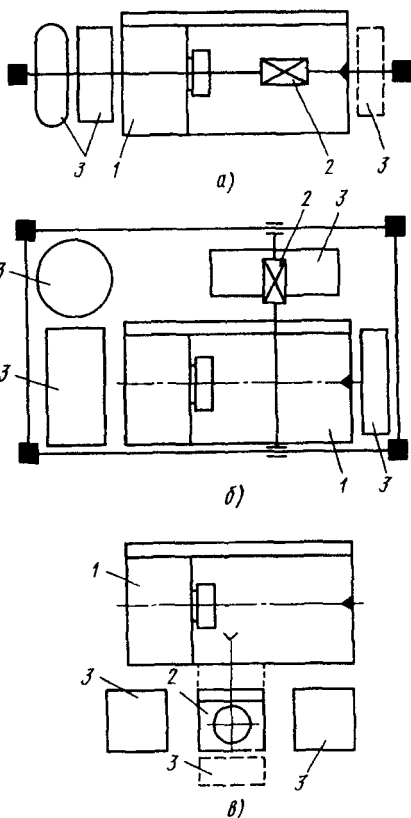
1 — токарный станок с ЧПУ; 2 — манипулятор; 3 — периферийное оборудование

компоновке. К недостаткам такой схемы относятся большая стоимость ГПМ за счет увеличения стоимости УМ и увеличение занимаемых площадей.

Третий тип компоновок (рис. 3.1, в) характеризуется применением напольных или встроенных УМ, расположенных перед рабочей зоной многоцелевого станка (МС).

Укрупненный анализ структур ГПС показывает, что разнообразие их компоновок определяется типом применяемой автоматической транспортно-складской системы (АТСС) и относительным расположением ГПМ и транспортного пути, что определяет схему обслуживания ГПМ и складского хозяйства транспортными средствами. Исходя из этого выделяют три основные компоновки: линейную (рис. 3.2, а), кольцевую (рис. 3.2, б), сетевую (рис. 3.2, в).

Состав оборудования для систем ГПС следующий: 1) система обработки, включающая ГПМ и станки с ЧПУ; 2) транспортная система, включающая: транспортный путь (гибкий или "жесткий" путевод), транспортные средства (роботизированные тележки, портальные или подвесные манипуляторы, спутники), позиции и станции перегрузки и ориентации палет и спутников; 3) система складирования, включающая: склады заготовок и деталей, склады технологической оснастки, склады инструмента, промежуточные (буферные) накопители; 4) система контроля, включающая: устройства контроля и контрольно-измерительные машины (КИМ), позиции контроля и подготовки инструмента; 5) система управления, включающая: центральную ЭВМ (ЭВМ управления ГПС), системное обеспечение управлением, базу данных управляющих программ, программное



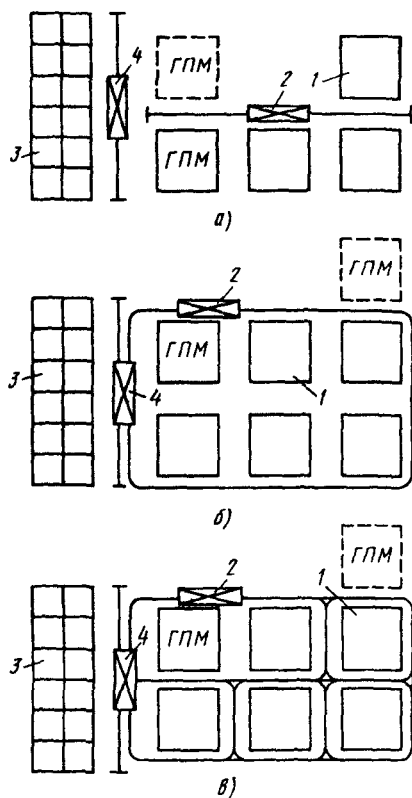


Рис. 3.2. Типовые компоновки токарных ГПС:

1 — ГПС; 2 — транспортное средство; 3 — склад; 4 — штабелер склада

обеспечение диспетчирования и планирования, программное обеспечение диагностики оборудования и хода технологического процесса; б) система ликвидации отходов, включающая моечные станции, машины для снятия заусенцев, конвейер для уборки стружки.

Наиболее часто применяют линейную и кольцевую (см. рис. 3.2, а, б), но в связи с развитием АТСС, в которых применяют безрельсовые роботизированные тележки, все большее предпочтение отдается сетевым схемам.

Понятие временных связей применительно к ГПС с широким диапазоном номенклатуры изготавливаемых деталей определяют при помощи загрузки оборудования. Загрузка оборудования для одного и того же ГПС может колебаться в больших пределах в зависимости от партий запуска, числа и номенклатуры изготавли-

ваемых деталей. Понятие производительности, измеряемой в штуках в единицу времени, применимо к однономенклатурному производству.

Потери непроизводительного времени в ГПС и ГПС составляют 7 — 40 % общего фонда времени работы в одну или две смены. При этом размеры партий менее 40—60 шт. существенно снижают производительность и экономичность ГПС. Как правило, оптимальное число деталей в партии следующее: для ГПС — 50 — 500, для ГПС (типа ГАУ) — 500 — 2000. Наиболее экономически оправданными являются партии, соответствующие верхним границам приведенных диапазонов. При нижних границах эффективность ГПС значительно уменьшается вследствие того, что увеличивается доля непроизводительного времени, затрачиваемого на переналадку оборудования, транспортирование заготовок и деталей и другие организационные потери. Наиболее значительны потери времени в мелкосерийном производстве, поскольку они соизмеримы со временем загрузки оборудования. Кроме того, здесь уже не могут использоваться такие

методы устранения диспропорций в загрузке оборудования, как задействование дополнительных единиц оборудования и создание межоперационных заделов, что широко применяется в крупносерийном и массовом производстве.

Рассмотрим более детально структуру непроизводительного времени, а именно — время, затрачиваемое на переналадку в ГПМ, и время простоев оборудования. Все время, связанное с переналадкой оборудования, выражается в виде подготовительно-заключительного времени $t_{п.зи}$ на одну деталь в штучно-калькуляционном времени $t_i = t_{п.зи}/A_i + t_{ши}$, где A_i — величина партии запуска i -го наименования. Здесь $t_{п.зи}$ — для станков с ЧПУ и ГПМ определяют по формуле $t_{п.зи} = t_{пи} + t_{орги} + t_{п.ои}$, где $t_{пи}$ — время переналадки станка и технологической оснастки; $t_{орги}$ — время получения и сдачи заготовок и технологической оснастки, ознакомление с чертежом; $t_{п.ои}$ — время пробной обработки первой заготовки. Время переналадки $t_{пи} = t_{ки} + N_{ини}t_{ини} + S_{pi}t_{pi}$, где $t_{ки}$, $t_{ини}$, t_{pi} — время соответственно переналадки крепежной оснастки, замены одного инструментального блока, расточки кулачков; $N_{ини}$, S_{pi} — число соответственно заменяемых инструментальных блоков и расточек кулачков (булева переменная).

В ГПМ, имеющем значительное количество периферийного оборудования, каждая подсистема претерпевает изменения при переходе к изготовлению другой детали (рис. 3.3). Изменения эти заключаются в установке требуемых для обработки какой-либо i -й партии заготовок, инструментов, патронной или центральной оснастки, управляющих программ, захватов ПР, в регулировке упоров и установке диапазонов регулирования параметров элементов. При этом конкретная операция переналадки может содержать в себе такие операции, как поиск, выдачу и транспортирование необходимой оснастки в зону ГПМ. Сумму времени на всех операциях переналадок в i -м ГПМ можно

представить следующим образом: $t_{пи} = \sum_{j=1}^n t_{пij}$, где n — число подсистем ГПМ, требующих переналадки; $t_{пij}$ — время переналадки j -го элемента или подсистемы в i -м ГПМ (инструментальной головки, патронной оснастки и т.п.).

Наличие переналадки означает несоответствие установленной оснастки, параметров и диапазонов регулирования параметров элементов оборудования в ГПМ тому составу оснастки, параметрам и диапазонам регулирования, которые требуются для обработки той или иной партии заготовок. Рост числа и времени переналадок означает снижение гибкости системы. С целью повышения универсальности и гибкости технологических систем большинство современных элементов ГПМ имеют расширенные функциональные возможности.

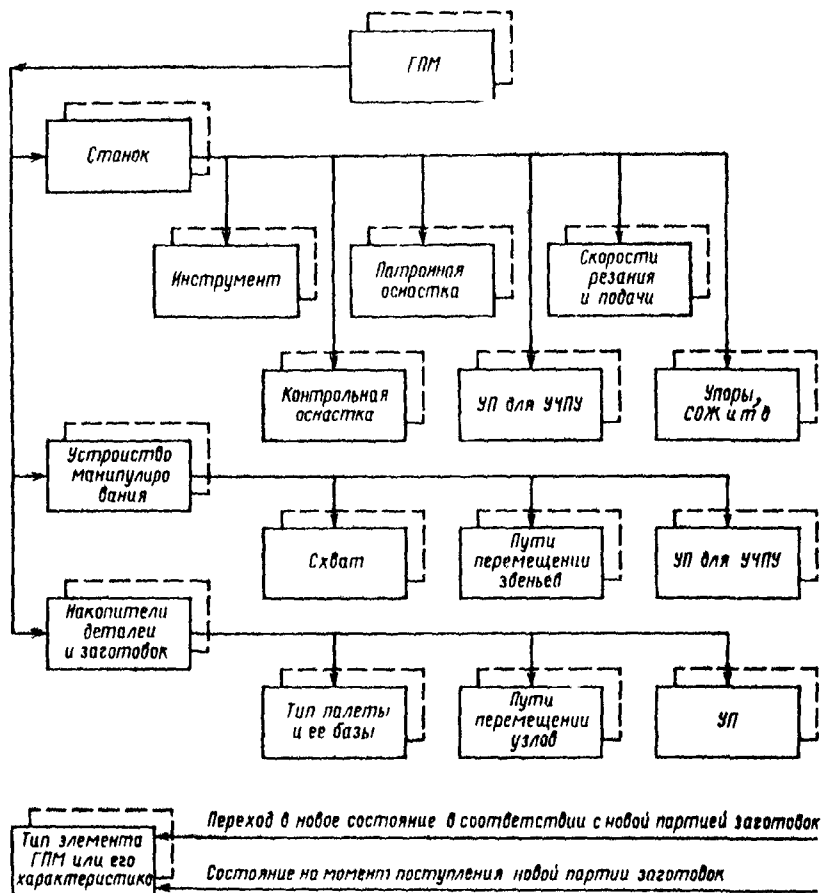


Рис. 3.3. Схема изменения состояния ГПМ, его элементов и характеристик при поступлении заготовки нового вида

Непроизводительные потери времени в ГПС, обусловленные простоями каждого i -го ГПМ, без учета времени его переналадок, можно представить в следующем виде:

$$t_{oi} = t_{oci} + t_{oc ti} \quad (3.1)$$

где t_{oci} — время простоя i -го ГПМ вследствие рассогласования работы модулей в ГПС или нерационально составленного расписания; $t_{oc ti}$ — время простоя ГПМ, обусловленное наличием операции транспо-

ртировки (обработка ожидаемой партии заготовок на предыдущем ГПМ завершена, но партия заготовок в данный момент находится в процессе транспортирования).

Оба этих слагаемых в (3.1) являются непостоянными величинами и зависят от организации расписания. Величина $t_{пi}$, как мы уже отметили выше, также не является постоянной величиной. Поскольку целью является сокращение непроизводительных отрезков времени и повышение за счет этого загрузки ГПС, а значит и каждого ГПМ, то необходимо $t_{пi}$, $t_{осi}$ и $t_{ос ti}$ рассматривать в совокупности со всеми временами, т.е. в общей временной структуре ГПМ. Тогда подобную структуру можно выразить в виде времени занятости ГПМ, приходящегося на j -ую партию заготовок:

$$t_{ГПМi} = f\left(t_{осij}^1, t_{ос tij}^1, t_{пij}^1, t_{з pi}^1, t_{оргиj}^1, t_{т cij}^1, t_{yij}^1, t_{mij}^1, t_{kij}^1, t_{сij}^1, t_{oi}^1, t_{p pi}^1\right), \quad (3.2)$$

где $t_{з pi}^1$ — время загрузки партии деталей в ГПМ; $t_{оргиj}^1$ — время организационного обслуживания i -го ГПМ для изготовления партии деталей j -го наименования; $t_{т cij}^1$ — время настройки технологической системы i -го ГПМ; t_{yij}^1 — время установки заготовок манипулятором на станок; t_{mij}^1 — время обработки заготовки на станке (время обработки УП); t_{kij}^1 — время контроля заготовки (детали) в ГПМ; $t_{сij}^1$ — время съема заготовки (детали) манипулятором со станка; t_{oi}^1 — время отдыха оператора на i -м ГПМ; $t_{p pi}^1$ — время разгрузки партии заготовок (деталей) в i -м ГПМ. Индекс "1" означает, что эта величина пересчитывается на одну партию заготовок (деталеоперацию).

На рис. 3.4 приведена циклограмма работы ГПМ по временной структуре (3.2). Из всех составляющих только величины $t_{осi}$, $t_{ос ti}$ и $t_{пi}$ являются в (3.2) переменными величинами и благодаря их сокращению до определенного минимума, как показано в верхней части циклограммы, можно повысить загрузку ГПМ. Все остальные времена в (3.2) не зависят от характера расписания и процесса переналадок, могут быть нормируемы, зависят от технических и конструктивных характеристик элементов ГПМ и не зависят от организации процесса. Подобное выделение $t_{пi}$ как переменной величины во временной

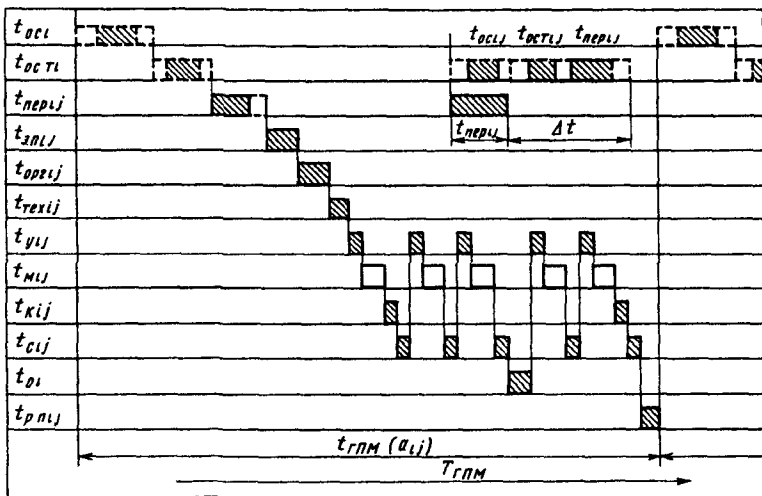


Рис. 3.4. Циклограмма работы ГПМ

структуре ГПМ $t_{ГПМi}$ говорит о связности ее с временной структурой расписания ГПС, где $t_{ГПМi}$ характеризует продолжительность отдельных работ.

Поскольку параметрами любого расписания θ являются обслуживающие устройства, отдельные работы, интервал расписания во времени, а также потери времени, то для ГПС можно представить следующую структуру расписания: $\theta_{ГПС}\{[\tau_n, \tau_k]; N(1, n); \bar{t}_{ГПМi}; t_{oc1}; t_{oc2}; t_{п1}\}$, где $[\tau_n, \tau_k]$ — интервал времени планирования между началом τ_n и концом плана — τ_k ; N — множество ГПМ в ГПС; $t_{ГПМi}$ — время занятости i -го ГПМ над партией заготовок.

3.2. Виды взаимодействий процессов во времени

Для раскрытия сущности взаимодействия процессов во времени рассмотрим следующую задачу. Допустим, что на участке с n станками необходимо изготовить a наименований деталей по b_ϕ штук. При этом будем считать, что ϕ -я деталь на рассматриваемом участке может быть изготовлена по α_ϕ маршрутам. Это формально можно записать следующим образом:

$$D_1 = \begin{cases} (t_1^{1,1}, C_1^{1,1}), (t_2^{1,1}, C_2^{1,1}), \dots, (t_{\beta_1^1}^{1,1}, C_{\beta_1^1}^{1,1}); \\ (t_1^{1,2}, C_1^{1,2}), (t_2^{1,2}, C_2^{1,2}), \dots, (t_{\beta_1^2}^{1,2}, C_{\beta_1^2}^{1,2}); \\ (t_1^{1,\alpha_1}, C_1^{1,\alpha_1}), (t_2^{1,\alpha_1}, C_2^{1,\alpha_1}), \dots, (t_{\beta_1^{\alpha_1}}^{1,\alpha_1}, C_{\beta_1^{\alpha_1}}^{1,\alpha_1}); \end{cases}$$

$$D_\varphi = \begin{cases} (t_1^{\varphi,1}, C_1^{\varphi,1}), (t_2^{\varphi,1}, C_2^{\varphi,1}), \dots, (t_{\beta_\varphi^1}^{\varphi,1}, C_{\beta_\varphi^1}^{\varphi,1}); \\ (t_1^{\varphi,2}, C_1^{\varphi,2}), (t_2^{\varphi,2}, C_2^{\varphi,2}), \dots, (t_{\beta_\varphi^2}^{\varphi,2}, C_{\beta_\varphi^2}^{\varphi,2}); \\ (t_1^{\varphi,\alpha_\varphi}, C_1^{\varphi,\alpha_\varphi}), (t_2^{\varphi,\alpha_\varphi}, C_2^{\varphi,\alpha_\varphi}), \dots, (t_{\beta_\varphi^{\alpha_\varphi}}^{\varphi,\alpha_\varphi}, C_{\beta_\varphi^{\alpha_\varphi}}^{\varphi,\alpha_\varphi}); \end{cases}$$

$$D = \begin{cases} (t_1^{a,1}, C_1^{a,1}), (t_2^{a,1}, C_2^{a,1}), \dots, (t_{\beta_a^1}^{a,1}, C_{\beta_a^1}^{a,1}); \\ (t_1^{a,2}, C_1^{a,2}), (t_2^{a,2}, C_2^{a,2}), \dots, (t_{\beta_a^2}^{a,2}, C_{\beta_a^2}^{a,2}); \\ (t_1^{a,\alpha_a}, C_1^{a,\alpha_a}), (t_2^{a,\alpha_a}, C_2^{a,\alpha_a}), \dots, (t_{\beta_a^{\alpha_a}}^{a,\alpha_a}, C_{\beta_a^{\alpha_a}}^{a,\alpha_a}); \end{cases}$$

где D_φ — номер φ -й детали; $t_i^{\varphi,j}$ — штучное время обработки φ -й заготовки на i -й операции при j -м маршруте обработки; α_φ — число маршрутов обработки φ -й заготовки; $C_i^{\varphi,j}$ — номер станка (ГПМ), на котором (которой) необходимо выполнить i -ю операцию при обработ-

ке φ -й заготовки по j -му маршруту; β_{φ}^j — число операций для обработки φ -й заготовки по j -му маршруту; a — число или номенклатура изготавливаемых деталей.

Взаимодействие процессов во времени происходит при обработке заготовок на заданном участке. При этом временные связи должны быть спроектированы так, чтобы обеспечить минимальное время выполнения всего задания (T_3) за планируемый период ($T_{пл}$). Если считать, что для выполнения каждой операции необходимое число заготовок имеется на центральном складе, то проектирование соответствующих временных связей будет сводиться к решению следующей задачи.

Необходимо распределить обработку заготовок между станками таким образом, чтобы максимизировать суммарную недозагрузку станков, т.е. минимизировать:

$$Z = \sum_{\varepsilon=1}^n (T_{\varepsilon} - y_{\varepsilon}), \quad (3.3)$$

где T_{ε} — фонд времени станка ε за планируемый период T ; y_{ε} — загрузка ε -го станка.

Если принять, что число φ -х заготовок, обрабатываемых по j -му маршруту, равно $x_{\varphi,j}$, то ограничения по фонду времени работы станков и по программе выпуска деталей запишутся в следующем виде:

$$\sum_{\varphi=1}^a \sum_{j=1}^{\alpha_{\varphi}} \sum_{i=1}^{\beta_{\varphi}^j} t_i^{\varphi,i} x_{\varphi,j} v_{i,\varepsilon} + t_{\varepsilon} = T_{\varepsilon};$$

$$v_{i,\varepsilon} = \begin{cases} 1, & \text{если } C_i^{\varphi,j} = \varepsilon, \\ 0, & \text{если } C_i^{\varphi,j} \neq \varepsilon; \end{cases} \quad \varepsilon = 1, 2, \dots, n, \quad (3.4)$$

$$\sum_{j=1}^{\alpha_{\varphi}} x_{\varphi,j} = b_{\varphi}; \quad \varphi = 1, 2, \dots, a; \quad x_{\varphi,j} > 0; \quad t_{\varepsilon} \geq 0,$$

где b_φ — программа выпуска для φ -й детали; t_ε — недогрузка ε -го станка (ГПМ).

Целевая функция проектирования (3.3) с учетом величин t_ε запишется в следующем виде: минимизировать $Z = \sum_{\varepsilon=1}^n t_\varepsilon$.

Решив поставленную задачу, можно определить для каждого станка состав обрабатываемых заготовок и затраты времени на их изготовление, т.е.

$$\begin{aligned}
 C_1 &\approx \left\{ t^{\varphi_{1,1}} \bar{x}_{\varphi_{1,1}}; t^{\varphi_{1,2}} \bar{x}_{\varphi_{1,2}}; \dots; t^{\varphi_{1,k_1}} \bar{x}_{\varphi_{1,k_1}} \right\}; \\
 C_2 &\approx \left\{ t^{\varphi_{2,1}} \bar{x}_{\varphi_{2,1}}; t^{\varphi_{2,2}} \bar{x}_{\varphi_{2,2}}; \dots; t^{\varphi_{2,k_2}} \bar{x}_{\varphi_{2,k_2}} \right\}; \\
 C_n &\approx \left\{ t^{\varphi_{n,1}} \bar{x}_{\varphi_{n,1}}; t^{\varphi_{n,2}} \bar{x}_{\varphi_{n,2}}; \dots; t^{\varphi_{n,k_n}} \bar{x}_{\varphi_{n,k_n}} \right\}.
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

На основе (3.5) можно составить временную диаграмму работы каждого станка в виде последовательной размерной цепи, где замыкающим звеном является время загрузки станка y_φ (рис. 3.5). Поэтому работу отдельно взятого станка за планируемый период можно рассматривать как замыкающее звено последовательной цепи, которая будет определяться как сумма составляющих звеньев, т.е.

$$y_i = \sum_{j=1}^{k_i} t^{\varphi_{i,j}} x_{\varphi_{i,j}}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \tag{3.6}$$

Рассмотрим временные связи для всего участка. Если считать, что отдельные элементы функционально не связаны между собой, то временные связи для всего участка являются параллельными звеньями и замыкающее звено, равное моменту окончания планового задания, будет определяться по следующей формуле:

$$y = \max_{i=1,2,\dots,n} \left\{ (t_{ni} + y_i) \right\}, \tag{3.7}$$

где t_{ni} — момент начала работы i -го элемента участка; y_i — время загрузки i -го элемента участка.

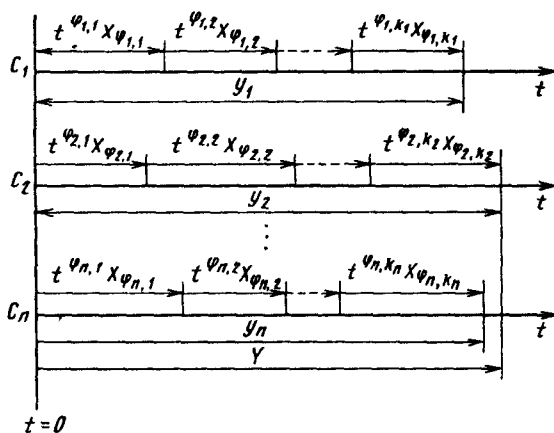
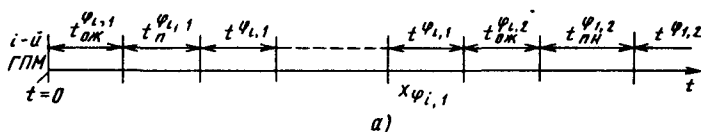


Рис. 3.5. Временная диаграмма работы участка

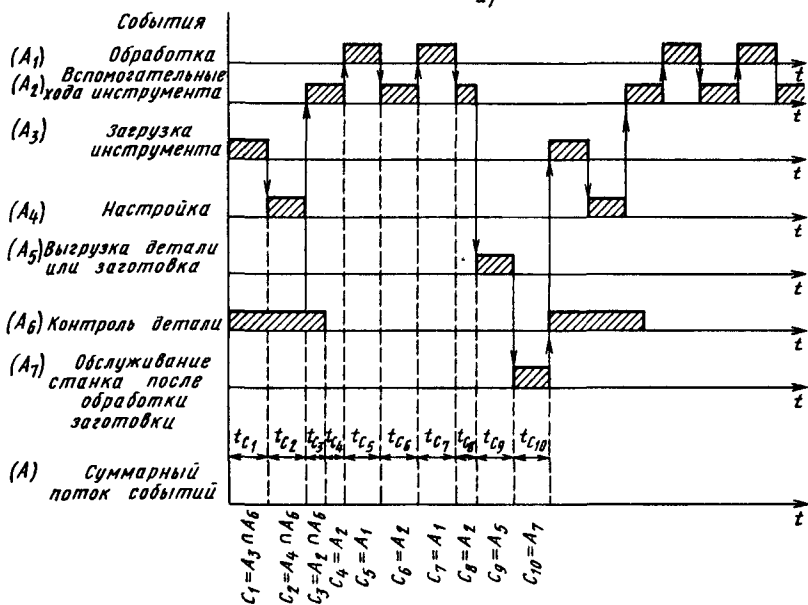
В формуле (3.7) величины t_{hi} ($i = 1, 2, \dots, n$) не могут быть определены из математической модели (3.4), так как в этих ограничениях они не представлены. Величины t_{hi} могут быть определены с учетом состояния станков участка на начало реализации производственного процесса в планируемом периоде.

По сравнению с размерными цепями во временных цепях в качестве составляющих звеньев рассматривают длительности отдельных событий. При этом, если события некоторого процесса несовместимы, то длительности этих событий составляют последовательную временную цепь, и замыкающее звено рассчитывается по формуле (3.6). Если же события некоторого процесса совместимы, то длительности событий составляют параллельную временную цепь и замыкающее звено определяется по формуле (3.7), где величины t_{hi} интерпретируются как момент начала реализации соответствующего события. Для временной диаграммы, приведенной на рис. 3.5, моменты начала работы станков приняты равными нулю, т.е. $t_{hi} = 0$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Рассмотрим работу отдельно взятого станка или ГПМ, временная диаграмма работы которого приведена на рис. 3.6. Временные связи работы ГПМ непосредственно зависят от структурного состава штучного времени обработки заготовок и уровня автоматизации ГПМ. Как известно, структурный состав штучного времени следующий: длительность событий обработки; вспомогательные перемещения инструмента; загрузка заготовки в зону обработки; выгрузка детали; контроль детали после обработки; обслуживание станка после обработки заготовки; настройка станка; загрузка партии заготовок; выгрузка партии деталей; ожидание начала обработки партией заготовок и т.д.



а)



б)

Рис. 3.6. Возможная циклограмма работы ГПМ:

а — обработка заготовок партиями на ГПМ; б — временная связь работы ГПМ в автоматическом режиме

Если анализировать работу ГПМ при обработке партии заготовок, то, как следует из рис. 3.6, события являются несовместимыми во времени, и для этого случая загрузка определяется по формуле $t_i =$

$$= \sum_{j=1}^m \left(t_{\text{ож}}^{\varphi_{i,j}} + t_{\text{пн}}^{\varphi_{i,j}} + \sum_{k=1}^{x_{\varphi_{i,j}}} t_{\varphi_{i,j,k}} \right), \text{ где } m \text{ — номенклатура деталей; } t_{\text{ож}}^{\varphi_{i,j}} \text{ —}$$

время ожидания i -м ГПМ начала обработки φ_j -й заготовки; $t_{\text{пн}}^{\varphi_{i,j}}$ — время переналадки i -го ГПМ для обработки партии φ_j -х заготовок;

$t^{\varphi_i, j, k}$ — время обработки k -й заготовки из φ_j -й партии на i -м ГПМ;
 x_{φ_j} — число заготовок в φ_j -й партии.

Анализ циклограммы работы ГПМ при обработке одной заготовки (рис. 3.6, б) показывает, что структура временных связей является параллельно-последовательной. Отдельные движения могут совмещаться во времени. Поэтому расчет таких временных связей вызывает определенные трудности. Для решения этой задачи целесообразно формировать суммарный поток несовместимых событий, а затем для такого потока событий использовать формулу (3.6). Например, для частной циклограммы работы ГПМ (см. рис. 3.6, б) можно записать

$t_{ц} = \sum_{i=1}^{10} t_{c_i}$, где $t_{ц}$ — длительность цикла обработки одной заготовки;
 t_{c_i} — длительность C_i -го несовместимого события.

3.3. Нестабильность затрат времени на выполнение процессов

Как было отмечено, временные связи при реализации производственного процесса проявляются в виде реализации организационно-управленческих и технологических событий во времени. Длительность каждого такого события можно рассматривать как случайное число. Основными числовыми характеристиками случайного числа являются математическое ожидание (номинал) и среднеквадратическое отклонение. Если временная связь реализуется в виде последовательности несовместимых событий (C_1, C_2, \dots, C_n), то длительность процесса, реализуемого этими событиями, будет определяться по формуле

$$t_c = \sum_{i=1}^n t_{c_i}, \quad (3.8)$$

где t_c — длительность объединенного события $C = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_n$;
 t_{c_i} — длительность события C_i .

В случае независимости событий C можно определить числовые характеристики объединенного события на основе известных теорем теории вероятностей.

Теорема 1. Математическое ожидание суммы независимых случайных чисел равно сумме математических ожиданий составляющих случайных чисел.

Теорема 2. Дисперсия суммы независимых случайных чисел равна сумме дисперсий составляющих случайных чисел.

На основе этих двух теорем и формулы (3.8) можно записать

$$M[t_c] = \sum_{i=1}^n M[t_{c_i}] \text{ и } D[t_c] = \sum_{i=1}^n D[t_{c_i}],$$

где $M[t_{c_i}]$ — математическое ожидание длительности события C_i ;
 $D[t_{c_i}]$ — дисперсия длительности события C_i .

Нестабильность длительности составляющих событий обусловлена следующими факторами: нестабильностью организационных мероприятий; нестабильностью выходных параметров источников энергии и т.д.

Остановимся на вопросе оценки нестабильности временных связей под действием перечисленных факторов. Значимость фактора нестабильности выходных параметров источников энергии по сравнению с другими факторами мала. Поэтому его влияние можно уменьшить путем стабилизации параметров источников энергии.

Нестабильность (потери) организационных мероприятий, влияющая на загрузку оборудования, минимизируется благодаря оптимизации составления расписания работы участка с учетом маршрута и трудоемкости обработки заготовок.

Вопрос оценки надежности отдельных элементов системы необходимо рассматривать для нестационарных и стационарных расписаний работы системы. Стационарным расписанием называют такую организацию работы системы, при которой работа отдельных ГПМ циклически повторяется за планируемый период $T_{п}$. Такая организация работы осуществляется обычно в средне- и крупносерийном производстве. Такое определение стационарного расписания позволяет характеризовать производственный процесс математическим ожиданием длительности цикла повторения. Такой подход широко используют при анализе производительности автоматических и поточных линий. Временная диаграмма такой организации производственного процесса показана на рис. 3.7, а, определение математического ожидания длительности цикла повторения стационарных расписаний базируется на теории восстановления.

Нестационарным расписанием называют такую организацию работы системы, при которой за планируемый период работа отдельных ГПМ циклически не повторяется (рис. 3.7, б). Анализ работы такого участка основан на теории невозстанавливаемых систем.

Для анализа производственного процесса с нестационарным расписанием задача ставится следующим образом: для обеспечения задан-

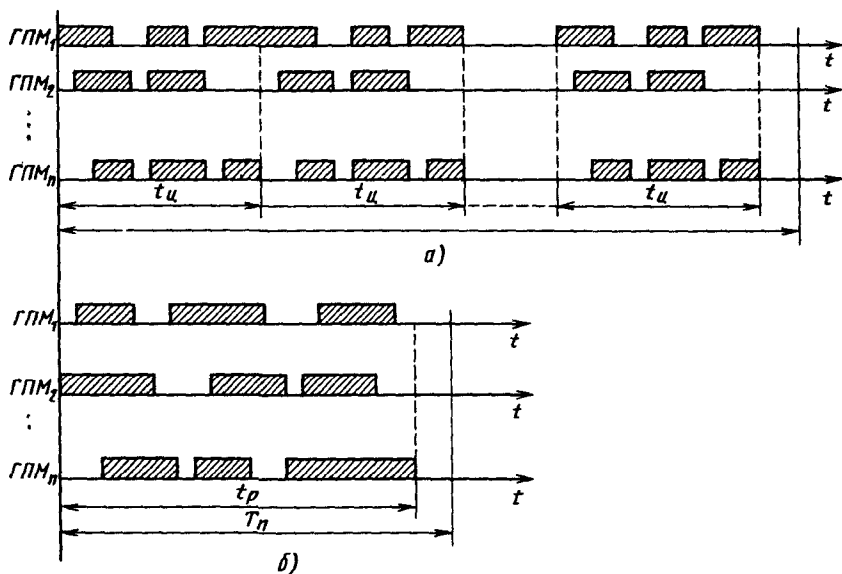


Рис. 3.7 Временная диаграмма организации работы автоматизированного участка: а — стационарное расписание; б — нестационарное расписание; t_u — длительность цикла повторения

ного уровня вероятности $P(t_p)$ выполнения расписания необходимо определить уровень надежности отдельных элементов системы $P_i(t_{c_i})$.

Если временная связь работы отдельных элементов (ГПМ) определяется по (3.7), то можно записать $P_{\text{ГПМ}_i, c}(t_p) \geq P(t_p)$, где $P_{\text{ГПМ}_i, c}(t_p)$ — вероятность того, что i -й ГПМ не откажет в течение времени t_p (длительность работы ГПМ за планируемый период).

Если за время t_p для i -й ГПМ реализуется n несовместимых событий, каждое длительностью t_j , то можно записать

$$P_{\text{ГПМ}_i}(t_p) = P_{c_1}(t_1)P_{c_2}(t_2)\dots P_{c_n}(t_n) \geq P(t_p), \quad (3.9)$$

где $P_{c_i}(t_i)$ — вероятность реализации события C_i за время t_i .

Из (3.9) можно определить вероятность реализации событий C_i только при допущении о том, что эти события равновероятны, т.е. при $P_{c_1}(t_1) = P_{c_2}(t_2) = \dots = P_{c_n}(t_n) = P$. При таком допущении согласно (3.9) $P^n \geq P(t_p)$ или $P \geq (P(t_p))^{1/n}$.

Исходя из известного значения P и конкретного закона распределения длительности отдельных событий C_i , можно добиться, чтобы условие (3.9) было удовлетворено и тем самым решить поставленную задачу.

3.4. Надежность процессов и оборудования

Основные термины и понятия теории надежности

Безотказность — свойство устройства сохранять работоспособность в течение заданного интервала времени при определенных условиях эксплуатации.

Вероятность отказа — вероятность того, что в течение заданного интервала времени работы при определенных условиях эксплуатации возникнет хотя бы один отказ устройства.

Внезапный отказ — отказ, возникший в результате скачкообразного изменения значений одного или нескольких основных параметров устройства.

Восстанавливаемое устройство — устройство, работа которого после отказа может быть возобновлена в результате проведения необходимых восстановительных работ.

Время восстановления — продолжительность перерыва в работе восстанавливаемого устройства при устранении отказа.

Время безотказной работы — время, в течение которого устройство, выполняя свои функции, безотказно работает.

Наработка до отказа — случайный интервал времени с момента окончания очередного восстановления и начала работы устройства до следующего отказа.

Интенсивность восстановления — условная плотность вероятности восстановления в некоторый момент при условии, что к этому моменту устройство не восстановлено.

Интенсивность отказов — условная плотность вероятности отказа устройства в некоторый момент времени при условии, что до этого момента отказа не было.

Коэффициент готовности — вероятность того, что восстанавливаемое устройство будет работоспособно в любой, произвольно выбранный момент времени в стационарном процессе функционирования.

В данном подразделе для всех показателей надежности приведены два определения — вероятностное и статистическое. Через \hat{z} обозначен статистический показатель, соответствующий аналогичному показателю z . При этом имеется в виду, что по закону больших чисел теории вероятностей всякое выборочное среднее с увеличением числа опытов N сходится к математическому ожиданию соответствующей случайной величины, т.е. для всякого сколь угодно малого ε выполняется условие

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \Phi \{ |\hat{z} - z| < \varepsilon \} = 1.$$

Рассмотрим основные показатели надежности.

1. Вероятность безотказной работы устройства в интервале времени от 0 до t_0 .

Вероятностное определение: $P(t_0) = \Phi \{ \theta \geq t_0 \} = 1 - F(t_0)$, где $P(t_0)$ — вероятность того, что устройство проработает безотказно в течение требуемого интервала времени t_0 , начав работать в момент времени $t = 0$, или вероятность того, что случайное время работы устройства до отказа окажется больше требуемого интервала времени работы; θ — случайное время безотказной работы устройства до появления отказа; $F(t_0) = \Phi \{ \theta < t_0 \}$ — функция распределения случайной величины θ .

Статистическое определение: $\hat{P}(t_0) = N(t_0)/N(0) = 1 - n(t_0)/N(0)$, где $N(t_0)$ — число реализаций, для которых время безотказной работы устройства больше t_0 ; $n(t_0)$ — число реализаций, для которых время безотказной работы устройства меньше t_0 ; $N(0)$ — общее число реализаций безотказной работы устройства.

2. Вероятность отказа устройства в интервале времени от 0 до t_0 .

Вероятностное определение: $Q(t_0) = \Phi \{ \theta < t_0 \} = F(t_0)$, где $Q(t_0)$ — вероятность того, что устройство откажет в течение требуемого интервала времени t_0 , начав работать в момент времени $t = 0$, или вероятность того, что случайное время работы устройства до отказа окажется меньше требуемого интервала времени безотказной работы t_0 .

Статистическое определение (рис. 3.8): $\hat{Q}(t_0) = n(t_0)/N(0)$.

3. Частота отказов (плотность распределения $F(t)$) устройства в момент времени t .

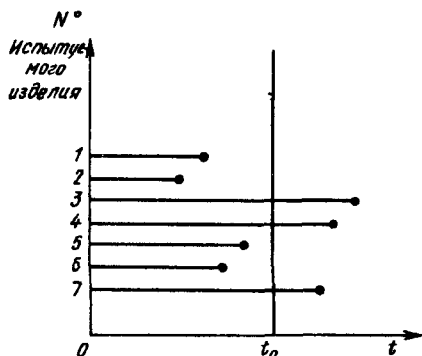


Рис. 3.8. Временная диаграмма испытаний

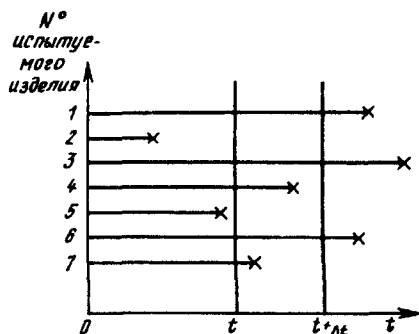


Рис. 3.9. Временная диаграмма испытаний

Вероятностное определение: $f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}$, где $f(t)$ — плотность вероятности того, что случайное время безотказной работы устройства окажется меньше t , или плотность вероятности отказа для момента времени t .

Статистическое определение (рис. 3.9): $\hat{f}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t) \Delta t}$, где $n(t + \Delta t)$ — число устройств, отказавших до момента $(t + \Delta t)$; $n(t)$ — число устройств, отказавших до момента t .

4. Интенсивность отказов устройства в момент времени t .

Вероятностное определение: $\lambda(t) = \frac{1}{1-F(t)} \frac{dF(t)}{dt} = \frac{f(t)}{P(t)}$, где $\lambda(t)$ — условная плотность вероятности отказа устройства для момента времени t при условии, что до момента времени t отказа устройства не произошло.

Используя вероятностное определение частоты отказов, получим

$$\lambda(t) = \frac{dP(t)}{P(t)dt} \text{ или } P(t_0) = \exp \left[-\int_0^{t_0} \lambda(\tau) d\tau \right].$$

Статистическое определение (рис. 3.9): $\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t) \Delta t}$, где $N(t)$ — число неотказавших устройств до момента t .

5. Интенсивность восстановления устройства в момент времени t , отсчитываемый от момента начала восстановления.

Вероятностное определение: $\mu(t) = \frac{1}{1-F_*(t)} \frac{dF_*(t)}{dt} = \frac{f_*(t)}{1-F_*(t)}$, где $\mu(t)$ — плотность условной вероятности восстановления устройства

для момента времени t , отсчитываемого от момента начала восстановления при условии, что до момента времени t восстановление устройства не произошло; $F_B(t) = \Phi\{\theta_B < t\}$ — функция распределения случайного времени восстановления устройства; $f_B(t) = \frac{dF_B(t)}{dt}$ — плотность распределения $F_B(t)$.

Статистическое определение: $\hat{\mu}(t) = (n_B(t + \Delta t) - n_B(t)) / (N_B(t) \Delta t)$, где $n_B(t + \Delta t)$ — число восстановившихся устройств до момента $(t + \Delta t)$; $n_B(t)$ — число восстановившихся устройств до момента t ; $N_B(t)$ — число невосстановившихся устройств до момента t .

б. Коэффициент готовности устройства η .

Для любых распределений времени между отказами $F(t)$ и времени восстановления $F_B(t)$, имеющих конечные средние значения соответственно T и τ , всегда выполняется следующее соотношение: $\eta = T / (T + \tau)$.

Структурные компоновки автоматических линий

Автоматическая линия (АЛ) — это система машин (комплекс основного и вспомогательного оборудования), автоматически выполняющая в определенной технологической последовательности и с заданным ритмом весь процесс изготовления или переработки продукции производства. По структурной компоновке различают следующие АЛ: однопоточные синхронного действия (рис. 3.10, а); двухучастковые однопоточные асинхронного действия (ОД АЛ) (рис. 3.10, б); однопоточные асинхронного действия (рис. 3.10, в); многопоточные многоучастковые асинхронного действия без накопителей (рис. 3.10, г); многопоточные многоучастковые АЛ асинхронного действия с накопителями (рис. 3.10, д).

Проектная производительность АЛ: $Q_{пр} = Q_k \eta_n$, где Q_k — номинальная производительность выпускающего участка; η_n — коэффициент готовности АЛ.

Существующие расчетные методы определения коэффициента готовности АЛ основаны на использовании в качестве исходных данных характеристик надежности встроенного оборудования. Анализ структурных компоновок АЛ показывает, что в качестве участка или потока могут быть использованы или отдельный станок, или же АЛ синхронного действия. В теории производительности каждый элемент характеризуется следующими основными параметрами надежности:

Рис. 3.10. Компоновки АЛ

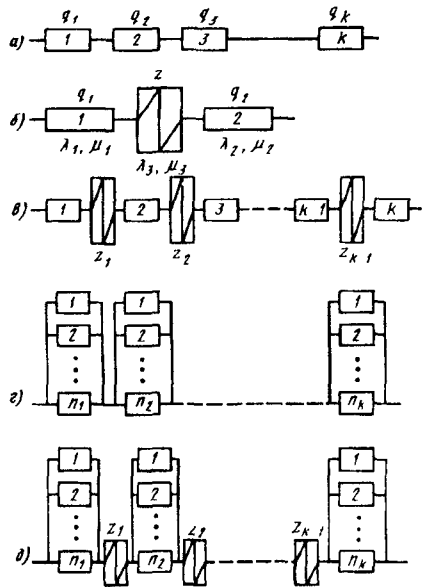
интенсивностью потока отказов

$\lambda_i = t_{pi}^{-1}$, где t_{pi} — среднее время безотказной работы i -го элемента;

интенсивностью потока восстановлений $\mu_i = t_{bi}^{-1}$, где t_{bi} — среднее время восстановления i -го элемента;

коэффициентом готовности η_i , определяющим конструктивное совершенство i -го элемента,

$\eta_i = \frac{t_{pi}}{t_{pi} + t_{bi}} = (1 + B_i)^{-1}$, где $B_i = \frac{t_{bi}}{t_{pi}}$ — внецикловые потери, представляющие собой простой, приходящиеся на единицу времени безотказной работы элемента.



Определим коэффициент готовности АЛ синхронного действия (см. рис. 3.10, а). В АЛ синхронного действия отказ любого агрегата приводит к отказу всей системы, поэтому число возможных состояний будет равно $k + 1$. Следовательно: 1-е состояние — все элементы системы работают (вероятность этого состояния P_0); 2-е состояние — 1-й элемент системы отказал, а остальные элементы работоспособны (вероятность этого состояния P_1); k -е состояние — $(k - 1)$ -й элемент системы отказал, а остальные элементы работоспособны (вероятность этого состояния P_{k-1}); $(k + 1)$ -е состояние — k -й элемент системы отказал, а остальные элементы работоспособны (вероятность этого состояния P_k).

Ориентированный граф состояний АЛ синхронного действия показан на рис. 3.11. На основании графа получают следующую систему уравнений для определения вероятностей состояний:

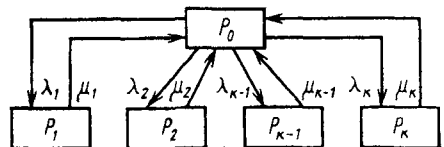


Рис. 3.11. Ориентированный граф состояний АЛ синхронного действия

$$-\mu_1 P_1 + \lambda_1 P_0 = 0; \quad (3.10)$$

$$-\mu_2 P_2 + \lambda_2 P_0 = 0;$$

.

.

.

$$-\mu_k P_k + \lambda_k P_0 = 0.$$

При этом выполняется следующее нормирующее условие: $P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k = 1$. С его учетом решение системы уравнений (3.10) запишется в виде:

$$\eta_{01} = P_0 = 1 / \left(1 + \sum_{i=1}^k \lambda_i / \mu_i \right). \quad (3.11)$$

При этом интенсивность потока отказов и интенсивность потока восстановления АЛ синхронного действия соответственно можно вычислить по следующим формулам: $\lambda_{\text{л}} = \sum_{i=1}^k \lambda_i$; $\mu_{\text{л}} = \lambda_{\text{л}} \eta_{\text{л}} / (1 - \eta_{\text{л}})$, где $\eta_{\text{л}}$ — коэффициент готовности АЛ [вычисляется по формуле (3.11)]; $\mu_{\text{л}}$ — интенсивность восстановления АЛ; $\lambda_{\text{л}}$ — интенсивность отказа АЛ.

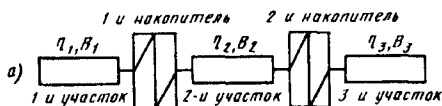
Метод расчета надежности и производительности однопоточных АЛ с накопителями

Рассмотрим алгоритм получения нижней оценки коэффициента готовности однопоточной АЛ. С этой целью проанализируем, как функционирует трехучастковая АЛ (рис. 3.12, а).

На рис. 3.12 приняты следующие обозначения: η_1, η_2, η_3 — соответственно собственные коэффициенты готовности 1, 2 и 3-го участков; B_1, B_2, B_3 — соответственно удельные потери 1, 2 и 3-го участков; $\tilde{\eta}_1, \tilde{\eta}_2, \tilde{\eta}_3$ — соответственно коэффициенты готовности 1, 2 и 3-го участков в составе АЛ.

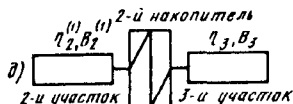
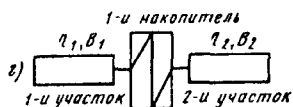
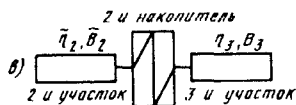
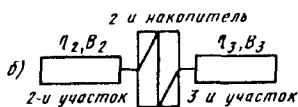
Как известно, в рассматриваемой АЛ коэффициент готовности $\eta_{\text{л}}$ линии будет равен коэффициенту готовности 3-го участка АЛ. Допус-

Рис. 3.12. Пример получения нижней и верхней оценок коэффициента готовности однопоточных АЛ



тим, что в рассматриваемой линии 1-й участок отсутствует или надежность этого участка равна единице. В этом случае коэффициент готовности рассматриваемой линии будет равен коэффициенту готовности двухучастковой линии, состоящей из 2-го и 3-го участков $\bar{\eta}_{2,3}$ (рис. 3.12, б).

Можно записать, что $\eta_{л} < \eta_{2,3}$, так как в этом случае мы не учли потери, которые в реальной системе передаются с 1-го участка на 2-й. В этом случае фонд времени 3-го участка на единицу времени работы



$$\Phi_{2,3} = 1 + B_3 + \delta_{2,3}^{(1)} B_2. \quad (3.12)$$

В действительности, для получения искомого значения коэффициента готовности всей линии нужно уменьшить надежность 2-го участка таким образом, чтобы фонд времени 3-го участка на единицу времени работы был равен искомому (рис. 3.12, в), т.е.

$$\Phi_{л} = 1 + B_3 + \bar{\delta}_{2,3} B_2. \quad (3.13)$$

Сравнив (3.12) и (3.13), получим, что $\delta_{2,3}^{(1)} B_2 < \bar{\delta}_{2,3} B_2$. Это объясняется тем, что надежность 3-го участка осталась прежней, а надежность 2-го участка стала меньше, в результате выросла вероятность простоя 3-го участка по вине 2-го участка. Для определения оценки \bar{B}_2 рассмотрим линию из 1-го и 2-го участков без учета влияния 3-го участка или надежность 3-го участка примем равной единице. В этом

случае (рис. 3.12, з) фонд времени 2-го участка на единицу времени его работы

$$\Phi_{1,2} = 1 + B_2 + \delta_{1,2}B_1. \quad (3.14)$$

В исходной системе, когда надежность 3-го участка меньше единицы, коэффициент наложения потерь $\delta_{1,2}$ будет меньше, так как это равносильно тому, что надежность 2-го участка будет несколько меньше, чем η_2 . Поэтому влияние 1-го участка на 2-й участок уменьшается, что равносильно уменьшению коэффициента наложения потерь. Следовательно, в исходной системе доля потерь 1-го участка, передаваемых на 2-й участок будет меньше, чем $\delta_{1,2}B_1$ [см. (3.14)]. Тогда $\bar{B}_2 < B_2 + \delta_{1,2}B_1$.

Теперь в исходной линии 1-й и 2-й участки заменим участком с коэффициентом готовности $\eta_2^{(1)}(1 + B_2 + \delta_{1,2}B_1)^{-1}$.

Структура такой АЛ приведена на рис. 3.12, д. Для полученной структуры фонд времени 3-го участка на единицу времени его работы $\Phi_{2,3}^{(1)} = 1 + B_3 + \delta_{2,3}^2(B_2 + \delta_{1,2}B_1)$.

Можно утверждать, что $\delta_{2,3}^{(2)} > \bar{\delta}_{2,3}$, так как $B_2 + \delta_{1,2}B_1 > \bar{B}_2$. Следовательно, $1 + B_3 + \bar{\delta}_{2,3}\bar{B}_2 < 1 + B_3 + \delta_{2,3}^{(2)}(B_2 + \delta_{1,2}B_1)$ или $\eta_{л} = (1 + B_3 + \bar{\delta}_{2,3}\bar{B}_2)^{-1} > (1 + B_3 + \delta_{2,3}^{(2)}(B_2 + \delta_{1,2}B_1))^{-1}$.

На основании полученного результата можно разработать алгоритм расчета нижней оценки коэффициента готовности для однопоточной структуры АЛ с накопителями (рис. 3.13, а). Предлагаемый метод заключается в следующем. Из всей структуры АЛ выделим 1-й и 2-й участки и вычислим коэффициент готовности этой двухучастковой АЛ. Коэффициент готовности ($\bar{\eta}_{1,2}$) узла, состоящего из 1-го и 2-го участков, на основании сделанного вывода о действии наложенных потерь будет меньше, чем коэффициент готовности этого же узла в составе АЛ ($\bar{\eta}_{1,2}$).

Теперь в исходной структуре 1-й и 2-й участки заменим одним участком с коэффициентом готовности $\bar{\eta}_{1,2}$ и объединим с 3-м участком. Для полученной двухучастковой АЛ вычислим коэффициент готовности $\bar{\eta}_{1,2,3}$, который заведомо будет меньше, чем коэффициент готовности узла (состоящего из 1, 2 и 3-го участков) в системе $\eta_{1,2,3}$. Далее 1, 2 и 3-й участки заменим одним участком с коэффициентом готовности $\bar{\eta}_{1,2,3}$ и объединим его с 4-м участком. Для полученной

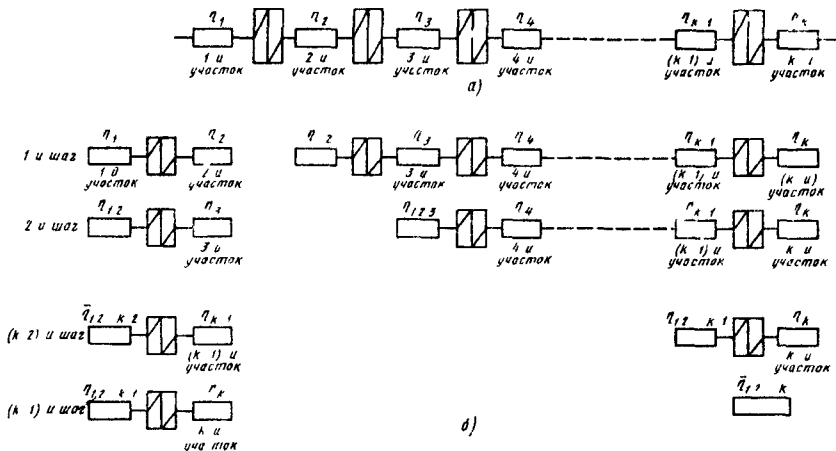


Рис. 3.13. Схема алгоритма расчета нижней оценки коэффициента готовности АЛ

двухучастковой АЛ вычислим коэффициент готовности $\bar{q}_{1,2,3,4}$, который будет меньше, чем коэффициент готовности этого узла в составе АЛ. Если этот процесс продолжить до последнего участка, то в итоге получим нижнюю оценку коэффициента готовности всей АЛ $\bar{q}_{1,2,...,k}$. Схема определения $\bar{q}_{1,2,...,k}$ показана на рис. 3.13, б.

Одним из основных моментов в предложенном методе расчета нижней оценки коэффициента готовности АЛ является определение характеристик надежности объединенного (эквивалентного) участка; интенсивности останова λ_3 , интенсивности окончания останова μ_3 и номинальной производительности q_3 . Номинальная производительность эквивалентного участка, естественно, равна производительности выпускающего (последнего) из объединенных участков, т.е. $q_3 = q_i$ при объединении i участков.

Для определения интенсивности отказов и восстановлений эквивалентного участка воспользуемся решением для коэффициента готовности двухучастковой АЛ и ориентированным графом состояний. Так как случайный процесс функционирования двухучастковых АЛ является эргодическим, то среднее время пребывания в каждом состоянии будет равняться обратной величине суммарной интенсивности ухода из этого состояния. Поэтому на основании ориентированного графа состояний и по известным значениям вероятности пребывания в каждом состоянии можно определить среднее время работы между двумя остановами однопоточной двухучастковой АЛ (ОДАЛ).

На основании ориентированного графа состояний двухучастковой АЛ среднее время работы до отказа и среднее время восстановления будут вычисляться соответственно по следующим формулам:

$$\bar{t}_{pAL} = \sum_{\alpha_j} \varphi_{\alpha_j}^{-1} F_{\alpha_j}(z) \gamma_{\alpha_j};$$

$$\bar{t}_{вAL} = (1 - \eta_n) \eta_n^{-1} \bar{t}_{pAL}, \quad (3.15)$$

где α_j — возможное состояние АЛ; φ_{α_j} — суммарная интенсивность выхода из состояния α_j ; $F_{\alpha_j}(z)$ — вероятность того, что АЛ находится в состоянии $\{\alpha_j, z\}$; $\gamma_{\alpha_j} = 0$, если в α_j -м состоянии АЛ простаивает; $\gamma_{\alpha_j} = 1$, если в α_j -м состоянии АЛ работает; $\bar{t}_{вAL}$ — среднее время восстановления ОДАЛ; η_n — коэффициент готовности ОДАЛ; \bar{t}_{pAL} — среднее время между простоями ОДАЛ.

На основании формулы (3.15) эквивалентные параметры объединенного (эквивалентного) участка будут вычисляться по следующей формуле: $\lambda_3 = (\bar{t}_{pAL})^{-1}$, $\mu_3 = (\bar{t}_{вAL})^{-1}$.

Структурная схема алгоритма, реализующая изложенный метод, приведена на рис. 3.14.

В качестве примера на рис. 3.15 показан ориентированный граф состояний для двухучастковой АЛ с равными производительностями участков. Значения параметров $(\varphi_{\alpha_j})^{-1}$, $F_{\alpha_j}(z)$, γ_{α_j} и $\{\alpha_j, z\}$ приведены в табл. 3.1. Как следует из таблицы,

$$\bar{t}_{pAL} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^{-1} (F_{111}(z) + F_{111}(0) + F_{111}(z_m)) + (q_1 P_{011}(0) + \mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^{-1} F_{011}(z);$$

$$\bar{t}_{вAL} = (1 - \eta_n) \eta_n^{-1} \bar{t}_{pAL},$$

где $F_{111}(z)$, $F_{111}(0)$, $F_{111}(z_m)$, $F_{011}(z)$ — вероятности пребывания АЛ в состояниях $\{111, z\}$, $\{111, 0\}$, $\{111, z_m\}$, $\{011, z\}$.

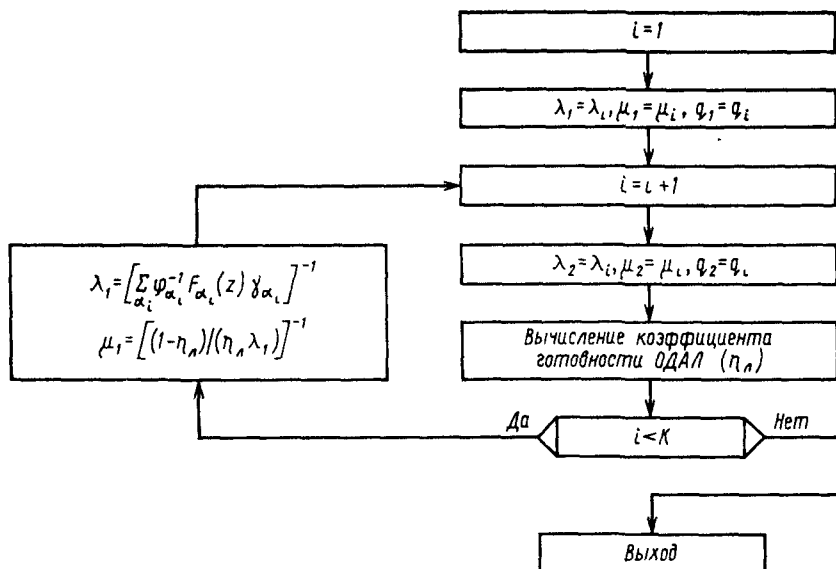


Рис. 3.14. Структурная схема алгоритма вычисления нижней оценки коэффициента готовности АЛ

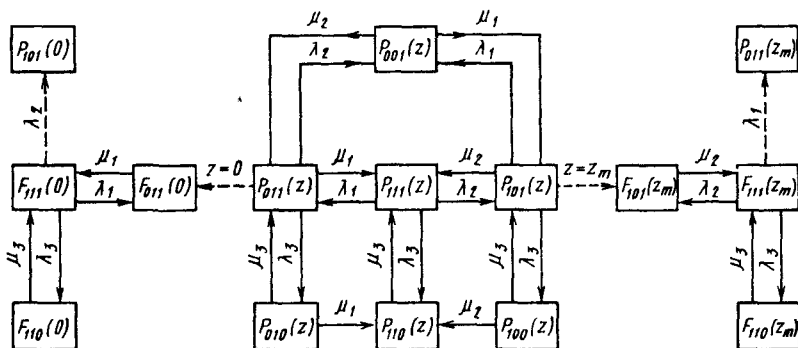


Рис. 3.15. Ориентированный граф состояний двухучастковой АЛ с равными производительностями участков

Таким образом, получены формулы, необходимые для расчета нижней оценки коэффициента готовности однопоточной многоучастковой АЛ с накопителями.

Теперь определим верхнюю оценку проектной производительности АЛ с однопоточной структурой. Для этого проанализируем работу трехучастковой линии (см. рис. 3.12). Допустим, что в рассматриваем-

мой линии 3-й участок отсутствует (см. рис. 3.12, з). В этом случае на основании формулы (3.14) можно записать

$$\eta_2^{(1,2)} = (1 + B + \delta_{1,2}B_1)^{-1}. \quad (3.16)$$

3.1. Функциональные зависимости для определения длительности состояний

Состояние $\{\alpha_j, z\}$	Среднее время пребывания в состоянии φ_{α_j}	Вероятность пребывания в состоянии $F_{\alpha_j}(z)$	АЛ простаивает или работает в состоянии γ_{α_j}
{111, z}	$(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^{-1}$	$F_{111}(z)$	Да (1)
{101, z}	$(q_1 P_{101}(z_m) + \lambda_1 + \mu_2 + \lambda_3)^{-1}$	$F_{101}(z)$	Нет (0)
{011, z}	$(q_2 P_{011}(0) + \mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^{-1}$	$F_{011}(z)$	Да (1)
{011, z}	$(\mu_1 + \mu_2)^{-1}$	$F_{001}(z)$	Нет (0)
{010, z}	$(\mu_1 + \mu_3)^{-1}$	$F_{010}(z)$	Нет (0)
{100, z}	$(\mu_2 + \mu_3)^{-1}$	$F_{100}(z)$	Нет (0)
{110, z}	μ_3^{-1}	$F_{110}(z)$	Нет (0)
{011, 0}	μ_1^{-1}	$F_{011}(0)$	Нет (0)
{111, 0}	$(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^{-1}$	$F_{111}(0)$	Да (1)
{110, 0}	μ_3^{-1}	$F_{110}(0)$	Нет (0)
{101, z_m}	μ_2^{-1}	$F_{101}(z_m)$	Нет (0)
{111, z_m}	$(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)^{-1}$	$F_{111}(z_m)$	Да (1)
{110, z_m}	μ_3^{-1}	$F_{110}(z_m)$	Нет (0)

Производительность 2-го участка с учетом (3.16) в этом случае будет вычисляться по формуле $q_{2п}^{(1,2)} = q_2 \eta_2^{(1,2)}$, где q_2 — номинальная производительность 2-го участка.

В реальной системе вследствие дополнительных потерь по вине 3-го участка

$$\eta_2^{(1,2)} \geq \tilde{\eta}_2, \quad (3.17)$$

где $\tilde{\eta}_2$ — коэффициент готовности 2-го участка в составе исходной АЛ.

На основании (3.17) можно записать $\bar{q}_{2п} \leq q_{2п}^{(1,2)}$, где $\bar{q}_{2п}$ — производительность 2-го участка исходной АЛ.

Теперь допустим, что в рассматриваемой системе 1-й участок отсутствует (см. рис. 3.12, б). Тогда $\bar{q}_{3п} \leq q_{3п}^{(2,3)}$, где $\bar{q}_{3п}$ — производительность 3-го участка исходной АЛ, $\bar{q}_{3п}^{(2,3)}$ — производительность 3-го участка, когда 1-й участок не влияет на работу 2-го и 3-го участков. Производительность исходной линии

$$q_{л} = \bar{q}_{3п} = q_3 \eta_{л}, \quad (3.18)$$

где $q_{л}$ — производительность АЛ, $\eta_{л}$ — коэффициент готовности АЛ.

Так как в АЛ отсутствует отбор изделий по ходу обработки, т.е. все детали проходят через всю АЛ, то действительные производительности участков выравниваются. Поэтому

$$q_{л} = \bar{q}_{iп} = \text{const}, \quad (3.19)$$

где $\bar{q}_{iп}$ — производительность i -го участка АЛ.

Для рассматриваемого примера с учетом (3.19) можно утверждать, что производительность АЛ не может быть больше, чем меньшая из производительностей $q^{(1,2)}$ и $q^{(2,3)}$, т.е.

$$q_{л} \leq \min \left\{ q_{2п}^{(1,2)}, q_{3п}^{(2,3)} \right\}. \quad (3.20)$$

Используя (3.18) и (3.20), получим, что коэффициент готовности рассматриваемой АЛ

$$\eta_{л} \leq q_3^{-1} \min \left\{ q_{2п}^{(1,2)}, q_{3п}^{(2,3)} \right\}. \quad (3.21)$$

Формулу (3.21) можно применять для однопоточных АЛ с произвольным числом участков. В этом случае коэффициент готовности АЛ

с произвольным числом участков $\eta_{л} \leq M q_k^{-1} M = \min \left\{ q_{iп}^{i-1,i} \right\}$, $i = 1, 2, \dots, k$, где q_k — номинальная производительность k -го (выпускающего) участка; $q^{(i-1,i)}$ — производительность i -го участка двухучастковой АЛ, состоящего из $(i-1)$ -го и i -го участков исходной линии.

Структурная схема алгоритма вычисления верхней оценки коэффициента готовности АЛ с произвольным числом участков приведена на рис. 3.16.

Необходимо отметить, что при расчете нижней и верхней оценок коэффициента готовности многоучастковой АЛ необходимо уметь

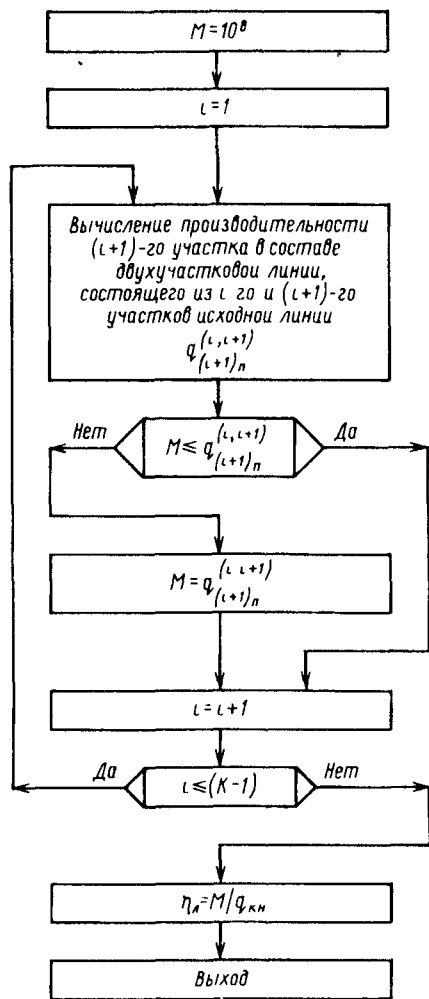


Рис. 3.16. Структурная схема алгоритма вычисления верхней оценки коэффициента АЛ

рассчитывать коэффициент готовности трех вариантов двухучастковых АЛ: когда участки с равными производительностями; когда производительность 1-го участка больше, чем 2-го участка; когда производительность 1-го участка меньше, чем 2-го участка.

Граф состояний этих АЛ приведен на рис. 3.15, 3.17 и 3.18, а формулы для расчета коэффициента готовности и вероятностей состояний приведены ниже.

При расчете коэффициента готовности двухучастковых АЛ приняты обозначения: $F_{111}(z)$ — вероятность состояния, когда 1-й и 2-й участки, а также накопитель находятся в работоспособном состоянии, а запас заготовок в накопителе находится на промежуточном уровне; $F_{101}(z)$ — вероятность состояния, когда 1-й участок и накопитель находятся в работоспособном состоянии, 2-й участок отказал, а запас заготовок в накопителе находится на промежуточном уровне; $F_{011}(z)$ — вероятность состояния, когда 2-й участок и накопитель

находятся в работоспособном состоянии, 1-й участок отказал, а запас заготовок в накопителе находится на промежуточном уровне; $F_{110}(z)$ — вероятность состояния, когда 1-й и 2-й участки находятся в работоспособном состоянии, накопитель отказал, а запас заготовок в накопителе находится на промежуточном уровне; $F_{010}(z)$ — вероятность состояния, когда 1-й участок и накопитель отказали, 2-й участок находится в работоспособном состоянии, а запас заготовок в накопителе находится на промежуточном уровне; $F_{100}(z)$ — вероятность состояния, когда 2-й участок и накопитель отказали, 1-й участ-

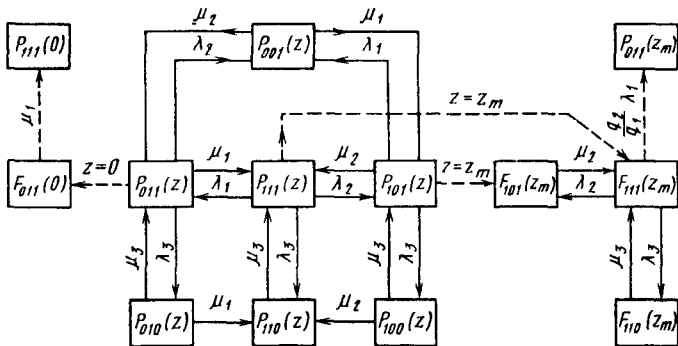


Рис. 3.17. Ориентированный граф двухучастковой АЛ, когда производительность 1-го участка больше производительности 2-го участка

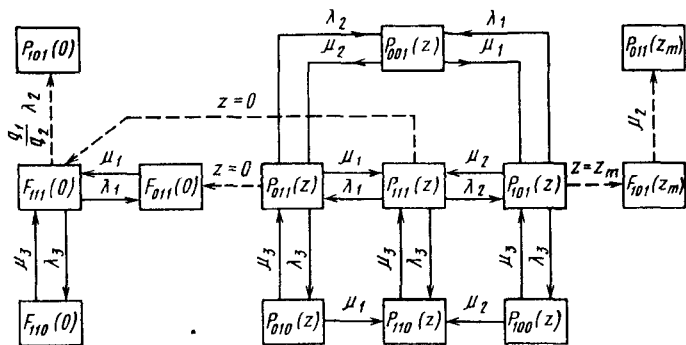


Рис. 3.18. Ориентированный граф двухучастковой АЛ, когда производительность 2-го участка больше производительности 1-го участка

ток находится в работоспособном состоянии, а запас заготовок в накопителе находится на промежуточном уровне; $F_{111}(0)$ — вероятность состояния, когда 1-й и 2-й участки, а также накопитель находятся в работоспособном состоянии и накопитель пуст; $F_{110}(0)$ — вероятность состояния, когда 1-й и 2-й участки работоспособны, накопитель отказал и он пуст; $F_{011}(0)$ — вероятность состояния, когда 2-й участок и накопитель находятся в работоспособном состоянии, 1-й участок отказал и накопитель пуст; $F_{111}(z_m)$ — вероятность состояния, когда 1-й и 2-й участки, а также накопитель находятся в работоспособном состоянии и накопитель полон; $F_{110}(z_m)$ — вероятность состояния, когда 1-й и 2-й участки находятся в работоспособном состоянии, накопитель отказал и он полон; $F_{101}(z_m)$ — вероятность состояния, когда 1-й участок и накопитель находятся в работоспособном состоянии, 2-й участок отказал и накопитель полон; z_m — вместим-

мость накопителя; q_1, q_2 — цикловая производительность соответственно 1-го и 2-го участков; τ_1, τ_2 — длительность цикла действия соответственно 1-го и 2-го участков; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ — интенсивность отказа соответственно 1-го, 2-го участков и накопителя; μ_1, μ_2, μ_3 — интенсивность восстановления соответственно 1-го, 2-го участков и накопителя; η — коэффициент готовности двухучастковой АЛ.

Коэффициент готовности двухучастковой АЛ с равными цикловыми производительностями участков ($q_1 = q_2$) $\eta = F_{111}(z) + F_{111}(0) + F_{111}(z_m) + F_{011}(z)$.

Вероятности возможных состояний АЛ рассчитывают по формулам:

$$F_{101}(z) = C_1 G_1; F_{011}(z) = C_1 G_2; F_{001}(z) = C_1 G_3;$$

$$F_{010}(z) = C_1 G_4; F_{100}(z) = C_1 G_5; F_{111}(z) = C_1 G_6;$$

$$F_{110}(z) = C_1 G_7; F_{111}(0) = C_1 G_8; F_{110}(0) = C_1 G_9;$$

$$F_{011}(0) = C_1 G_{10}; F_{111}(z_m) = C_1 G_{11}; F_{110}(z_m) = C_1 G_{12};$$

$$F_{101}(z_m) = C_1 G_{13},$$

где величины $C_1, G_1, G_2, \dots, G_{13}$ вычисляются по следующим формулам:

$$C_1 = \left(\sum_{i=1}^{13} G_i \right)^{-1}; G_1 = \frac{1}{a} (e^{az_m \tau_2} - 1); G_2 = G_1;$$

$$G_3 = G_1 \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu_1 + \mu_2}; G_4 = G_1 \frac{\lambda_3}{\mu_3 + \mu_1}; G_5 = G_1 \frac{\lambda_3}{\mu_3 + \mu_2};$$

$$G_6 = G_1 b; G_7 = G_1 \frac{\lambda_3}{\mu_3} \left(b + \frac{\mu_1}{\mu_3 + \mu_1} + \frac{\mu_2}{\mu_3 + \mu_2} \right);$$

$$G_8 = \frac{1}{\lambda_2}; G_9 = G_8 \frac{\lambda_3}{\mu_3}; G_{10} = \frac{1}{\mu_1} + G_8 \frac{\lambda_1}{\mu_1};$$

$$G_{11} = \frac{1}{\lambda_1} e^{az_m \tau_2}; \quad G_{12} = G_{11} \frac{\lambda_3}{\mu_3};$$

$$G_{13} = \frac{e^{az_m \tau_2}}{\mu_2} + G_{11} \frac{\lambda_2}{\mu_2},$$

$$\text{где } a = b\lambda_2 + \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)\mu_1}{\mu_1 + \mu_2} + \frac{\lambda_3\mu_3}{\mu_2 + \mu_3} - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3);$$

$$b = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \left(\mu_1 + \mu_2 + \frac{\lambda_3\mu_1}{\mu_3 + \mu_1} + \frac{\lambda_3\mu_2}{\mu_3 + \mu_2} \right).$$

Коэффициент готовности двухучастковой АЛ с большей цикловой производительностью 1-го участка ($q_1 > q_2$) $\eta = F_{111}(z) + F_{111}(z_m) + F_{011}(z)$.

Вероятности возможных состояний АЛ рассчитывают по формулам:

$$F_{101}(z) = C_1 G_1; \quad F_{111}(z) = C_1 G_2; \quad F_{010}(z) = C_1 G_3;$$

$$F_{011}(z) = C_1 G_4; \quad F_{100}(z) = C_1 G_5; \quad F_{110}(z) = C_1 G_6;$$

$$F_{001}(z) = C_1 G_7; \quad F_{011}(0) = C_1 G_8; \quad F_{111}(z_m) = C_1 G_9;$$

$$F_{110}(z_m) = C_1 G_{10}; \quad F_{101}(z_m) = C_1 G_{11}.$$

Величины $C_1, G_1, G_2, \dots, G_{11}$ вычисляют по формулам:

$$G_1 = \frac{1}{r_1} (e^{r_1 z_m \tau_2} - 1) - \frac{1}{r_2} (e^{r_2 z_m \tau_2} - 1);$$

$$G_2 = \frac{r_1 - c}{r_1 - d} (e^{r_1 z_m \tau_2} - 1) - \frac{r_2 - c}{r_2 - d} (e^{r_2 z_m \tau_2} - 1);$$

$$a = \mu_1 + \lambda_3 \mu_1 / (\mu_1 + \mu_3) - (\lambda_1 + \lambda_2) / (\alpha - 1);$$

$$r_1 = 0,5(c + a\sqrt{(c - a)^2 + 4bd})$$

$$G_{13} = e^{r_1 z} - e^{r_2 z}$$

$$- (r_2 - c) / (d + \alpha) e^{r_2 z}$$

$$G_{12} = (r_1 - c) / (d + \alpha) e^{r_1 z} -$$

т.е.

$$G_{10} = G_9 \lambda_3 / \mu_3; G_{11} = G_9 \lambda_2 / \mu_2 + G_{13} \alpha / \mu_2; C_1 = \sum_{i=1}^l G_i$$

$$G_8 = (\alpha - 1) / (r_1 - r_2) / (\mu_1 d); G_9 = G_{12} \alpha / \lambda_1;$$

$$G_7 = G_4 \frac{\lambda_1 + \mu_1}{\lambda_2} + G_1 \frac{\mu_1 + \mu_2}{\lambda_1};$$

$$G_6 = G_2 \frac{\lambda_3}{\mu_1} + G_3 \frac{\mu_3}{\mu_2} + \frac{\mu_3}{\mu_2};$$

$$G_4 = (\alpha - 1) G_2 + \alpha G_1; G_5 = G_1 \frac{\mu_2 + \mu_3}{\lambda_3};$$

$$G_3 = G_2 \frac{\mu_1 + \mu_3}{(\alpha - 1) \lambda_3} + G_1 \frac{\mu_1 + \mu_3}{\alpha \lambda_3};$$

$$b = \left\{ \alpha \mu_1 [1 + \lambda_3 / (\mu_1 + \mu_3)] + \mu_2 + \mu_2 \lambda_3 / (\mu_2 + \mu_3) \right\} / (\alpha - 1);$$

$$c = (\mu_1 (\lambda_1 + \alpha \lambda_2) / (\mu_1 + \mu_2) + \lambda_3 \mu_3 / (\mu_2 + \mu_3) - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_3)) / \alpha;$$

$$d = (\lambda_2 / \alpha) (1 + (\alpha + 1) \mu_1 / (\mu_1 + \mu_2));$$

$$r_1 = 0,5(c + a + \sqrt{(c - a)^2 + 4bd});$$

$$r_2 = 0,5(c + a - \sqrt{(c - a)^2 + 4bd}); \alpha = q_1 / q_2; \tau_2 = 1 / q_2.$$

Коэффициент готовности двухучастковой АЛ с большей цикловой производительностью 2-го участка ($q_2 > q_1$) $\eta = F_{111}(z) + F_{011}(z) + \alpha F_{111}(0)$.

Вероятности возможных состояний АЛ рассчитывают по формулам:

$$F_{011}(z) = C_1 G_1; F_{111}(z) = C_1 G_2; F_{010}(z) = C_1 G_3;$$

$$F_{100}(z) = C_1 G_4; F_{101}(z) = C_1 G_5; F_{001}(z) = C_1 G_6;$$

$$F_{110}(z) = C_1 G_7; F_{101}(z_m) = C_1 G_8; F_{111}(0) = C_1 G_9;$$

$$F_{110}(0) = C_1 G_{10}; F_{011}(0) = C_1 G_{11}.$$

Величины $C_1, G_1, G_2, \dots, G_{11}$ вычисляются по следующим формулам:

$$C_1 = \left(\sum_{i=1}^{11} G_i \right)^{-1};$$

$$G_1 = r_1^{-1} (e^{r_1 z_m \tau_2} - 1) - r_2^{-1} (e^{r_2 z_m \tau_2} - 1) e^{(r_1 - r_2) z_m \tau_2};$$

$$: (x - 1) / (z\gamma + \lambda\gamma) - ((z\eta + \mu\eta) / \varepsilon\gamma + 1) (x / z\eta) = v$$

III

$$z_1^m z_2^l z_{r-1}^l e^{-1} (p\alpha) (c) + z_r (x - 1) + e^{-1} (p\alpha) (c) +$$

$$G_{13} = e^{-1} (1) - (1) (r_1) +$$

$$z_1^m z_2^l z_{r-1}^l e^{-1} = 1 = z_1 G_{12}; G_{11} G_{11}^{-1} \mu_1 + G_{10} \lambda_1 \mu_1 = G_{11} G_{11}^{-1} \mu_1$$

$$G_9 = \lambda_1^{-1} G_{13}; G_{10} = \mu_1^{-1} \lambda_1 G_9;$$

$$z_1^m z_2^l e^{-1} (x - 1) (r_1) - z_r (r_1) = G_8$$

$$: G_1 (z_1 \alpha + \lambda_1 \alpha) (r_1) +$$

$$G_6 = (x - 1) (r_1) + \mu_1 (x) + \lambda_1 G_2$$

$$: G_5 = e^{-1} x + z_2 (x - 1) e^{-1} x$$

$$: G_4 = e^{-1} \lambda_1 \gamma_1 (z_1 \eta + \mu_1 \eta) e^{-1} x + e^{-1} \lambda_1 \gamma_1 (x - 1) e^{-1} \mu_1 \eta + \mu_1 (r_1) e^{-1} x$$

$$: G_3 = \varepsilon \gamma_1 / (\mu_1 + \eta_1)$$

$$- (r_1) e^{-1} (p\alpha) (c) + e^{-1} (1) -$$

$$G_2 = (r_2 + c) (p\alpha) (c) + z_r (r_2) e^{-1} (1) - z_1^m z_2^l z_{r-1}^l e^{-1}$$

$$b = (1 - \alpha)^{-1}((\mu_2/\alpha)(1 + \lambda_3/(\mu_3 + \mu_2)) + \mu_1 + \mu_1\lambda_3/(\mu_3 + \mu_1));$$

$$c = \mu_2(\lambda_1 + \alpha\lambda_2)/(\alpha(\mu_1 + \mu_2)) + \lambda_3\mu_3/(\mu_1 + \mu_3) - (\mu_1 + \lambda_2 + \lambda_3);$$

$$d = \lambda_1 + (1 - \alpha)\mu_2\lambda_1/(\alpha(\mu_1 + \mu_2));$$

$$\alpha = q_1/q_2; \tau_1 = 1/q_1; \tau_2 = 1/q_2;$$

$$r_1 = 0,5(-a - c + \sqrt{(a - c)^2 + 4bd});$$

$$r_2 = 0,5(-a - c - \sqrt{(a - c)^2 + 4bd}).$$

3.5. Организация производственных процессов во времени

Организация производственных процессов во времени осуществляется следующим образом. Для множества гибких модулей и номенклатуры деталей необходимо так спланировать последовательность выполнения обработки партии заготовок на модулях в течение заданного планового срока, чтобы удовлетворить выбранному критерию. Критериями могут быть: минимальная календарная длительность выполнения всего задания; минимум времени переналадок оборудования; минимум всего непроизводительного времени в расписании работы системы.

Для обеспечения соответствия решаемой задачи реальным условиям необходимо выдержать ряд ограничений: по фонду времени ГПМ, длительности выполнения задания, по директивным срокам выпуска деталей и пр.

Основные потери времени в ГПС следующие: время $t_{\text{п}}$ переналадок, время $t_{\text{ост}}$ простоев ГПМ вследствие транспортных операций, время $t_{\text{ос}}$ простоев ГПМ из-за нерационально составленного расписания.

Переналадка ГПМ на изготовление деталей другого наименования, как правило, включает следующее: ввод в состав ГПМ инструментальной, патронно-центральной, контрольной и прочей оснастки, которая необходима для обработки поступившей партии заготовок; удаление из ГПМ оснастки и устройств, переполняющих накопители; настройку всех систем и элементов ГПМ на требуемые технологическим процессом диапазоны регулирования, например установка требуемого патрона станка, установка угла раскрытия губок схвата ПР, установка требуемой частоты вращения шпинделя и т.д. Время переналадок ГПМ при поступлении партии деталей не является постоянной величиной. Это объясняется тем, что после обработки какой-либо партии заготовок в накопителях ГПМ остается определенный ресурс — инструменты, оснастка, программы для УЧПУ. Вместимость некоторых накопителей ГПМ довольно велика. Например, револьверные головки станков с ЧПУ могут иметь до 30 гнезд под инструменты. Кроме того, в ГПМ остаются настроенными ряд технических и функциональных параметров — установлены определенные диапазоны скоростей главного движения и подачи в коробках скоростей. На определенные размеры настроены патроны, схваты робота и т.д. Состав ресурсов ГПМ (оснастка, инструмент и т.д.) ввиду наличия возможности накопления их формируется в процессе работы ГПМ. По мере обработки партий заготовок в ГПМ "оседают" (заменяются, остаются) различные ресурсы.

Таким образом, время переналадки ГПМ для изготовления партии деталей зависит не только от требуемого для этих деталей состава технологических ресурсов, но также от того состава ресурсов, которым располагает ГПМ на момент начала изготовления этой партии деталей, т.е. от состояния ГПМ на момент планирования. Поэтому с целью получения более точного расписания работы комплекса и минимизации времени переналадок необходимо учитывать эту особенность при оценке времени адаптации ГПМ.

Обобщенная модель оптимизации загрузки оборудования

Каждая изготавливаемая деталь α_i может быть представлена одной или несколькими операциями. Тогда партия заготовок будет задаваться временами обработки, которые обозначим e_{ij} и назовем единицей

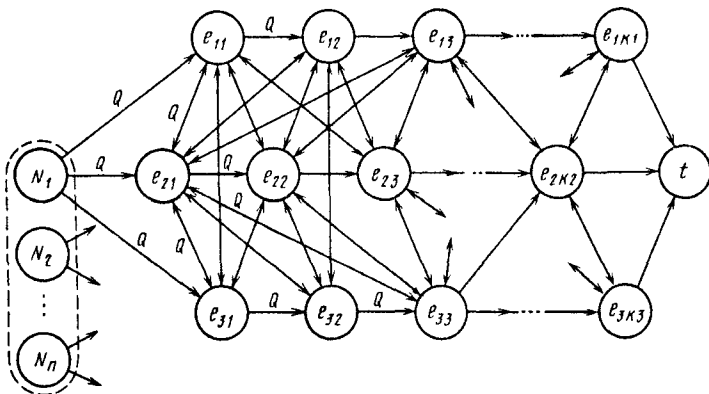


Рис. 3.19. Модель планирования, представленная сетью

планирования $ЕПе_{ij}$ (j -я операция для i -й партии заготовок). Допустим, что каждая $ЕПе_{ij}$ может быть обработана на любом из $N(n)$ ГПМ. Тогда графическую интерпретацию модели задачи можно представить в виде сети (рис. 3.19). Вершинами сети является время обработки партии заготовок ($ЕПе_{ij}$). Вершина N_i означает i -й ГПМ; вершина t — сток сети. Сколько операций для изготовления i -й детали, столько и вершин e_{ij} в данной горизонтальной ветви. Дуги отражают последовательность обработки ЕП на ГПМ, т.е. последовательность присоединения вершин e_{ij} в процессе планирования. Каждая дуга имеет оценку Q — переналадку ГПМ при присоединении данной $ЕПе_{ij}$. Состав Q и время t_n переналадок при этом зависят от присоединяемой ЕП и того состояния ГПМ, которым оно обладало на момент планирования, т.е. $Q, t_{nij}(e_{ij}) = f[S_{ГПМ}(e_{qs}), T_{e_j}]$, где Q и t_{nij} — соответственно состав и время операций переналадок при присоединении $ЕПе_{ij}$; $S_{ГПМ}(e_{qs})$ — состояние ГПМ, сформировавшееся при обработке предшествующей партии заготовок e_{qs} ; T_{e_j} — состав ресурсов, необходимых для выполнения $ЕПе_{ij}$.

Задача планирования состоит в том, чтобы найти такую последовательность выполнения обработки партии заготовок или такой порядок построения пути на сети, чтобы обеспечить минимум (или максимум) принятого критерия задачи. Обобщенную модель можно представить следующим образом:

$$F = f \left(\sum_{k=1}^n t_{nij k}, \sum_{k=1}^n t_{ocijk}, \sum_{k=1}^n t_{oc.tijk} \right) \rightarrow \min; \quad (3.22)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} e_{ij} (a_{ijk} t_{oijk} + t_{nij k}) + f \left(\sum_1^n t_{ocijk}, \sum_1^n t_{oc.tijk} \right) \leq \Phi_k; \quad (3.23)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} a_{ijk} = A_i; \quad i = 1, m; \quad (3.24)$$

$$\tau_{e_{i k_i}}^k - \tau_{d_i}^k \geq 0; \quad i = 1, m; \quad (3.25)$$

$$d_i \{ e_{ij} < e_{ij} \neq \emptyset \}, \quad (3.26)$$

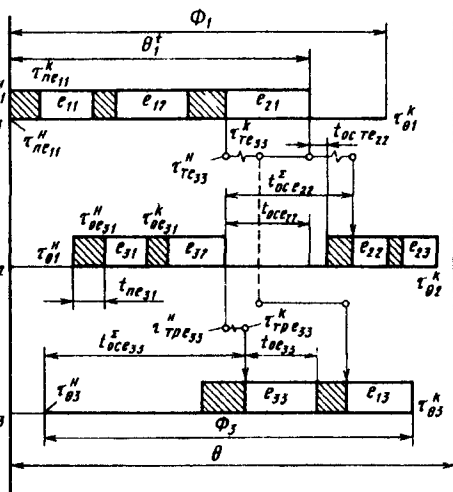
где $t_{nij k}$ — время переналадки ЕПе_{ij} на k -м ГПМ; t_{ocijk} — время простоя k -го ГПМ, обусловленное ожиданием ЕПе_{ij}, которая в данный момент времени подвергается обработке на другом ГПМ (нерационально составленное расписание); $t_{oc.tijk}$ — время простоя k -го ГПМ, обусловленное ожиданием ЕПе_{ij}, которая в данный момент находится в процессе транспортирования к данному ГПМ; k_i — множество операций (единиц планирования) для изготовления i -й детали; Φ_k — номинальный фонд времени работы k -го ГПМ; a_{ijk} — партия запуска ЕПе_{ij}; A_i — план выпуска i -х деталей; t_{oijk} — время обработки партии заготовок на ГПМ, включающее машинное время, время вспомогательных ходов и время, затрачиваемое на установку и съем этой заготовки со станка в процессе обработки; $\tau_{e_{i k_i}}^k$ — момент окончания

обработки последней ЕП i -й заготовки; $\tau_{d_i}^k$ — директивный момент окончания обработки ЕП; m — номенклатура деталей.

Уравнение (3.22) представляет собой функционал задачи в обобщенном виде. Неравенство (3.23) — есть ограничение по фонду времени ГПМ. Равенство (3.24) представляет собой условие сохранения потока в сети (т.е. все заготовки должны быть обработаны). Неравенство (3.25) означает выполнение директивных сроков изготовления

Рис. 3.20. Диаграмма работы ГПС, состоящей из трех ГПМ

деталей. Выражение (3.26) говорит о том, что расписание должно быть составлено так, чтобы выполнялось условие предшествования операций, обусловленное естественным порядком выполнения технологического процесса. Чтобы нагляднее представить себе потери непроизводительного времени, рассмотрим расписание для трех ГПМ, представленное на рис. 3.20 в виде временной диаграммы.



На рис. 3.20 приняты следующие обозначения: θ_k — расписание работы k -го ГПМ; θ — расписание работы ГПС на оперативном плане; $t_{\text{осе}}^{\Sigma}$ — суммарное время простоя k -го ГПМ на ЕПЕ $_{ij}$; $\tau_{\text{пе}}^k$ и $\tau_{\text{пе}}^N$ — моменты начала и окончания переналадок на партии ЕПЕ $_{ij}$; $\tau_{\text{ое}}^N$ и $\tau_{\text{ое}}^k$ — моменты начала и окончания обработки партии ЕПЕ $_{ij}$; $\tau_{\text{тре}}^N$ и $\tau_{\text{тре}}^k$ — моменты начала и окончания транспортной операции на партии ЕПЕ $_{ij}$; τ_{θ}^N и τ_{θ}^k — моменты начала и окончания работы k -го ГПМ.

Чтобы выбрать конкретный функционал (3.22), необходимо определить, решаем ли мы задачу для одного ГПМ или для нескольких.

Модель задачи оптимизации загрузки одного ГПМ

Из рис. 3.20 следует, что если рассматривать комплекс, состоящий из одного станка с гарантированным запасом деталей (т.е. в этом случае не приходится ожидать какую-либо партию заготовок с другого ГПМ), то времена $t_{\text{ос}}$ и $t_{\text{ос.т}}$ становятся равными нулю. И тогда задача определяется однозначно как задача минимизации суммы времен переналадок, а функционал задачи будет иметь вид

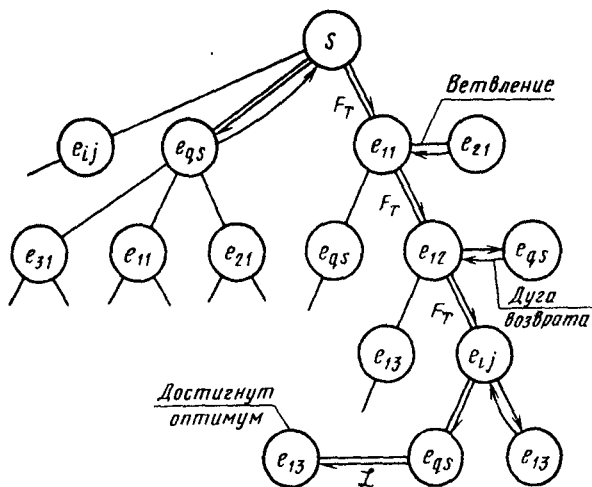


Рис. 3.21. Граф поиска оптимального решения с помощью метода ветвей и границ

$$F_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{k_i} t_{pijk} \rightarrow \min; k = 1, n. \quad (3.27)$$

Алгоритм построения расписания одного станка с помощью метода ветвей и границ (МВГ) осуществляется следующим образом. Из вершины-источника S (рис. 3.21) начинается построение пути. Нижняя граница (НГ) L из условия задачи неопределима, так как не существует матрицы переналадок $[Q_{ij}]$. При ветвлении к вершине присоединяется одна из аддитивных к ней вершин, которая удовлетворяет (3.27) и ограничениям (3.23), (3.24), (3.25) и (3.26). На первом шаге, как правило, определяют какое-либо текущее значение функционала F_1 , которое для последующих этапов служит НГ. После нахождения какого-либо пути θ осуществляется возврат на графе ветвления в поисках пути с лучшей оценкой функционала, чем достигнутая, т.е. идет процесс оптимизации. При каждом включении какой-либо вершины e_{ij} проверяется значение функционала и ограничения. Если на каком-либо шаге ветвления функционал больше, чем достигнутая нижняя граница (на предыдущем пути-расписании), или не выполняются ограничения (3.23)—(3.26), то осуществляют возврат и ветвление по другому пути. В итоге достигается оптимальное расписание работы одного ГПМ.

Данная задача несколько сложнее предыдущей, поскольку мы имеем дело с задачей большей размерности и изначально было оговорено, что любая партия заготовок может быть обработана на любом из $N(n)$ ГПМ. Такая система называется системой с нефиксированными маршрутами. Для этого случая граф ветвления представлен на рис. 3.22. В качестве функционала такой задачи выберем критерий

минимума всех непроизводительных времен, т.е. $F_2 = \sum_{k=1}^n t_{ocijk}^{\Sigma} \rightarrow \min.$

В отличие от предыдущей задачи здесь на каждом шаге ветвления необходимо определять t_{ijk}^1 и временные характеристики какого-либо ГПМ (моменты τ) в зависимости от временных параметров соседних ГПМ. Обозначим через $\Phi_r^1(e_{\alpha\beta r})$ загрузку r -го ГПМ, которая сформировалась на нем после включения в его расписание ЕП $e_{\alpha\beta r}$, предшествующей ЕП e_{ijr} , которая рассматривается на ветвлении. Тогда ограничение по фонду времени [ограничение (3.23)] имеет вид

$$\Phi_r^1 e_{\alpha\beta r} + t_{0ijr} a_{ij} + \left[\max(\tau_{nijr}^k; \tau_{tijr}^k) - \tau_{0\alpha\beta r}^k \right] \leq \Phi_r. \quad (3.28)$$

Величина $\Phi_r^1(e_{ijr})$ легко определяется из следующего уравнения:

$$\Phi_r^1(e_{ijr}) = \Phi_r^1(e_{\alpha\beta r}) + t_{0ijr} a_{ij} + \left[\max(\tau_{nijr}^k; \tau_{tijr}^k) - \tau_{0\alpha\beta r}^k \right].$$

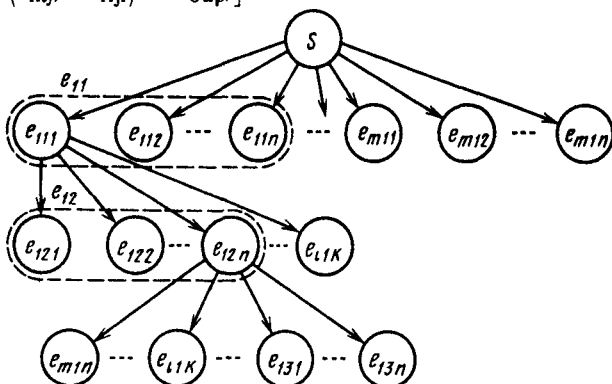


Рис. 3.22. Интерпретация сети назначения графом для n ГПМ

Характеристики расписания определяют по формулам

$$\tau_{0\alpha\beta r}^e = \Phi_r^1(e_{\alpha\beta r}) + \tau_{\theta r}^b;$$

$$\tau_{\tau_{ijr}} = \Phi_k^1(e_{i(j-1)k}) + t_{\tau kr}(e_{kr});$$

$$\tau_{\pi_{ijr}}^e = \tau_{0\alpha\beta r}^e - t_{\pi_{ijr}},$$

где $\Phi_k^1(e_{i(j-1)k})$ — нагрузка k -го ГПМ с учетом включения в нагрузку ЕПе $_{i(j-1)}$, предыдущей по ходу технологического процесса изготовления для i -й детали; $t_{\tau kr}$ — время транспортирования партии заготовок от k -го ГПМ к r -му, зависит от длины пути транспортирования l_k .

Суммарный простой на r -м ГПМ от ЕПе $_{ij}$: $t_{\text{ос}ijr}^{\Sigma} = \tau_{0ijr}^{\text{H}} - \tau_{0\alpha\beta r}^k$, где $\tau_{0ijr}^{\text{H}} = \Phi_r^1(e_{ijr}) - t_{0ijr}a_{ij} - \max(\tau_{\pi_{ijr}}^k, \tau_{\pi_{ijr}}^k, \tau_{\tau_{ijr}}^k)$.

Моменты для переналадок перепишем следующим образом (сдвинем переналадки по оси загрузки вправо): $\tau_{\pi_{ijr}}^{\text{H}} = \tau_{0ijr}^{\text{H}} - t_{\pi_{ijr}}\tau_{\pi_{ijr}}^k = \tau_{\pi_{ijr}}^{\text{H}} + t_{\pi_{ijr}} = \tau_{0ijr}^{\text{H}}$. Время простоев $t_{\text{ос}ijk} = \min(\tau_{\tau_{ijr}}^{\text{H}}, \tau_{\pi_{ijr}}^{\text{H}}) - \tau_{0\alpha\beta r}^k$. Простой вследствие транспортирования $t_{\text{ос}ijr}^{\Sigma} = t_{\text{ос}ijr}^{\Sigma} - t_{\text{ос}ijr} - t_{\pi_{ijr}}$. Простой вследствие переналадок $t_{\text{ос} \pi_{ijr}}^{\Sigma} = t_{\text{ос}ijr}^{\Sigma} - t_{\text{ос}ijr} - t_{\text{ос} \tau_{ijr}} - (\tau_{\tau_{ijr}}^k - \tau_{\pi_{ijr}}^{\text{H}})$.

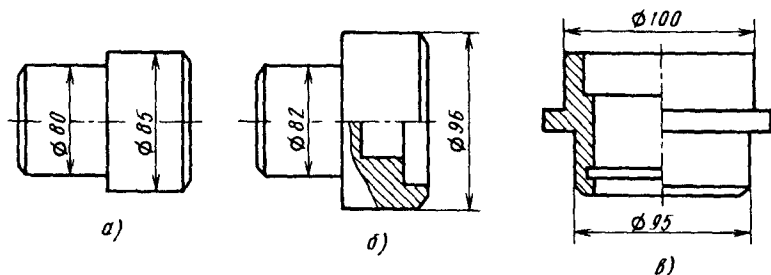


Рис. 3.23. Номенклатура деталей:
 а — ось, б — пята, в — стакан

Механизм ветвления и поиска оптимального решения аналогичен тому, что был представлен на рис. 3.21 для задачи "одного ГПМ".

Рассмотрим примеры исходя из следующего: имеются три заготовки (рис. 3.23), которые изготавливаются в патроне; для них известны длительности обработки t_{oi} , диаметры охватываемых поверхностей и партии запусков (табл. 3.2).

Имеются два ГПМ на базе станков токарного типа. Для них известны начальные диаметры губок патронов. Считаем, что на любом из станков возможно выполнение любой операции из предложенных, а время переналадки определяется только по патронной оснастке. Раскрытие губок патронов $\Delta l = 6$ мм. Переналадка патрона означает его замену другим и время этой операции известно.

Расписание для задачи "одного ГПМ". В качестве примера выберем один ГПМ и одну операцию из табл. 3.2. Для выбираемого станка в табл. 3.3 указаны диапазоны допустимых значений диаметра заготовки и время замены патрона.

Необходимо определить такую последовательность операций на ГПМ, чтобы выдержать критерий — минимум времени переналадок. Партии запуска любой детали могут быть различными; но должно выполняться ограничение по фонду времени.

3.2. Операции изготовления деталей

Деталь	Номер операции	Содержание операции	Время t_{oi} , на операцию, мин	Диаметр поверхности базирования заготовки в патроне станка, мм
Ось	e_{11}	Обточка $\varnothing 85$	5,0	80,5
	e_{12}	Обточка $\varnothing 80$		85,0
Пята	e_{21}	Обточка $\varnothing 96$	7,5	82,0
	e_{22}	Обточка $\varnothing 82$	2,0	96,0
Стакан	e_{31}	Обточка $\varnothing 100$	3,5	95,5
	e_{32}	Обточка $\varnothing 95$	2,5	100,0

3.3. Данные по ГПМ

Наименование и тип ГПМ	Допустимый диаметр обрабатываемой заготовки, мм	Время замены патрона на станке, мин
ГПМ токарный (16К20Т1)	80—86	25
ГПМ2 токарный (1740ПФ3)	95—101	25

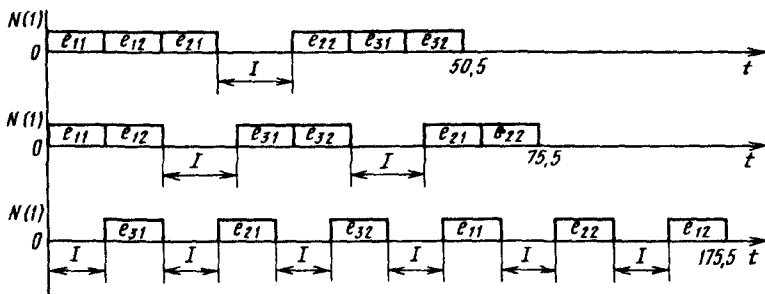


Рис. 3.24. Диаграммы расписаний в задаче для одного ГПМ:
 I — смена патрона

Рассмотрим следующие возможные варианты группирования операций на ГПМ1:

- 1) $Se_{11}e_{12}e_{21}e_{22}e_{31}e_{32}$;
- 2) $Se_{11}e_{12}e_{31}e_{32}e_{21}e_{22}$;
- 3) $Se_{31}e_{21}e_{32}e_{11}e_{22}e_{12}$.

Так как выбран ГПМ1, в котором установлен патрон с диапазоном диаметра заготовок 80—86 мм, то для 1-го и 2-го вариантов группирования операций не требуется замена патрона для первых операций. Для 3-го варианта группирования перед первой операцией требуется смена патрона. Анализ 1-го варианта группирования показывает, что требуется одна смена патрона перед операцией e_{22} . Для 2-го варианта группирования требуются две замены патрона перед операциями e_{31} и e_{21} , а для 3-го варианта группирования — перед каждой операцией. Временная диаграмма выполнения операций по 1-му и 3-му варианту группирования показана на рис. 3.24.

Расписание нескольких ГПМ. Время транспортирования партии заготовок от одного ГПМ к другому примем равным 5 мин. В случае расписания для нескольких ГПМ величина партии заготовок имеет значение.

Пример 1. Построим расписание по критерию минимума производительного времени.

Для составления расписания примем следующие партии запусков: $a_1 = 5$; $a_2 = 5$; $a_3 = 17$. На рис. 3.25 приведена временная диаграмма оптимального расписания, где суммарное время переналадок равно нулю, а суммарное время простоев оборудования — 10 мин (ожидание заготовок в начале работы).

Пример 2. Изменим партию запусков и вновь построим расписание, аналогичное предыдущему.

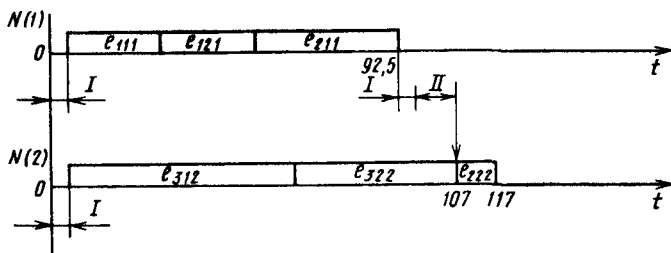


Рис. 3.25. Расписание по критерию $\sum_{i,j,k} t_{ocejik} \rightarrow \min$:

I — транспортирование; *II* — пролеживание заготовки

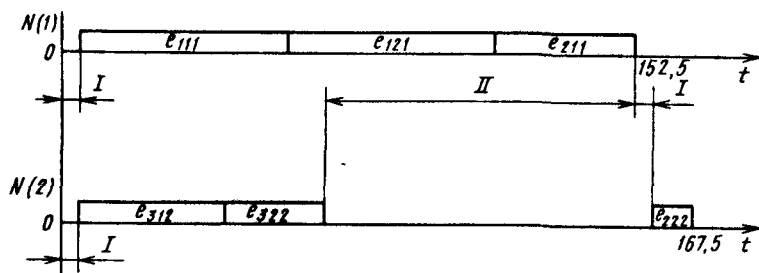


Рис. 3.26. Неоптимальное расписание по задаваемому порядку выполнения партий операций:

I — транспортирование заготовки, *II* — время простоя ГПМ2

Примем следующие партии запуска: $a_1 = 11$; $a_2 = 5$; $a_3 = 11$. Последовательность запуска заготовок примем такой же, как в предыдущем примере. Из диаграммы построенного расписания (рис. 3.26) видно, что изменение партий запусков изменило расписание так, что сумма времен простоев увеличилась до 86,5 мин. Попробуем вновь решить данную задачу с поиском оптимальной последовательности запусков деталей.

На рис. 3.27 приведена диаграмма оптимального расписания. Для найденной последовательности запусков деталей сумма времен простоев равна 10 мин. Из этого примера следует, что изменение в новом запуске хотя бы одного параметра (партий запусков, состояния модулей) требует пересчета расписания.

Пример. 3. Решим нашу задачу построения расписания при другом критерии — минимуме времен переналадок. На рис. 3.28 показана диаграмма расписания. Видно, что применение данного критерия не дает того эффекта, как в случае одного ГПМ. Это объясняется тем,

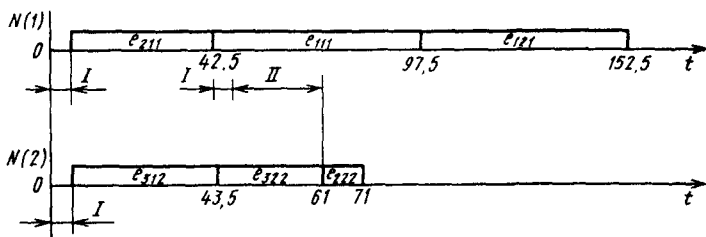


Рис. 3.27. Оптимальное расписание по критерию $\sum_{i,j,k}^n t_{осеjik} \rightarrow \min$:

I — транспортирование заготовки; *II* — пролеживание заготовки

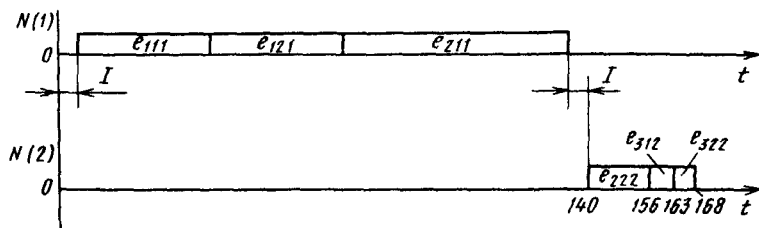


Рис. 3.28. Расписание по критерию $\sum_{i,e,j,k}^n t_{пеjik} \rightarrow \min$

I — время транспортировки заготовки

что выбранный критерий является локальным, он не учитывает $t_{осij}$ и $t_{ос.tij}$ и весь выигрыш во времени от его применения на каком-либо ГПМ может быть перекрыт этими временами. Для составленного расписания сумма времени простоев составляет 140 мин при партии запусков: $a_1 = 7$; $a_2 = 8$; $a_3 = 2$.

Глава 4. Основы проектирования и обеспечения информационных связей автоматических производственных процессов

4.1. Потоки информации в автоматическом производственном процессе. Основные требования к информации

Под интегрированной автоматизированной системой управления (ИАСУ) будем понимать интегрированную систему, состоящую из трех основных компонент: автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП), системы планирования, автоматизированной системы управления технологическими процессами.

Внутренние и внешние связи в ИАСУ ГПС можно представить в виде довольно сложных сетей физических, информационных и управляющих потоков. Физические потоки отражают, например, движение материальных, трудовых и энергетических ресурсов, информационные — передачу данных различного рода между производственными подразделениями, управляющие характеризуют связи между точками, где принимаются решения и где эти решения выполняются.

В самом общем виде производственная система является взаимосвязанной совокупностью трех систем: физической (станки, склады, транспорт), информационной и решающей. В физической системе осуществляется собственно производство изделий, а решающая система, пользуясь информационной системой, обеспечивает управление производством. На рис. 4.1 показана структурная схема ИАСУ ГПС машиностроительного производства и взаимосвязь протекающих в ней процессов. Однако на рисунке не отражены организационная структура, соподчинение и роль компонентов, их физическая рассредоточенность, что очень важно для разработки конкретной проблемно-ориентированной ГПС.

Гибкая производственная система — это производственная единица или совокупность технологического оборудования, автоматически перенастраиваемого при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах их характеристик. Органи-

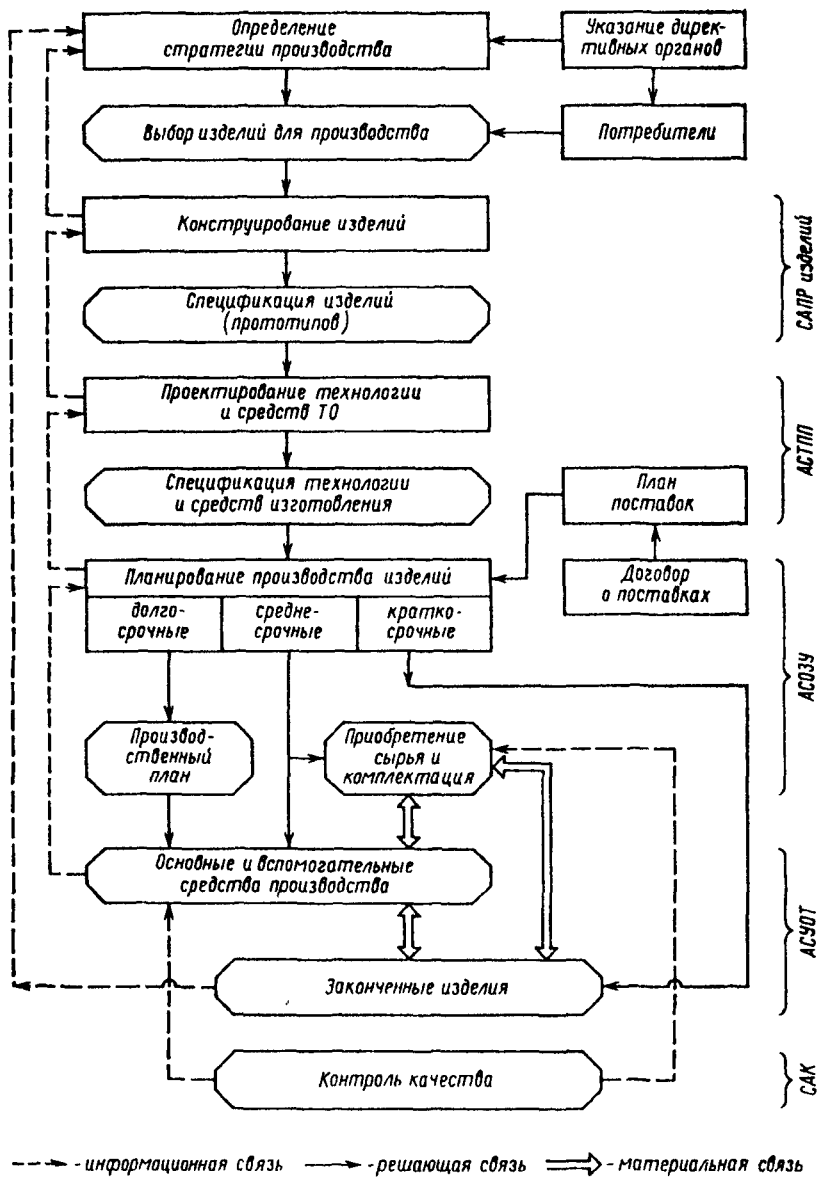
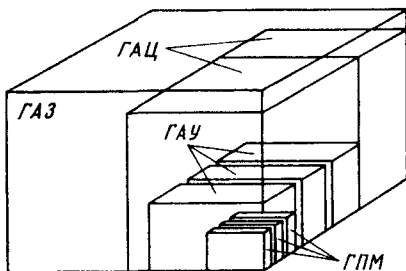


Рис. 4.1. Структурная схема ИАСУ ГПС

Рис. 4.2. Организационная структура ГПС

зационная структура производства подразделяется на четыре уровня (рис. 4.2).

Первый уровень — гибкий производственный модуль (ГПМ) — единица технологического оборудования с устройством программного управления и сред-



ствами автоматизации технологического процесса (накопителями, спутниками, устройствами загрузки и выгрузки, замены технологической оснастки, удаления отходов, контроля, переналадки и т.д.). ГПМ функционирует автономно, осуществляет многократные циклы и должен характеризоваться способностью встраивания в систему более высокого уровня.

Второй уровень — гибкий автоматизированный участок (ГАУ), гибкая автоматизированная линия (ГАЛ) — совокупность ГПМ, объединенных автоматизированной системой управления и функционирующих по технологическому маршруту, в котором предусмотрена или не предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования.

Третий уровень — гибкий автоматизированный цех (ГАЦ) — совокупность ГАУ и (или) ГАЛ, предназначенная для изготовления изделий заданной номенклатуры.

Четвертый уровень — гибкий автоматизированный завод (ГАЗ) — совокупность ГАЦ, предназначенная для выпуска готовых изделий в соответствии с планом основного производства.

Основная функциональная система ГПС — система обеспечения функционирования технологического оборудования (СОФТО) ГПС — представляет собой совокупность взаимосвязанных автоматизированных систем: автоматизированной системы научных исследований (АСНИ), САПР, АСТПП; системы управления предприятием (АСУП); транспортно-складской системы (АТСС); системы инструментального обеспечения (АСИО); системы автоматизированного контроля (САК); системы удаления отходов (АСУО) и т.д. Система АТСС представляет собой транспортные и складские устройства для укладки, хранения, временного накопления, разгрузки и доставки предметов труда, технологической оснастки и удаления отходов. Система АСИО включает взаимосвязанные накопители, устройства смены инструмента и контроля его качества, обеспечивающие хранение, автоматическую установку и замену инструмента.

Постановка и решение задач согласования и адаптации составляющих компонентов ИАСУ ГПС путем выбора принципов и схем комплексно-автоматизированной технологии, состава и режимов автоматического и роботизированного технологического оборудования, функциональной, организационно-экономической, организационно-технологической, информационной структур, общей алгоритмической модели функционирования АСУ в составе компонент (САПР, АСНИ, АСТПП, автоматизированная система организационно-экономического управления (АСОЭУ), АСУ и др.) в рамках единой процедуры управления служат методологической основой создания ИАСУ ГПС. В результате системного проектирования и реализации единой процедуры управления в концептуальной модели ГПС все программно-управляемое оборудование, входящее в состав ГПС и оснащенное встроенными микроЭВМ (станки с ЧПУ, автоматические транспортно-складские системы, автоматические контрольно-измерительные системы и т.д.), работает во взаимосвязанных и взаимообусловленных режимах.

ИАСУ ГПС на заводе предназначена для автоматизированного управления производственными процессами конструирования изделий, технологической подготовки производства и изготовления изделий в соответствии с техническим заданием (ТЗ) на изделие с обеспечением технологической гибкости производства, высокой производительности, бесперебойности работы технологического программно-управляемого оборудования.

В ИАСУ ГАЗ входят подсистемы (рис. 4.3):

САПР, которая конструирует изделия, узлы, детали, разрабатывает требования к ним;

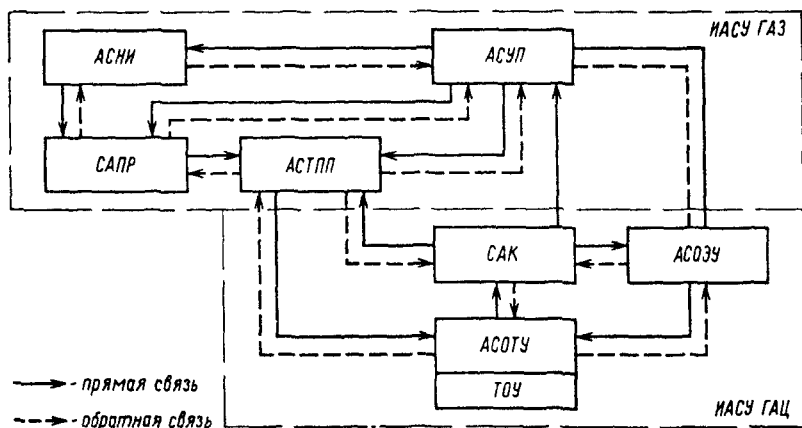


Рис. 4.3. Структурная схема ИАСУ ГАЗ

АСУП, планирующая и координирующая работу всех подсистем ИАСУ ГАЗ;

АСНИ, исследующая готовые образцы изделий на соответствие требованиям технического задания (ТЗ);

АСТПП, проектирующая технологические процессы и управляющие программы для станков с ЧПУ, технологическую оснастку, инструмент;

автоматизированная система организационно-экономического управления (АСОЭУ), осуществляющая текущее и оперативное планирование и учет хода производственных процессов;

автоматизированная система организационно-технологического управления (АСОТУ), управляющая технологическим объектом управления, сконструированным из комплекса ГПМ, снабженных локальными информационно-управляющими системами управления;

распределенная САК, контролирующая качество функционирования ГПС и качество изготовления изделий.

Практические подсистемы САПР, АСУП, АСНИ объединяют в комплекс верхнего уровня иерархии ГПС, на котором вырабатывается стратегия организационно-экономического управления, планируется загрузка ГПС, осуществляется подготовка производства для функционирования ГПС, автоматизированно проектируются изделия. Таким образом, компоненты АСУП — САПР—АСНИ образуют информационную среду для ГПС, реализованную в виде верхнего уровня общего распределенного банка данных ИАСУ ГАЗ. Компоненты АСТПП, АСОЭУ, САК, АСОТУ объединяют в комплекс иерархии нижнего уровня ГПС, на котором решаются тактические задачи организационно-технологического планирования и управления, автоматизированно готовятся технологические управляющие программы и осуществляется непосредственное цифровое управление технологическим объектом управления в режиме реального времени.

Эти подсистемы нижнего уровня иерархии (рис. 4.4) генерируют внутреннюю информационную среду, реализованную в виде нижнего уровня распределенного банка данных ИАСУ ГАЗ-банка данных ИАСУ ГАЦ со своими системами управления базами данных (СУБД).

В свою очередь, каждая подсистема ИАСУ ГПС, например АСУ ОТ ГПС, — очень сложная система, обладающая сложными информационной, организационно-экономической, организационно-технологической и функциональной структурами. Поэтому теоретической базой создания ИАСУ ГПС служит теория иерархических систем. Методологической базой создания ИАСУ ГПС служит системный подход. Известные принципы и приемы декомпозиции и интеграции, используемые соответственно для системного анализа и синтеза при системном проектировании ИАСУ ГПС машиностроительной отрасли,

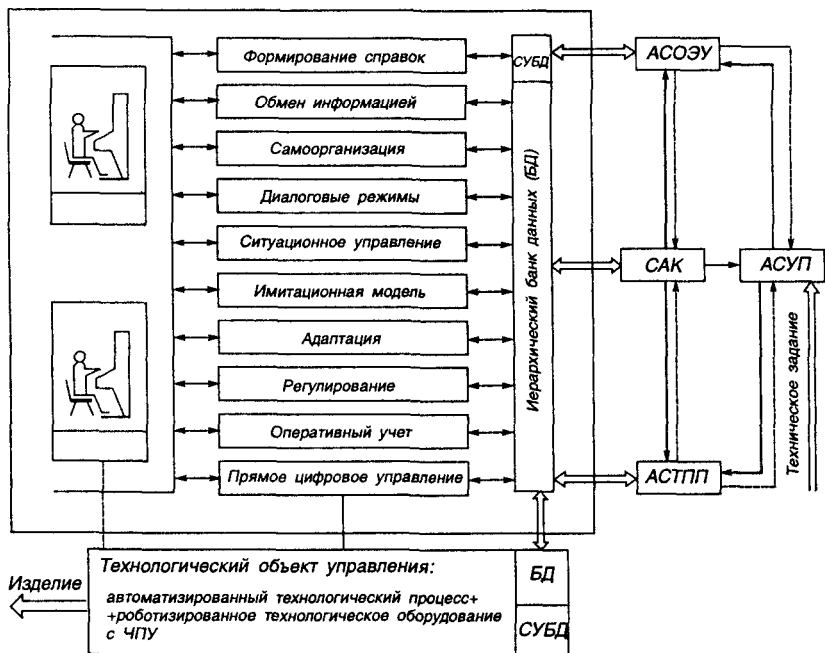


Рис. 4.4. Структурная схема АСУ ОТ ГПС

должны рассматриваться комплексно. Принципы декомпозиции позволяют представить сложную функциональную, организационно-экономическую, организационно-технологическую и информационную структуры, а также общую алгоритмическую модель функционирования ИАСУ ГПС в виде совокупности иерархически подчиненных функциональных компонентов, каждый из которых имеет определенные границы (система, подсистема, управляющий блок, комплекс задач, задача, процедура и т.д.).

Имитационные модели и многоуровневая иерархическая концепция являются основными средствами интеграции этих компонентов. В многоуровневой иерархии каждый уровень управления должен поддерживать значения переменных, задаваемых вышестоящим блоком, и, в свою очередь, должен устанавливать ограничения, критерии для подчиненных уровней управления. Эти процедуры многоуровневой координации носят итеративный характер.

Основные трудности в реализации концепции многоуровневой координации в ИАСУ ГПС связаны с широким диапазоном временных масштабов выполнения функций планирования и управления;

интервал изменяется от года при планировании на уровне ГАЗ до нескольких секунд при управлении технологическими процессами на уровне ГПМ. Главное научное управление в решении возникающих здесь проблем — концепция многослойной временной иерархии, согласно которой задачи планирования и управления на любом уровне разбивают на несколько подзадач с различными временными горизонтами и моделями, различающимися степенью детализации.

Аналогично задачи оптимального управления технологическим объектом управления (ТОУ) решают в реальном масштабе времени с применением концепции многослойной функциональной иерархии, позволяющей находить компромисс между стоимостью и точностью решения. В соответствии с этой концепцией выделяют четыре слоя каждой функции управления: самоорганизацию, адаптацию, оптимизацию, регулирование.

В ИАСУ ГПС горизонтальное объединение необходимых функций и ресурсов, гарантирующее минимум связей с другими подсистемами, сочетается с вертикальной интеграцией уровней планирования и управления. Поэтому необходимо создание многоуровневой ИАСУ ГПС с единой информационной базой и целью управления.

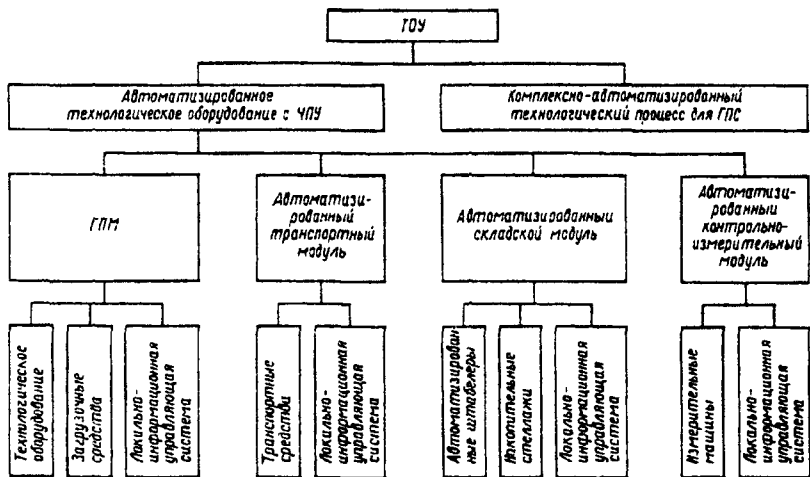
Комплексно-автоматизированные технологические процессы и роботизированное программно-управляемое технологическое оборудование составляют в комплексе ТОУ, которым управляет АСУ организационно-технологического класса.

На уровне ГПМ ТОУ является исполнительной частью ИАСУ ГПС и в него входят (рис. 4.5): ГПМ, состоящие из станков с ЧПУ; автоматизированные средства загрузки-выгрузки ГПМ; средства складирования; транспортные средства; контрольно-измерительные модули; организационные посты.

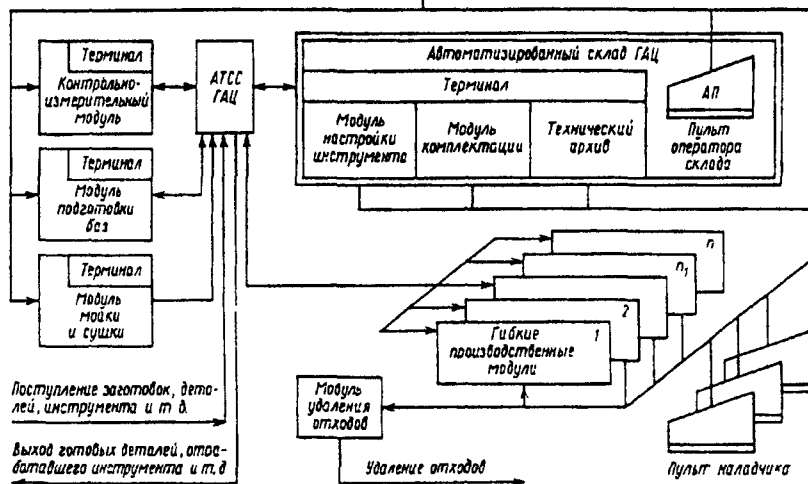
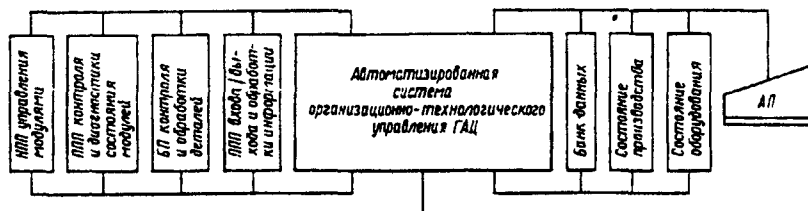
На уровне ГАУ и ГАЛ в ТОУ входит несколько ГПМ, АТМ, АСМ, объединенных единой АТСС и единой интегрированной АСУ (соответственно ИАСУ, ГАУ и ИАСУ ГАЛ). На уровне ГАЦ в ТОУ входит несколько ГАЛ и ГАУ, несколько автоматизированных внутрицеховых и цеховых складов, объединенных автоматизированной транспортной сетью и единой интегрированной АСУ на уровне цеха (ИАСУ ГАЦ). Такими образом, ТОУ машиностроения свойственны следующие особенности:

наличие как непрерывных, так и дискретных (дискретно-непрерывных) технологических процессов;

значительные объемы производства при широкой номенклатуре и различных партиях деталей, требующих изготовления и транспортирования большого числа инструмента, полуфабрикатов, заготовок и деталей;



а)



б)

Рис. 4.5. Структурная схема ТОУ на уровне ГПМ (а) и ГАУ (б)

многообразии организационно-технологических и организационно-экономических показателей производства;

связь между отдельными автоматизированными цехами, участками, линиями;

нестационарность производственных процессов, связанная с необходимостью производства на одном и том же технологическом оборудовании разнообразных изделий;

большое число возмущающих воздействий и, следовательно, стохастический характер поведения объектов управления;

значительная интенсивность материальных и энергетических потоков;

необходимость переработки больших массивов организационно-технологической и производственно-экономической информации в процессе принятия решений;

большая объемность и размерность задач планирования и управления и, следовательно, неизбежность их декомпозиции при решении на распределенной локальной вычислительной сети;

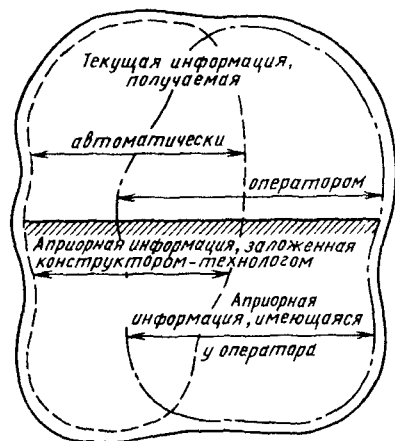
участие в управлении группы компетентных экспертов-операторов, руководителей ГПС (лиц, принимающих решения).

В машиностроении ИАСУ ГПС нужно проектировать, основываясь на принципах группового изготовления изделий, и обеспечивать быструю автоматическую перестройку производства с выпуска одного вида изделия на выпуск другого вида изделия в пределах технологических возможностей благодаря смене управляющих программ и инструкций. Режим работы ГПС можно интерпретировать как дискретный на малом промежутке времени и непрерывный на большом (24 ч в сутки, 8000—8500 ч в год).

Информационная база ИАСУ ГПС. Принципиальной особенностью ИАСУ ГПС является то, что она позволяет осуществлять оперативное управление производством в реальном масштабе времени на уровне АСУ ОТ и максимально к нему приближенным на уровне АСОЭУ. Высокая оперативность достигается благодаря достаточной и необходимой информации. Так как объемы данных велики и их взаимосвязи сложны, необходимо организовать информационную базу таким образом, чтобы обеспечить эффективную обработку информации, а также ее достоверность, своевременность, полноту, точность, адресуемость, обращение и доступность, сравнимость и др. Постоянные значительные изменения номенклатуры выпускаемых изделий требуют адекватных изменений в адаптивном информационном обеспечении в ИАСУ ГПС. Поэтому необходима гибкость структур системы обработки данных и всего программного обеспечения.

На рис. 4.6 условно показано распределение априорной и текущей информации в ИАСУ ГПС. Априорная разделяется на информацию

Рис. 4.6. Характер распределения априорной и текущей информации в ИАСУ ГПС



о процессах, критериях, методах управления и т.д., заложенная в систему конструкторами и экономистами (информация компонент САПР, АСУП, АСНИ), и информацию, которой располагают технологи и организаторы производства (информация компонент АСТПП, АСОЗУ, САК, АСУ ОТ). Эти два множества пересекаются, но ни одно из них не включает в себя другое полностью. Очевидно, что в случае достаточно сложных ГПС

проектировщик системы управления не может знать технологию на уровне технолога, а технолог — систему управления на уровне системного и прикладного программиста и т.д. Аналогично текущая и оперативная информация в ИАСУ ГПС представляет собой объединение двух непересекающихся множеств — информации, полученной в процессе работы диспетчерами и операторами, а также информации, генерируемой автоматическими ГПМ и другими элементами ГПС.

Функционирование ИАСУ ГПС связано с обработкой больших объемов информации за короткие сроки. Рассмотрим некоторые особенности информации, циркулирующей в ИАСУ ГПС и необходимой для нормальной работы системы, а также обеспечивающей непрерывное изменение программы функционирования ИАСУ ГПС в связи с быстрой перестройкой технологии и сменой объектов производства, в частности, информации комплекса (ТОУ—ИАСУ).

Она включает следующую информацию:

- о структуре и характеристиках ТОУ, о множестве входов и выходов ТОУ, их взаимосвязи и характеристике устройств съема информации и каналов связи;

- о состоянии ТОУ и ИАСУ;

- о характеристиках и состоянии внешней среды, в которой функционирует ИАСУ ГПС, и действующих на нее внешних возмущениях;

- о целях функционирования ИАСУ ГПС, критериях, по которым оценивается эффективность работы, и ограничениях, подлежащих учету;

- о допустимых и предпочтительных стратегиях планирования и управления в ИАСУ ГПС.

При одновременной разработке и проектировании ИАСУ ГПС как комплексной системы технология—оборудования — САУ нет достаточной информации:

об описании характеристик ТОУ и ИАСУ; известны лишь приближенные аппроксимирующие модели объектов или модели заданы с точностью до набора параметров, т.е. известна структура ТОУ и ИАСУ, но не известны точные значения параметров моделей; в распоряжении проектировщиков имеются лишь экспериментальные оценки, мнение экспертов и т.д., но нет полной информации о связи между критериями, характеризующими качество работы системы, и ограничениями;

о состоянии (начальном, текущем) ТОУ и ИАСУ ГПС; выходные или промежуточные переменные состояния ТОУ и ИАСУ или изменяются со случайными погрешностями, или не поддаются измерению и контролю; пространство наблюдений меньшей размерности, чем пространство состояний; в ИАСУ имеется агрегированная или искаженная информация;

о поведении всей или ее отдельных компонентов; внешняя среда, ТОУ или ИАСУ содержат непредсказуемые или стохастические процессы; в систему управления входят активные элементы с некоторой свободой и самостоятельностью поведения, например, лица, принимающие решения;

об общей цели, а также частных критериях эффективности, внешних ограничениях и требованиях к системе ИАСУ с точки зрения оптимальности ее функционирования; неопределенность такого вида часто возникает, когда не удастся сформировать обобщенный критерий или систему частных критериев в виде математических выражений, неполна система нормативов на новое изделие и т.д.; в то же время выбор управляющих воздействий, а также стратегии и тактики планирования и управления в ИАСУ ГПС определяется имеющейся в данный момент информацией.

Таким образом, ценность разнообразной информации в ИАСУ ГПС значительно выше, чем, например, в традиционных системах АСУП и АСУТП. Поэтому, как правило, ИАСУ ГПС функционирует на основе развитого банка данных, имеющего базу данных и систему управления базой данных. Под базой данных (БД) понимаем совокупность взаимосвязанных, хранящихся вместе данных при такой минимальной избыточности, которая допускает их оптимальное использование для одного или нескольких приложений. Данные запоминаются так, чтобы они были независимы от предметной области. Для генерации или модификации существующих данных, а также поиска данных в БД применяют общий управляемый способ. При использовании распределенной вычислительной сети из разных ЭВМ, имеющих свои

промышленно-сопровожаемые СУБД, возникает сложная проблема разработки и внедрения неоднородных БД.

Определяющими особенностями применения технологии построения БД в ИАСУ ГПС являются ее иерархическая структура, отображенная на распределенную локальную вычислительную сеть (ЛВС) ЭВМ. Необходимость такой децентрализации в первом приближении определяется четырьмя уровнями в организационной структуре ИАСУ ГАЗ, а также спецификой информационных моделей основных подсистем ИАСУ ГАЗ, существенно различающихся по характеру и методам обработки информации. Реализация централизованного банка данных при значительной неравномерности потоков информации на четырех уровнях привела бы к усложнению системы и неэффективности использования локальной сети ЭВМ. Например, возникающие в ГАУ изменения состояния ГПМ (завершение операции, выход из строя модуля и др.) прерывают работу ЭВМ, требуют обработки информации в реальном масштабе времени в соответствии с системой установленных относительных и абсолютных приоритетов.

При этом время, необходимое на обработку прерываний, определяется выполнением соответствующей программы внесения изменений в динамические информационные массивы ГАУ и ГПМ и может оказаться значительным. При повышении частоты прерывания до определенного значения может оказаться, что центральная (заводская) ЭВМ или цеховая ЭВМ не могут интенсивно обрабатывать прерывания в реальном масштабе времени. Это приводит к возникновению значительных объемов необработанных запросов прерываний и в итоге — к простоям технологического оборудования или к тупиковым ситуациям в работе вычислительной системы.

В результате анализа возникающих производственных ситуаций выявляют прерывания, которые может обрабатывать система или ЭВМ каждого уровня, и тем самым сводится к минимуму информационный обмен между уровнями. На нижнем уровне информационное содержание банков данных определяется в основном задачами управления ГПМ и может быть представлено в виде наборов часто корректируемых массивов, хранящих программу, управляющую работой ГПМ в текущий момент времени, и массивов, отражающих изменение режимов его работы с течением времени. Одна из основных задач проектирования банка данных уровня ГАУ или ГАЛ — определение структур, способов хранения, обработки и обмена информацией различных поколений массивов в соответствии с различными видами и спецификой ГПМ и сроками хранения массивов.

На уровне ИАСУ ГАЗ банк данных состоит из массивов, содержащих календарно-плановые, трудовые, технологические и другие нормативы, обеспечивающие решение задач оперативно-календарного

планирования (ОКП), диспетчеризации и управления. На этом уровне осуществляется хранение управляющих программ для ГПМ, технологических и других нормативов. Здесь могут решаться операционные и отладочные задачи АС ТПП, в том числе разработка программ для ГПМ и достаточно простых автоматизированных технологий.

С уровня ИАСУ ГАЗ, на котором реализуются наиболее сложные функции САПР, АСНИ, АСУП, в банк данных ИАСУ ГАЦ могут передаваться требуемые для данного цеха составляющие нормативных массивов, массивы комплексно-автоматизированных технологических процессов и другая информация.

Иерархия уровней банка данных соответствует сквозной технологии автоматизированного проектирования по схеме: САПР—АСНИ—АСУП—АСТПП—АСОЭУ—АСОТУ—ТОУ—САК—АСУ—АСПИ (здесь АСПИ — автоматизированная система производственных испытаний).

Рассмотрим задачи и особенности системного проектирования банков данных на двух нижних уровнях — ИАСУ ГПС и ИАСУ ГАЦ.

Основные задачи проектирования следующие: распределение массивов по уровням и приоритетам; определение характеристик обмена информацией между уровнями; проектирование логических и физических структур хранения информации; выбор базовой системы программного обеспечения для реализации распределенного банка данных; обеспечение итеративного быстросходящегося автоматизированного процесса проектирования программного обеспечения.

Существенным является проектирование конкретных структур хранения информации.

Существующие подходы к проектированию ориентируются, как правило, на уже имеющиеся СУБД. Но более эффективна разработка технических требований к СУБД на основе реализуемой информационной модели проблемно-ориентированной ИАСУ ГПС. Такой подход тем более необходим в ИАСУ ГПС машиностроения, где очень высоки требования к эксплуатационным характеристикам банка данных. В первую очередь это относится к выбору класса СУБД из числа трех наиболее распространенных: сетевых, иерархических и реляционных.

Определяющими при выборе структуры банка данных уровня ГАЦ помимо его состава являются особенности реализации на его основе комплекса функциональных задач по оперативному управлению производством, включая задачи оперативно-календарного планирования (ОКП), учета хода производства и его диспетчеризации. Эти особенности определяются, во-первых, необходимостью интеграции производственного планирования и управления в подсистемах, входящих в ИАСУ ГАЦ, в единую систему ИПУ и, во-вторых, — необходи-

мостью полной автоматизации основных технологических процессов организационно-экономического управления на уровне цеха и завода.

Автоматический пооперационный учет хода производства на уровне ГАУ и ГАЦ, а также доступность информации о состоянии производства в любой момент времени позволяют непрерывно оперативно планировать производство и управлять им, вносить коррективы по мере изменения производственной ситуации. Это, в свою очередь, требует принципиально новых моделей ОКП в рамках интегрированного планирования и управления (ИПУ), эффективных и в то же время достаточно простых, чтобы реализация алгоритмов на РВС ЭВМ была быстрой и оперативной при управлении производственным процессом. Существенное требование к модели ОКП в ИАСУ ГАЦ — минимизация объема и размерности ее информационной базы, позволяющая реализовать оперативное управление вычислительными ресурсами РВС ЭВМ уровня ГАЦ.

Информационная система на уровне ИАСУ ГАЦ должна поддерживать три иерархически упорядоченных сверху вниз вида деятельности предприятия: 1) стратегическое и текущее планирование, 2) организационное управление, 3) оперативное планирование и управление. Все эти три вида деятельности ГПС должны базироваться на электронных средствах сбора, обработки, хранения и распределения данных. Первые два вида деятельности тесно связаны с принятием решений, а третий вид — с подготовкой оптимальной информации для первых двух.

4.2. Возможности использования ЭВМ для информационного обеспечения автоматизированного производственного процесса

Структура лингвистического и информационного обеспечения. Комплекс языков ИАСУ ГАЦ приведен на рис. 4.7. Язык пользователя представляет совокупность правил и форм обмена информацией в системе человек—ЭВМ. Язык пользователя разрабатывается одновременно с функциональной и информационной частями технического проекта ИАСУ ГАЦ.

Язык системного оператора предназначен для управления работой ИАСУ ГАЦ во всех режимах ее функционирования. Он включает язык администратора системы и язык администратора баз данных.

Язык администратора системы предназначен для управления работой программного обеспечения ИАСУ. Разрабатывается на стадии рабочего проектирования обслуживания управляющего вычислительного комплекса (УВК). Язык администратора БД предназначен для

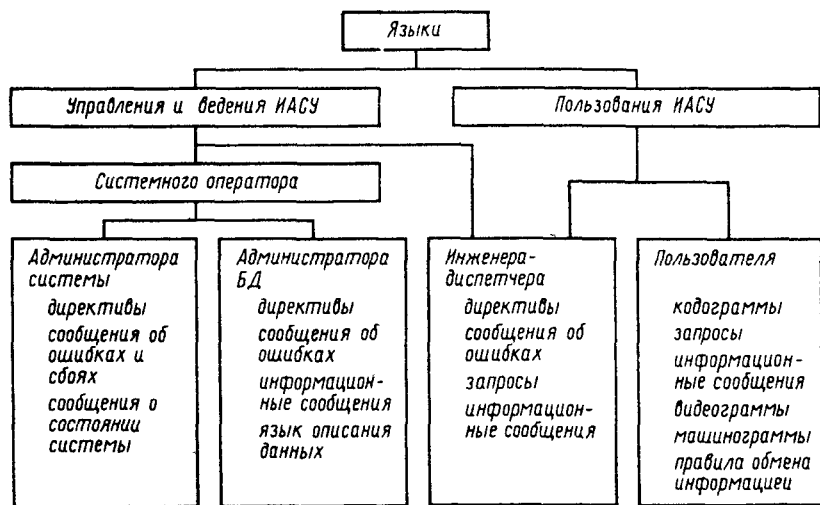


Рис. 4.7. Комплект языков ИАСУ ГАЦ

управления процедурами создания и ведения баз данных. Разрабатывается при создании систем управления базами данных.

Язык оператора-диспетчера предназначен для управления вычислительным процессом по диспетчированию процесса производства. Разрабатывается на стадиях технического и рабочего проектирования.

Информационное обеспечение (ИО) ИАСУ ГАЦ представляет собой совокупность информации, содержащейся в массивах данных, документах, сигналах, а также методы ее организации, хранения и контроля, обеспечивающие взаимосвязанное решение задач управления ГАЦ. Структурная схема информационного обеспечения ИАСУ ГАЦ приведена на рис. 4.8. Она определяет необходимый состав компонентов ИАСУ ГАЦ и их взаимосвязи для организации рационального вычислительного процесса, а также направления обеспечения информационной совместимости взаимодействующих компонентов. Регламентация структуры ИО способствует рациональной организации его проектирования.

В состав ИО ИАСУ ГАЦ входит административная, экономическая, оперативно-производственная, оперативно-технологическая и нормативно-справочная информация. Административная информация (распорядительная, служебно-информационная, по личному составу) обеспечивает общее руководство ГАЦ. Экономическую информацию составляют данные технико-экономического планирования (ТЭП), учета, отчетности производства и обеспечения, а также анализа деятельности ГАЦ.

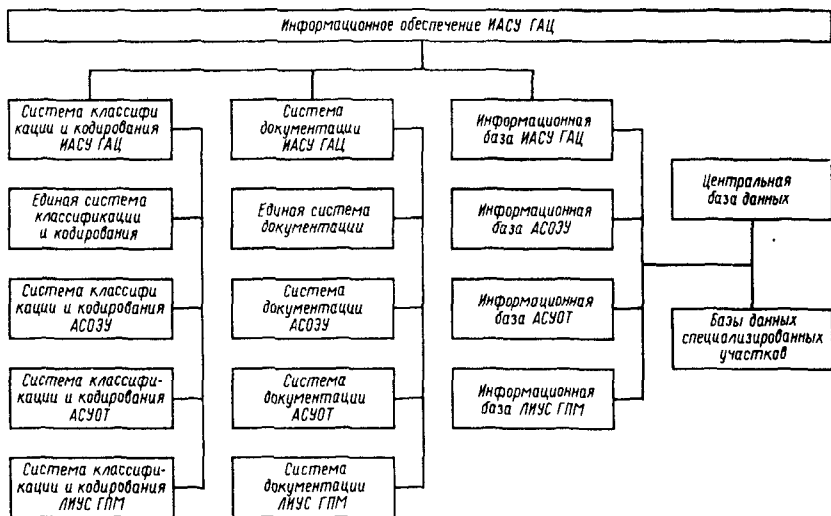


Рис. 4.8. Структурная схема информационного обеспечения ИАСУ ГАЗ

Оперативно-производственную информацию составляют данные системы АСОЭУ. Оперативно-технологическую информацию составляют данные системы АСУОТУ, а также системы АСПП ИАСУ ГАЗ.

В нормативно-справочную информацию входят справочники, классификаторы, нормативы и нормы, формы плановой, учетной и отчетной документации, словари, календарь и т.д.

Информационное обеспечение ИАСУ ГАЗ является составной частью информационной базы предприятия, основанной на максимальном использовании технических средств сбора, передачи, хранения, отображения и документирования информации.

Технология функционирования информационного обеспечения ИАСУ ГАЗ заключается в следующем. Руководство ГАЗ по утвержденному регламенту: получает от информационно-вычислительного центра (ИВЦ) предприятия, от функциональных, технических и эксплуатационных служб производственные программы и планы (годовые, квартальные, месячные) производства и поставок, технического обслуживания и ремонтов, корректировки и данные о выполнении планов, нормативно-справочную информацию, необходимую для расчета десяти-пятидневных и суточных планов-графиков, сменно-суточных заданий (ССЗ), запросы на предоставление специальных справок; представляет предложения к программам и планам, запросы на необходимую информацию для формирования месячного десяти-

пятидневного и суточных производственных планов, графиков и справки по запросам.

Руководство ГАЦ после расчетов и утверждения на цеховом уровне передает группе диспетчерского управления планы-графики, скорректированные ССЗ, ответы и запросы на справочную информацию, формируемую диспетчерской группой.

Группа диспетчерского управления: представляет предложения относительно планов производства и заявки на производственное обеспечение, отчеты и справки по запросам; уточняет с экономистом данные, необходимые для формирования и корректировки ССЗ; представляет ответы на запросы рабочих мест и запрашивает рабочие места.

Группа обслуживания и эксплуатации УВК представляет предложения по планово-предупредительному ремонту (ППР) вычислительной техники, комплексов технических средств, осуществляет ремонт и эксплуатацию КТС АСУ.

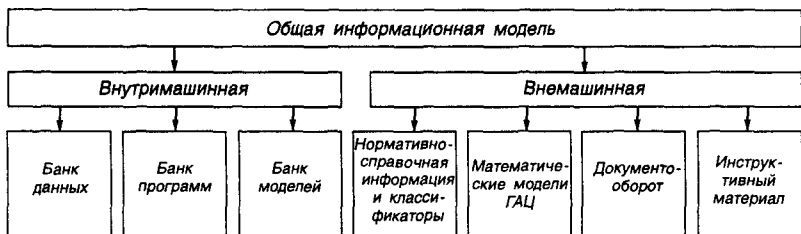
Группа подготовки управляющих программ на основании календарных планов разрабатывает программы изготовления деталей, ведет и корректирует библиотеку управляющих программ для станков с ЧПУ и программ управления автоматическими технологическими единицами оборудования (ГПМ).

Операторы рабочих мест представляют диспетчерской службе заявки и запросы по обеспечению производства, учетные данные и справки по запросам.

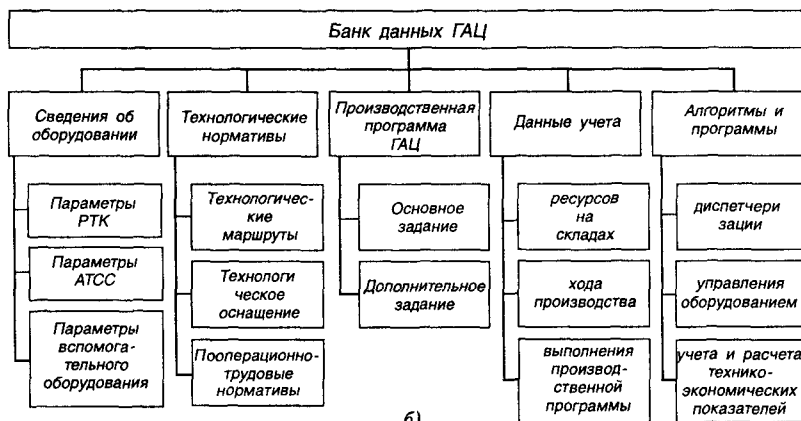
Принципиальная схема информационного взаимодействия в ИАСУ ГАЦ приведена на рис. 4.9. В состав общей информационной модели ИАСУ ГАЦ помимо указанных на рис. 4.9 входят частные модели: технологического оборудования; технологических нормативов; календарно-плановых нормативов; производственной программы; оснащения производства; оперативного календарного планирования; диспетчирования; производственной ситуации; учета и контроля.

Все эти модели, используя различную степень агрегирования информации, могут быть применены на всех уровнях ИАСУ. Состав моделей зависит от назначения и характера циркулирующей в управляющей системе информации — административной, экономической, оперативно-производственной, нормативно-справочной, а также характера сообщений и сигналов (рис. 4.9, б).

Информационное обеспечение ИАСУ ГАЦ включает: совокупность моделей информационной базы, конкретизированных по уровням представления данных; банк данных (на малых ЭВМ); банк данных (на больших ЭВМ); совокупность технологии моделирования, создания и ведения информационных баз.

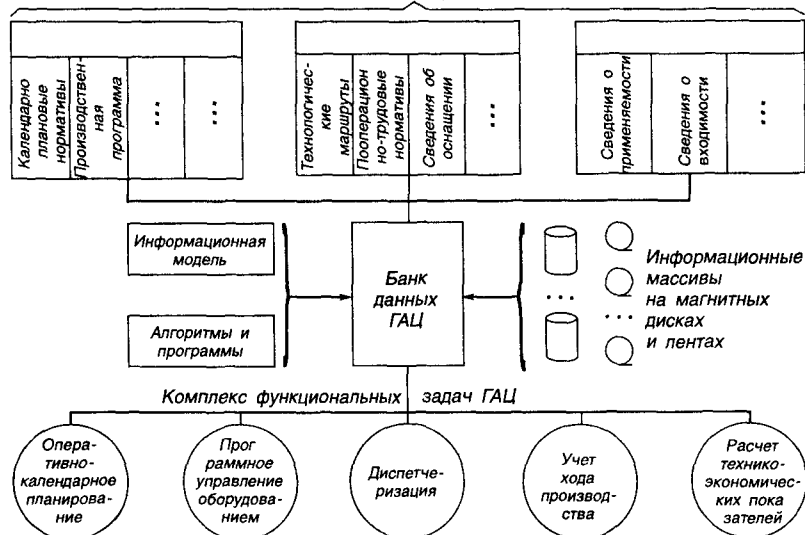


а)



б)

Входная информация



в)

Совокупность моделей информационного обеспечения должна включать модели: инфологические, концептуальные, внешние, внутренние. Инфологические модели должны отражать и увязывать все виды информации ИАСУ и реализовывать все процедуры ее обработки. Концептуальные модели обеспечивают единое иерархическое представление массивов информационной базы и их структур. Внешние модели представляют структуру документов и сообщений, обрабатываемых на каждом УВК. Внутренние модели на УВК должны обеспечивать: представление структур наборов данных на физическом уровне; независимость данных от программ; автоматизацию процессов создания и ведения баз данных.

Упрощенная структурная схема банка данных ИАСУ ГАЦ приведена на рис. 4.9, *в*.

Банк данных малых ЭВМ содержит: программные средства банка данных малых ЭВМ; совокупность БД, распределенную по участкам и уровням управления.

В банк данных больших ЭВМ входят программные средства банка данных больших ЭВМ и базы данных подсистем ИАСУ.

Программные средства банка данных (ПСБД) больших и малых ЭВМ должны быть управляемы, универсальны, независимы от обрабатываемых данных. ПСБД должны быть адаптируемы к условиям конкретных предприятий. Для этого в банк данных СМ ЭВМ должна быть включена система адаптации информационного обеспечения, позволяющая генерировать состав информационной базы и конфигурацию программных средств банка данных в автоматическом режиме.

Совокупность БД обеспечивает: упорядоченное хранение предметной, нормативной, плановой и учетной информации; распределение информации ИАСУ ГАЦ по УВК в соответствии с принципами полноты и достоверности.

Технология моделирования, создания и ведения БД должна включать описание следующих технологических процессов: по формированию моделей информационных баз (ИБ); по генерации моделей нижестоящего уровня на основании моделей вышестоящего уровня; созданию баз данных; по ведению баз данных; по подготовке и вводу информации в вычислительную систему.

Структура системы цехового информационного обеспечения ИАСУ ГАЦ строится по принципу децентрализованной трехуровневой информационно-управляющей системы, совмещающей в себе функции АСТПП, АСОЭУ и АСУ ОТ.

Верхний уровень управления — уровень ГАЦ — реализует функции АСОЭУ: оперативное управление производством; экономическое управление производством; ведение оперативного учета состояния производства на участках; ведение информационных массивов; хранение библиотеки управляющих программ для станков с ЧПУ на всю номенклатуру ГАЦ; ведение автоматизированного банка данных; обмен информацией с АСУП по каналам связи (или на машинных носителях), с АСУ ОТ.

Средний уровень управления — уровень ГАУ — реализует следующие функции: координацию работы системы в реальном масштабе времени; сбор, первичную обработку и хранение технической информации; хранение текущей информации о состоянии оперативного и общего складов; хранение массивов сменно-суточных заданий; подготовку и обмен информацией с нижним уровнем управления и АСОЭУ; оперативное отображение информации; выдачу контрольных данных руководству ГАЦ и ГАУ; диагностику состояния комплекса технических средств; диагностику состояния оборудования; расчет и хранение управляющих программ для станков с ЧПУ на сутки; хранение управляющих программ для работы оборудования; оперативный учет выполнения сменно-суточных заданий.

Нижний уровень управления — уровень технологического оборудования (ГПМ) — реализует следующие функции: вызов управляющих технологических программ для станков с ЧПУ и управляющих программ работы оборудования; управление технологическим оборудованием; управление станочными роботами.

На среднем и нижнем уровнях управления реализуются функции АСУ ОТ.

Основные компоненты информационного обеспечения ИАСУ ГАЦ следующие: система показателей; система классификации и кодирования; информационная база; совокупность методов создания и ведения информационной базы.

Принцип организации системы показателей ИАСУ ГАЦ следующий: адекватное отображение состояния производственного процесса; включение информации, необходимой для сопровождения изготовления деталей без документов; обеспечение интегрированной обработки данных.

Система классификации и кодирования определяет способы и формы обозначения и представления данных в информационной базе. Единая система классификации и кодирования строится с учетом действующих на предприятиях отрасли общесоюзных и отраслевых классификаторов.

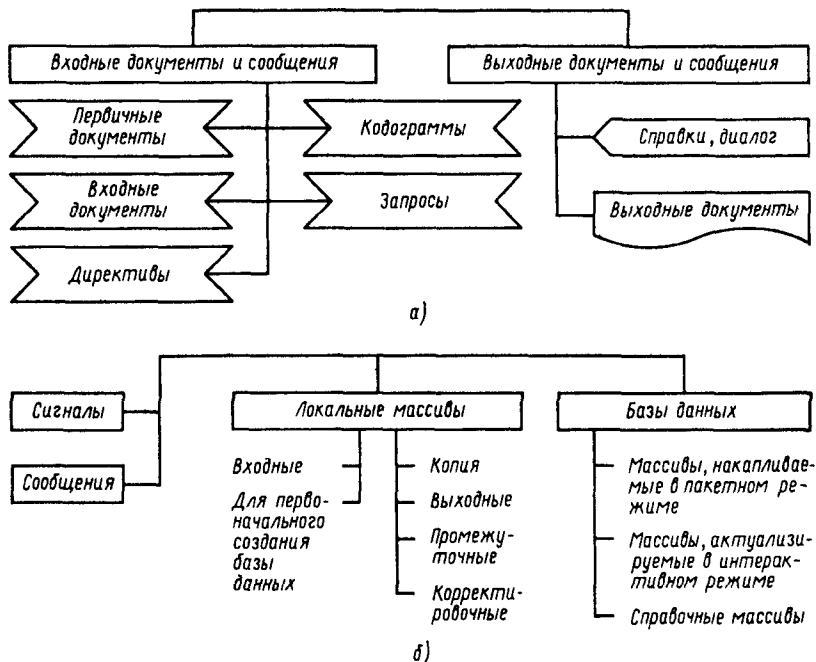


Рис. 4.10. Структурная схема информационной базы:
a — внемашиной; *б* — внутримашиной

В основу классификации информации положены случайные признаки: режим обработки; способ размещения (ведения); вид представления; характер отображения; сроки актуальности; роль в процессе управления.

Принципы создания системы классификации и кодирования следующие: кодирование информации с учетом требований, налагаемых спецификой технологического процесса и обработки данных; совместимость кодовых обозначений.

Информационная база ИАСУ ГАЦ является способом организации информации и состоит из двух частей: внемашиной ИБ (рис. 4.10, *a*) и внутримашинной ИБ (рис. 4.10, *б*). Под внемашиной ИБ понимают совокупность всех документированных сведений, сообщений, используемых в ИАСУ ГАЦ. При создании внемашиной ИБ необходимы: унификация первичных входных и выходных документов при необходимом минимуме числа документов; автоматизация сбора, подготовки и ввода информации в ЭВМ.

При внутримашинной ИБ понимают совокупность данных на машинных носителях, сгруппированных по определенным признакам. Совокупность БД имеет иерархическую структуру. Информация, содержащаяся в каждой БД, отражает состояние производства на соответствующем уровне (завод, цех, участок, подсистема, ТОУ).

Обмен информацией между БД производится в соответствии с технологическим процессом обработки данных в случайных режимах: рабочем, аварийном, пакетном. Обмен информацией между пользователем и БД осуществляется в следующих режимах: запуска, рабочем, аварийном, пакетном.

Методы создания и ведения информационной базы следующие: отображение системы показателей; классификация и кодирование технико-экономической информации; унификация и минимизация числа документов; первоначальное создание БД; структурная организация БД; корректировка массивов БД; реорганизация и защита баз данных от разрушения и от несанкционированного доступа.

Документация ИО ИАСУ ГАЦ должна соответствовать стандартам.

Базой для построения системы управления интегрированной производственной системой является сеть ЭВМ.

Внешняя организация может быть представлена в общем случае комбинацией следующих объектов: терминала; отдельной ЭВМ; локальной сети; глобальной сети; процесса или информационной базы в некоторой ЭВМ, входящей в сеть, которая не принадлежит данной внешней организации.

Решение задачи построения сети включает ряд этапов:

1) содержательный анализ внешних взаимодействий; определяются задачи взаимодействия и формулируются требования к функциональным возможностям сетевой поддержки (пересылка файлов, удаленный терминал и другие сетевые службы);

2) анализ способов представления внешней организации в сетевой среде (ЭВМ, терминал, база данных и др.); определяются способы представления внешних организаций в сетевой среде;

3) анализ способов представления отделения во внешней сетевой среде (см. п. 2);

4) определение характерных типов соединения внутренних и внешних сетевых объектов; множество соединений логических каналов получается как множество пар внутренних и внешних сетевых объектов, между которыми необходимо организовать взаимодействие на логическом уровне (решение зависит от результатов анализа на внутреннюю сетевую среду);

5) определение способов соединения внутренних и внешних сетевых объектов; определение точки доступа к внешней сетевой среде и

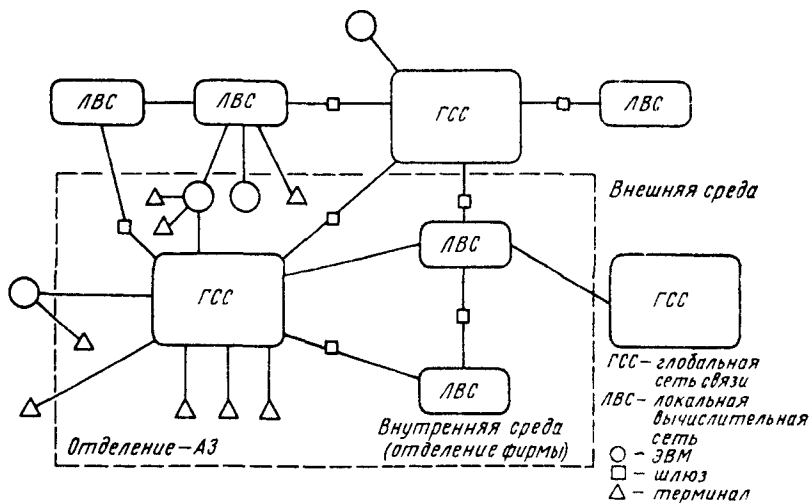


Рис. 4.11. Связь отделения фирмы с внешними организациями в сетевой среде

физические каналы доступа; определение отображения логических связей на физические.

При выборе конкретных способов подключения возможно множество вариантов, которые получаются как комбинация следующих основных:

непосредственного подключения (например, подключения внутреннего терминала к локальной сети внешней организации);

подключения через внутреннюю цепочку (например, подключения терминала к внутренней локальной сети, имеющей выход вовне);

подключения через внешнюю цепочку (например, подключения к глобальной сети, к которой также подключена локальная сеть внешней организации).

На рис. 4.11 показаны некоторые возможные схемы соединения внутренних и внешних сетевых объектов. Кроме рассмотренных вариантов возможно также подключение через выделенные каналы (кабельные, спутниковые и наземные радиоканалы).

Архитектура аппаратных средств. Иерархия компонентов системы управления (контроллеров) производственным подразделением показана на рис. 4.12. Под контроллерами здесь понимается компонент с четко определенными функциями и интерфейсами. Если данный компонент реализован в виде отдельной микропроцессорной системы, под контроллером можно понимать соответствующую микроЭВМ.

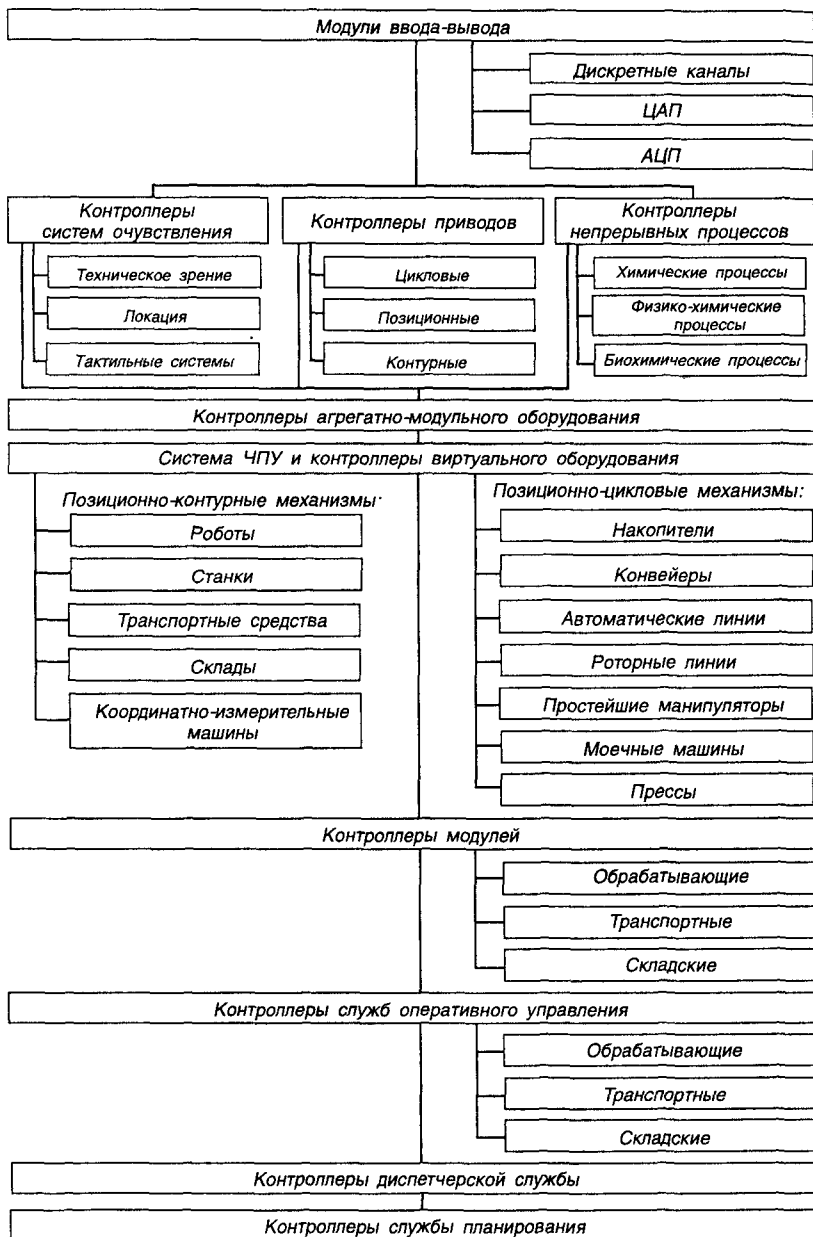


Рис. 4.12. Иерархия компонентов управления производственным подразделением

4.3. Информационное обеспечение сборочного производства. Уровни управления

Спецификой сборочного процесса является манипуляция на уровне управления технологическим оборудованием объектами сборки с помощью сборочных машин или роботизированных технологических комплексов. Управляющие программы составляют на основании жемы сборки и технологических карт, описывающих процесс сборки. После перехода на язык управляющих программ информационное обеспечение сборочного производства может быть рассмотрено с общих позиций построения ИАСУ производственной системы (ПС).

Под ПС понимают целостную структурную единицу, предназначенную для выпуска продукции определенного вида в пределах своих технологических возможностей при условии обеспечения необходимыми ресурсами.

Для ПС могут быть выделены следующие основные виды связей, формирующих внешний интерфейс:

технологический интерфейс, определяющий возможности обработки, а также свойства и параметры преобразуемых объектов (заготовок) и всех ресурсов, необходимых для работы (инструмента, оснастки и т.д.);

механический интерфейс, определяющий конкретный способ подачи материальных объектов в ПС и выдачи их обратно;

организационный интерфейс;

информационный интерфейс, определяющий содержание, форму построения и процедуры обмена информацией с внешней средой (персоналом и системой управления верхнего уровня);

коммуникационный (сетевой) интерфейс, определяющий средства и возможности обмена информацией с внешней средой;

пользовательский интерфейс, определяющий средства и возможности персонала по управлению производственной системой;

интерфейс инфраструктуры, определяющий подключение к системе жизнеобеспечения (энергоснабжение, канализация, подача воздуха, СОЖ и т.д.).

При детальном анализе возможна дополнительная структуризация каждого из указанных видов интерфейсов. Для каждого из интерфейсов могут быть определены и свойственные ему виды точек доступа.

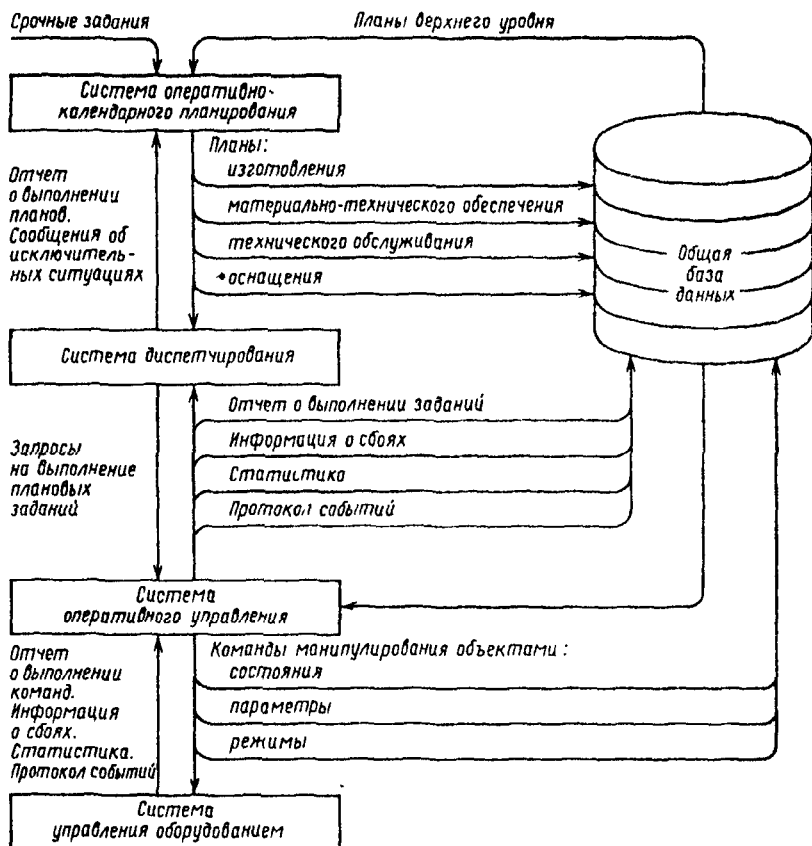


Рис. 4.13. Уровни системы управления производственной системы

Уровни системы управления. Производственная система имеет несколько уровней управления (рис. 4.13): планирование; диспетчирование; оперативное управление; управление оборудованием.

Данная иерархия характерна для ПС любого ранга. В частности, система оперативного управления (СОУ) на уровне завода выполняет межцеховые перевозки, обслуживание общезаводских складов и координацию работы цехов. На уровне участка СОУ выполняет транспортирование между рабочими модулями участка, связь с внешней средой, обслуживание склада участка и координацию работы модулей при выполнении планов участка. Таким обра-

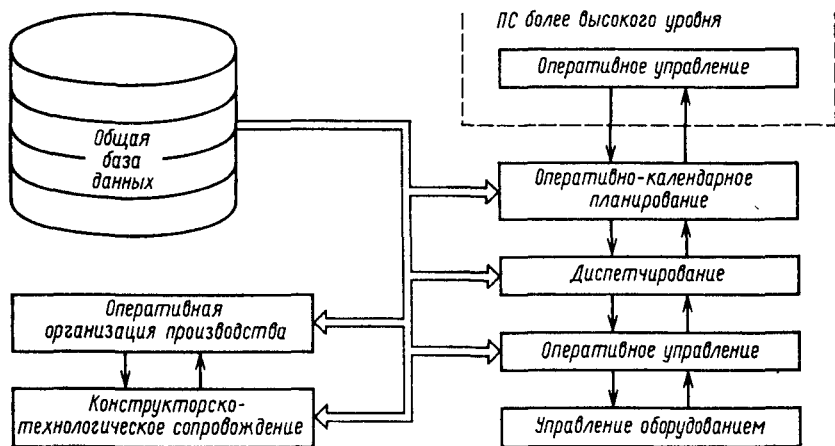


Рис. 4.14. Информационные потоки в системе управления

зом, благодаря рекурсивному характеру структуры ПС функции СОУ (а также и других уровней иерархии управления) интерпретируются таким же образом независимо от ранга ПС. При этом в силу рекурсивности уровень оперативного управления завода взаимодействует с уровнем планирования цехов и т.д. Этим достигается целостность всей системы управления. Информационные потоки в СОУ показаны на рис. 4.14.

П л а н и р о в а н и е п р о и з в о д с т в а . 1. Система планирования обеспечивает разработку стратегии для системы управления процессом производства изделий с учетом состояния внутренней и внешней среды в соответствии с заданными критериями функционирования ПС и заказами.

2. Планирование осуществляется методом "just in time" (точно вовремя).

3. При планировании используется многовариантная технология изготовления изделий, разработанная системой САПР и САПР ТП, с которыми она имеет обратную связь.

4. Система планирования ориентирована на непрерывное изменение состояния внешней среды при динамической адаптации структу-

ры, состава, надежности и технологических возможностей внутренней среды ПС.

5. Система производит вариантное планирование производства по различным критериям или их возможной комбинации.

6. Система планирования производства имеет распределенную иерархическую структуру, у которой возможна динамическая реконфигурация, и содержит ряд подсистем различного функционального назначения и горизонта планирования.

7. Система имеет следующую иерархическую структуру: подсистема "Перспективное планирование"; подсистема "Текущее планирование"; подсистема "Оперативное планирование".

8. Планирование осуществляется методом "сверху вниз" с обратной связью по состоянию внешней и внутренней среды методом "снизу вверх".

9. Система планирования должна быть реализована в виде многоуровневой экспертной системы или представлять ряд вложенных частных экспертных подсистем со своими базами знаний и множеством правил на каждом уровне иерархии.

10. Система должна предоставлять пользователю-непрофессионалу в области вычислительной техники естественный языковой интерфейс так, что возможно вмешательство в процесс планирования любого уровня и объяснение последовательности принятия того или иного решения по требованию пользователя при ее работе в автоматическом режиме.

11. Архитектура системы планирования должна быть открытой и позволять параметрическую, структурную и критериальную настройку без перерегенерации системы и допускать поэтапный ввод системы в эксплуатацию.

12. Практическая реализация системы планирования должна быть выполнена с использованием распределенной БД и вычислительной сети, единых для всех систем ПС в целом.

13. Для обмена информации внутри ПС необходимо придерживаться по возможности протокола MAP.

Подсистема перспективного планирования. 1. Перспективное планирование выполняется для определения стратегии производства, которая может включать в себя рекомендации по выпуску нового изделия, прекращению производства некоторых изделий, изменение объемов, номенклатуры деталей для производства.

2. Перспективное планирование формулирует цели и порядок выполнения плановых заданий нижнего уровня.

3. Цель перспективного планирования — оценка предполагаемого эффекта, который может быть оценен на основании результатов моделирования реализации стратегии на производстве. Вследствие этого система должна включать в себя систему моделирования.

Подсистема текущего планирования. 1. Текущее (среднесрочное) планирование предназначено для составления производственных программ, удовлетворяющих требованиям выработанной стратегии. Производственные программы формируются на основе информации о состоянии производственных ресурсов, оборудования материалов.

2. Для составления производственной программы необходимо оценить соответствие имеющихся производственных мощностей и ресурсов требуемыми. Если требуемые ресурсы не соответствуют имеющимся, необходимо сбалансировать мощности до приемлемого уровня.

Подсистема оперативного планирования. 1. Оперативное планирование — это набор действий, связанных с существующей иерархией и поэтапным планированием производственного процесса, который основывается на оперативной информации о текущем состоянии процесса производства.

Заказы, в большинстве случаев, рассчитываются по программе "Текущий план", но должны быть предусмотрены действия в исключительных ситуациях.

2. Частота планирования будет зависеть от типа и характера возможных исключительных ситуаций.

Д и с п е т ч и р о в а н и е. Основные функции подсистемы следующие: входной (выходной) контроль комплектующих и материалов для технологического процесса; техническое обслуживание и ремонт оборудования; диагностирование; управление ресурсами; управление персоналом; испытания.

Перечисленные выше функции рассматриваются как функции, обеспечивающие выполнение общей цели— инициализации, а также контроль подготовки и выполнения плановых заданий изготовления, материального обеспечения и технического обслуживания.

Конечная цель системы диагностирования — обеспечение ритмичного функционирования производства в соответствии с плановыми заданиями. Поэтому система диагностирования (регистрация событий и обеспечение информацией о появлении сбоев станка или системы) должна выполнять ряд функций управления ресурсами и персоналом.

Информация, получаемая в системе диагностирования, должна использоваться в системе оперативного управления, планирования и организации производства на различных уровнях для принятия

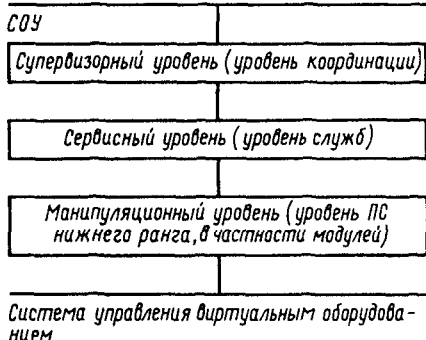


Рис. 4.15. Уровни СОУ

правильного решения о следующем: использовании склада (модуля, участка, цеха, завода); размещении имеющейся рабочей силы; размещении и составе ремонтных бригад; замене оборудования; перегруппировке производственных процессов для выполнения плановых заданий и т.д.; определении межоперационных заделов и ресурсов и др.

О п е р а т и в н о е у п р а в л е н и е. Система оперативного управления (СОУ) принимает с соседнего верхнего уровня команды на выполнение заданий (планов) и координирует работу оборудования, а в общем случае — работу ПС более низкого ранга. Параметры плановых заданий, так же как и необходимая технологическая информация, выбираются из общей базы данных. В процессе выполнения плановых заданий СОУ передает на верхний уровень и заносит в общую базу данных учетную информацию.

Задания (планы) верхнего уровня могут быть разбиты на следующие основные классы: материально-техническое обеспечение; изготовление; техническое обслуживание; оснащение.

По существу, СОУ обеспечивает управление материальными потоками, т.е. инициализацию, координацию и контроль выполнения манипуляций с ресурсами в соответствии с заданиями, поступающими с верхнего уровня. Таким образом, в состав СОУ входят следующие уровни (рис. 4.15):

супервизорный, который интерпретирует задания верхнего уровня, превращая их в последовательность команд службам СОУ;

сервисный (уровень служб), который содержит глобальные службы транспортировки, складирования, обработки и др.;

манипуляционный, который содержит ПС нижнего ранга и, в частности, модули различных типов (транспортные, складские и рабочие);

виртуального оборудования, который принимает запросы на выполнение манипуляций оборудованием внутри модулей.

Службы СОУ. Важной составляющей рассматриваемой архитектуры является служба, под которой подразумевается объединение функционально эквивалентных компонентов ПС (принадлежащих, быть может, различным уровням иерархии ПС), являющееся для

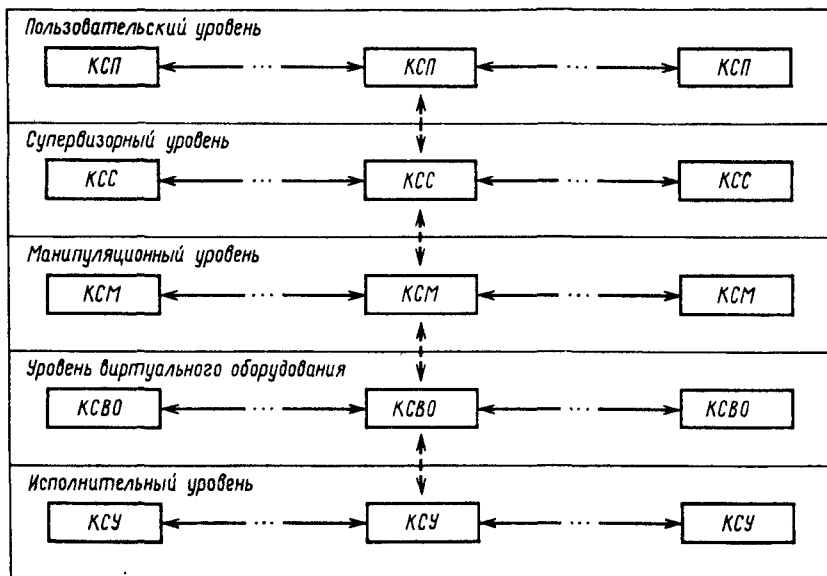


Рис. 4.16. Структура доступа службы СОУ в сетевой среде

остальных компонентов ПС единым объектом, предоставляющим определенные услуги. Примером может служить транспортная служба, которая имеет единообразный интерфейс (протокол доступа) для всех компонентов ПС (персонала и других служб).

Уровни и компоненты службы. Служба состоит из функциональных компонентов — контроллеров службы (КС), образующих иерархию случайных уровней (рис. 4.16):

супервизорного, состоящего из супервизорных контроллеров службы (КСС);

манипуляционного, состоящего из контроллеров модулей (КСМ);

виртуального оборудования, состоящего из контроллеров виртуального оборудования (КСВО);

исполнительного, состоящего из контроллеров исполнительных устройств (КСУ).

Пользователи службы, представленные соответствующими контроллерами (КСП), располагаются на верхнем уровне иерархии.

Пользователь получает доступ к службе, логически подключаясь к одному из супервизорных контроллеров. В дальнейшем вопросы пользователя передаются именно этому контроллеру, который факти-

чески представляет службу. Отношение подключения устанавливается динамически.

Каждый КСС координирует работу одного или нескольких модулей службы. Контроллер модуля, в свою очередь, координирует работу компонентов оборудования модуля, представленных своими функциональными моделями — контроллерами виртуального оборудования. КСВО управляет одним или несколькими контроллерами исполнительных устройств, реализующих физическое выполнение манипуляций.

Система протоколов службы. В соответствии с иерархией уровней службы СОУ предусмотрена система протоколов службы: вертикальных и горизонтальных, определяющих взаимодействие соответственно контроллеров соседних уровней и в пределах одного уровня.

У п р а в л е н и е о б о р у д о в а н и е м. Уровень управления оборудованием непосредственно отвечает за выполнение манипуляций с материальными объектами, участвующими в технологическом процессе. Здесь одной из важнейших проблем является обеспечение независимости управления более высоких уровней от особенностей конструктивного исполнения и средств управления исполнительными механизмами технологического оборудования. Действительно, например, операции загрузки (разгрузки) деталей на технологическом оборудовании могут выполняться различными манипуляторами. В то же время все они в данной ситуации являются функционально эквивалентными устройствами, способными выполнять одинаковую функцию. Поэтому для системы управления ПМ, по существу, важно лишь то, что они в состоянии отработать команды "загрузить (разгрузить) деталь".

Аналогично анализ может быть проведен и для других функций, выполняемых различными видами оборудования. Существует понятие виртуального оборудования, т.е. структурно-функциональной модели, описывающей внешнее поведение реального оборудования определенного типа с точки зрения его взаимодействия с внешней средой по некоторому протоколу. Таким образом, может быть определен виртуальный робот, виртуальный оклад, виртуальное транспортное устройство и т.д. Фактически для системы управления верхнего уровня компонент виртуального оборудования представляется как некоторый функциональный блок, воспринимающий команды на выполнение определенных функций и сообщаящий о результатах их выполнения. И с этой точки зрения внутреннее устройство данного компонента не имеет значения, оно скрыто от системы управления благодаря ведению протокола взаимодействия с ним.

4.4. Автоматический контроль размеров деталей

Контроль деталей, изготавливаемых на станках с ЧПУ. На станках с ЧПУ, работающих в автономном режиме, первоначальная размерная настройка и текущая подналадка, наблюдение за износом режущих инструментов, своевременная замена износившихся инструментов и введение размерной настройки после такой замены выполняют оператором (наладчиком).

На станках, работающих в составе ГПС, все эти функции выполняются автоматически, так как ГПС оснащены комплексом аппаратных и программных средств, являющихся элементами системы автоматического контроля (САК). При наличии САК уменьшаются простои оборудования и создаются предпосылки для многостаночного обслуживания и работы в третью смену (при ограниченной численности персонала). Однако оснащение системами автоматического контроля станков, работающими автономно (не в составе ГПС), экономически невыгодно. В этом случае, используя высокие точностные характеристики станков, измеряют детали непосредственно на станке.

Современные многоцелевые станки с высокой точностью координатных перемещений, которая не уступает точности координатно-измерительной машины (КИМ), позволяют измерять размеры заготовок непосредственно на станках, а КИМ использовать только для выборочного комплексного контроля изделий.

Недостатком измерения заготовок непосредственно на станке являются его дополнительные простои и, как следствие, — снижение его производительности. Целесообразность такого измерения определяется экономическим эффектом.

Технические средства контроля размеров деталей разнообразны. Для измерения используют специальные стационарные и переносные приспособления с механическими, оптическими, электрическими, пневматическими, индуктивными и другими датчиками. Системы активного контроля предназначены для замера заготовки в процессе обработки. Обычно они имеют обратную связь с системой ЧПУ станка и в случае отклонения положения инструментов подают сигнал на его корректировку. Существуют также пассивные системы контроля, связанные либо с остановкой станка для замера обрабатываемой заготовки универсальными средствами, либо со снятием детали со станка после обработки (для дальнейших измерений).

Измерительные устройства выполняют прямой контроль деталей, когда они определяют их размеры, и косвенный контроль, когда они определяют поломку инструментов и их износ. Различают датчики

первого типа, которые периодически "ощупывают" заготовку и инструмент, и датчики второго типа, непрерывно измеряющие составляющие силы резания или крутящий момент на шпинделе станка. По результатам измерения последних можно определить состояние режущего инструмента, так как чем более затуплен инструмент, тем больше силы резания и крутящий момент.

С помощью датчиков первого типа (непосредственного измерения) производятся измерения наиболее точно, но при этом увеличиваются затраты времени и тем самым снижается производительность станка. Кроме того, подналадочные операции могут быть осуществлены лишь при обработке следующей заготовки.

Датчики второго типа не имеют указанных недостатков, но они менее точны, так как в процессе измерения регистрируется суммарный эффект, зависящий от состояния инструмента, фактического припуска, твердости обрабатываемого материала и параметров резания. При этом достаточно трудно выявить влияние каждого из этих параметров в отдельности.

Наиболее распространены и перспективны датчики первого типа, которые можно разделить на индикаторы контакта (датчики касания) и головки отклонения. Датчики касания состоят из головки и электронного блока. Оснащенный ими станок, работая в режиме координатно-измерительной машины, проверяет линейные размеры обрабатываемых заготовок по направлениям своих координатных осей.

Примером может служить роботизированный токарный модуль КТ141ПРМ, оснащенный устройством ЧПУ мод. 2У32 и измерительным комплектом БВ4271, в состав которого входят два щупа датчика касания. Датчик 2 (рис. 4.17, а), предназначенный для измерения заготовки 4, закрепленной в патроне 5, занимает одну из позиций револьверной головки 1 токарного станка и соединен с электронным блоком с помощью телеметрической (оптоэлектронной) связи. В зависимости от особенностей конфигурации измеряемой заготовки датчик оснащается щупом 3 в форме шарика или диска. Для измерения инструмента предусмотрен датчик со щупом 7 (рис. 4.17, б) в нулевой точке базовой втулки 6.

На станках с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы при выполнении контрольных операций измерительный щуп устанавливается в одну из позиций инструментального магазина станка. Автооператор смены инструмента при необходимости измерения детали по команде от ЧПУ устанавливает измерительный щуп непосредственно в шпиндель станка и подводит его в соответствующие точки рабочей зоны. Измерительный щуп по программе может проверять перед обработкой положение заготовок в приспособлении-спутнике и установку спутника на столе станка. Это очень важно, так как при отсут-

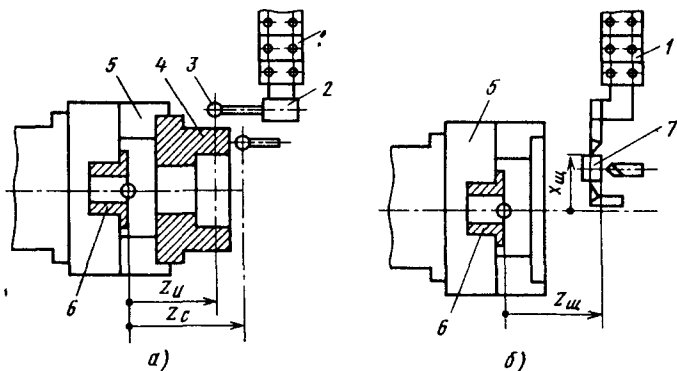


Рис. 4.17. Схема работы датчиков касания

ствии человека необходимо определить идентичность поступившей на станок заготовки, программы ЧПУ и подготовленного комплекта режущего инструмента (эта операция называется идентификация). Для идентификации деталей предусматривают специальные конструктивные элементы, например, приливы определенной конфигурации. Опознавание этих элементов методом ощупывания свидетельствует об идентификации деталей. Достоинством измерительных головок является возможность немедленной корректировки обнаруженных ошибок и отклонений.

Датчики касания связаны с устройством ЧПУ специальной интерфейсной платой, которая содержит программно-доступные счетчики перемещения (по одному на координату). Каждая координата имеет датчик обратной связи, который дает импульс (сигнал) на вход соответствующего счетчика перемещения. Схема передачи импульсов в систему ЧПУ станка при измерении датчиком касания диаметра обрабатываемых заготовок на токарном станке с ЧПУ приведен на рис. 4.18. Таким образом, точность измерения при использовании датчиков касания зависит от погрешностей их срабатывания, измерительной системы станка, системы обратной связи станка, от тепловых деформаций и некоторых других причин. Такой способ контроля приводит к погрешностям измерения и вызывает необходимость корректировки.

Более широкое распространение получили головки различной конструкции (благодаря своей относительной простоте). Они фиксируют фактическое положение измерительного шупа, находящегося в контакте с контролируемой поверхностью детали при перемещении рабочего органа станка по управляющей программе. Поэтому нет

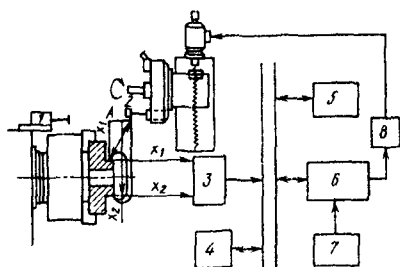


Рис. 4.18. Схема измерения диаметра обрабатываемых заготовок на токарном станке с ЧПУ

необходимости в связи головки с устройством ЧПУ станка, что увеличивает точность выполняемых измерений.

Головку отклонения для определения размеров деталей закрепляют в стандартной шпиндельной оправке и при наладке станка помещают в одно из гнезд инструментального магазина. Для перемещения в рабочее положение измерительная головка по заданной программе подается автооператором станка в шпиндель и автоматически там закрепляется. После измерений головка автоматически возвращается в инструментальный магазин.

Одноконтakтная однокоординатная измерительная головка (рис. 4.19) позволяет опознать соответствующую заготовку по характерным для нее поверхностям, контролировать точность установки (базирования) приспособления-спутника или заготовки, измерять размеры, а также отклонения формы различных поверхностей. Она предназначена для работы на многоцелевых станках с ЧПУ сверлильно-фрезерно-расточной группы. Такая измерительная головка выполнена в виде переходной оправки 1 с закрепленным в ней виброконтактным датчиком 2 и устройством 3 электрической связи с автономным электронным отсчетным устройством или с устройством ЧПУ станка. Головку, закрепленную в стандартной шпиндельной оправке 4, устанавливают в инструментальный магазин, и для необходимых измерений автооператор магазина подает ее в шпиндель станка.

На производстве используются также двухконтakтные, двухкоординатные и другие измерительные головки, которые без измерительной системы станка или совместно с ней определяют диаметры заготовок и отклонения формы их отверстий, контролируют межцентровые расстояния, расстояния между плоскостями заготовки, отклонения положения приспособления-спутника или заготовки на станке, смещение точки позиционирования шпинделя станка от расчетной точки, отклонения формы прямолинейных и цилиндрических поверхностей и т.д.

Контрольно-измерительные операции вне станка. Контрольно-измери-

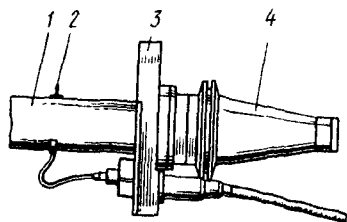


Рис. 4.19. Измерительные головки для измерения размеров заготовок на многоцелевом станке с ЧПУ

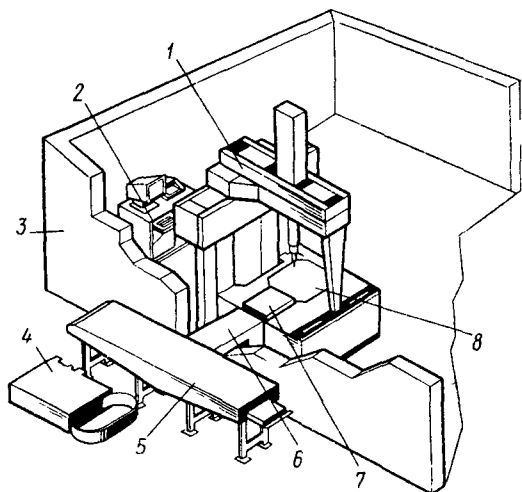


Рис. 4.20. Координатная измерительная машина фирмы "КОМАТ"

тельные операции могут проводиться на КИМ. Они отличаются более высокими производительностью и точностью измерений, чем у металлорежущих станков, на которых выполняется контроль, но гораздо дороже последних.

На рис. 4.20 показана КИМ итальянской фирмы "КОМАТ" в составе ГПС. Она расположена в отдельном термokonстантном помещении 3, имеющем на входе климатизирующий шлюз, который сохраняет внутри помещения требуемую температуру и предотвращает излишнюю при подаче контролируемых деталей. В помещении смонтированы комбинированные транспортный и приемный столы, а также устройство смены щупов. Детали, смонтированные на приспособлении-спутнике (паллете) 8, подаются автоматической транспортной тележкой 4 на тактовый стол 5, откуда они через транспортный 6 и приемный 7 столы подаются в рабочую зону измерительной машины 1.

Узел транспортирования деталей управляется программным устройством. Оно имеет диалоговую связь с ЭВМ 2 измерительного агрегата и управляющей ЭВМ ГПС верхнего уровня, чем достигается оптимальная синхронизация функционирования общего рабочего процесса без вмешательства оператора.

В автоматизированный измерительный комплекс входят две координатно-измерительные машины с управляющими ЭВМ, которые объединены в управляемую с помощью ЭВМ систему с централизованным складом деталей. Благодаря складу измеряемых деталей

предотвращаются простои дорогостоящих КИМ вследствие ожидания деталей. Контролируемые заготовки устанавливаются вручную на паллете и после ввода в память ЭВМ кодового числа подаются на позицию приемки-выдачи. Все остальные операции происходят автоматически: сначала заготовки накапливаются на складе и сортируются для установления в порядке очередности для измерений. Затем с помощью манипулятора они подаются к двум устройствам, которые распределяют их между обеими спаренными машинами.

После измерения заготовки возвращаются на склад и при необходимости подаются на стол выдачи, откуда транспортируются автоматизированной транспортной тележкой на ГПС для продолжения производственного процесса или передаются на сборку.

Вызов программы измерений на соответствующую измерительную машину, смена требуемой комбинации щупов, расчетное выравнивание детали в координатной системе машины и весь процесс измерений автоматизированы.

Измерительный комплекс работает в смешанном режиме — как в автоматическом, так и в автоматизированном. При необходимости любая координатно-измерительная машина может быть выключена из автоматической системы и работать автономно с участием оператора.

Технические и экономические преимущества автоматизированных измерительных комплексов следующие: оптимальное использование дорогостоящих КИМ в результате высокой их загрузки; сокращение количества высококвалифицированного обслуживающего персонала (специалистов-метрологов); работа в режиме ограниченного обслуживания во вторую и третью смены; размещение рассматриваемых комплексов непосредственно в производственных цехах без строительства специальных термоконстантных помещений.

Основной недостаток подобных измерительных комплексов — высокая стоимость, что ограничивает область их применения. Обычно такие комплексы наиболее эффективны для контроля деталей небольшой массы и габаритов.

Для измерения деталей больших размеров используют КИМ, которые могут либо входить в состав ГПС, либо располагаться отдельно, но управляются единой ЭВМ ГПС верхнего уровня. ГПС соединяется с КИМ специальной транспортной системой. При этом КИМ должны быть оснащены приспособлением для автоматического приема и зажима спутника с заготовкой.

Перемещением измерительной бабки со щупом управляет индивидуальная система ЧПУ этой машины. Полученные в результате измерений на КИМ данные служат для корректировки и организации производственного процесса на ГПС.

4.5. Автоматическое диагностирование режущего инструмента

Большое влияние на точность обработки оказывает состояние режущего инструмента, которое может контролироваться как прямым, так и косвенным методами.

К прямому методу относится автоматическое измерение длины резов, сверл, разверток и других инструментов с помощью датчиков касания.

Косвенный метод основан на использовании датчиков для измерения сил резания и крутящих моментов, характеризующих состояние режущих инструментов. Типовые датчики — измерительное устройство силы резания с тензодатчиками (рис. 4.21, а), пьезоэлектрический датчик для измерения деформаций (рис. 4.21, б), магнитоупругий датчик для измерения деформаций (рис. 4.21, в), магнитоупругий трансформаторный датчик (рис. 4.21, г), магнитоупругий датчик для измерения крутящего момента (муфтового типа) (рис. 4.21, д), тензодатчики для измерения крутящего момента (рис. 4.21, е), магнитоупругий датчик для измерения крутящего момента — для измерения магнитных свойств скручиваемого участка вала (рис. 4.21, ж), датчик для определения крутящего момента по силе тока двигателя привода (рис. 4.21, з).

Степень изнашивания и целостность инструмента контролируются датчиками-подшипниками, смонтированными в шпинделе обрабатывающего станка. Износ или поломка режущей кромки инструмента влияет на силу резания и силу тока на приводе главного движения. Для регистрации этих параметров систему автоматического контроля состояния инструмента выполняют следующим образом. На шпинделе станка (рис. 4.22) монтируют подшипники качения 1 и 2, оснащенные тензометрическими датчиками. По мере изменения силы резания меняется нагрузка на подшипники, воспринимаемая датчиками. Информация в виде сигнала поступает по соединительному кабелю 3 на усилитель и устройство обработки результатов измерения, управля-

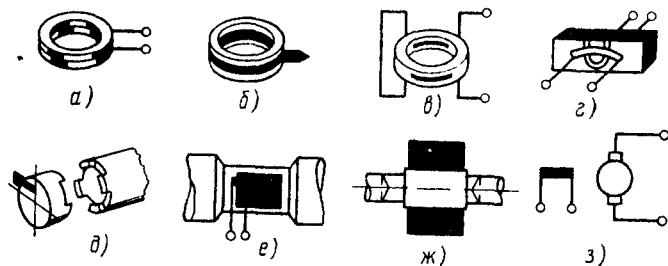


Рис. 4.21. Типовые датчики, используемые для измерения сил и моментов

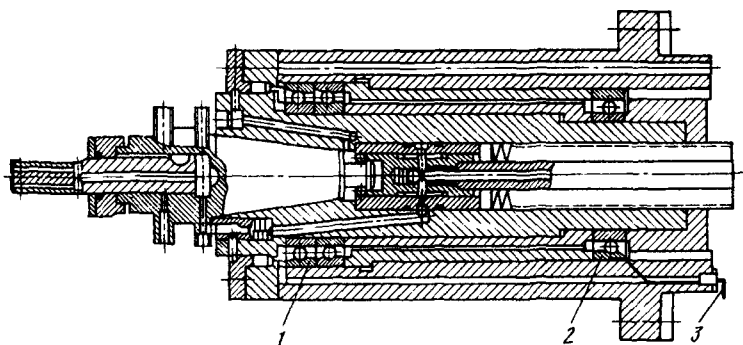


Рис. 4.22. Шпиндель станка, оснащенный датчиками-подшипниками

мое микропроцессором. Значения получаемых сигналов сравниваются с контрольными (заданными) и вырабатывается соответствующий сигнал. Если фактические значения нагрузки на подшипник не превышают расчетных, то критический износ не наступил и инструмент может эксплуатироваться далее. Если же значения нагрузки на подшипник превышают допустимое, то инструмент изношен и подлежит замене.

Рассмотрим наиболее простой метод определения поломок режущего инструмента. Проверяемый инструмент после предварительного вызова подпрограммы автоматически вставляется в шпиндель станка и подается на устройство измерения длины, устанавливаемое в рабочей зоне станка с ЧПУ так, что оно занимает определенное положение относительно заданной (нулевой) точки. Затем щупами измеряется длина инструмента и полученное значение сравнивается с программируемым — таким образом выявляется поломка инструмента. Разработаны алгоритмы, позволяющие определять в автоматическом режиме состояние целостности режущего инструмента, а также автоматические методы, основанные на использовании бесконтактных электронных устройств и других современных технических средств.

Параметры инструмента проверяют во время, до и после работы. Во время работы контролируют параметры резания, функционально зависящие от его износа, например, силу тока двигателя привода главного движения, период стойкости инструмента, его нагрузку, фиксируемую специальными подшипниками, снабженными тензоизмерительными датчиками.

До и после обработки деталей контролируют состояние измеряемого инструмента, которое определяют поворотными щупами. Используют также комбинации указанных видов контроля.

4.6. Автоматическое диагностирование оборудования

Кроме проверки параметров заготовок или деталей, системы контроля осуществляют диагностирование процессов и оборудования непосредственно при выполнении производственных операций. К задачам диагностирования относятся контроль правильности использования соответствующего типа инструмента, его геометрической формы, степени изнашивания, контроль влияния параметров внешней среды на процессы обработки, проверка правильности и надежности закрепления заготовок в зоне обработки. При этом появляется возможность оперативного вмешательства в производственный процесс и проведения корректировки отклонений. Эти задачи решаются путем совмещения функций обрабатывающего оборудования и КИМ в одном агрегате. С этой целью разрабатывают специальные измерительные роботы, которые являются элементами ГПС. Такие роботы, не замедляя производства, могут выполнять 100%-ный контроль обрабатываемых деталей практически любой формы.

Для выявления технического состояния оборудования ГПС проводятся диагностические работы, которые запрограммированы в системах ЧПУ и управляются ЭВМ верхнего уровня.

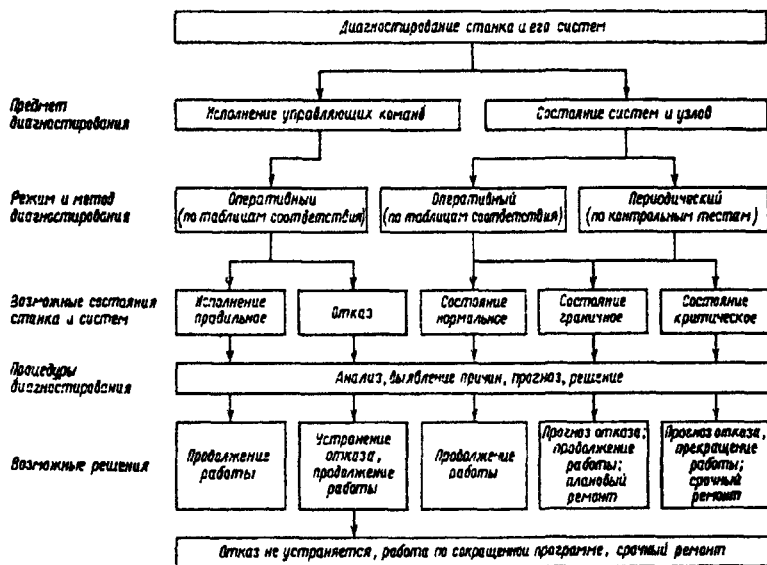


Рис. 4.23. Структура системы автоматического диагностирования неисправностей металлорежущих станков

АСУ современных станков осуществляет оперативное диагностирование исполнения управляющих команд и тестовый контроль аппаратных и программных средств. В основу методов технического диагностирования положен принцип прямого или косвенного контроля с помощью специальных датчиков или датчиков системы управления оборудованием. Диагностическая информация обрабатывается во многих случаях ЭВМ, для которых составляются специальные программы.

Наличие автоматической системы диагностирования особенно важно для ГПС, работающей в режиме ограниченности обслуживаемого персонала. Общая структура системы автоматического диагностирования неисправностей металлорежущих станков представлена на рис. 4.23.

4.7. Идентификация объектов в ГПС

Как правило, в автоматизированном производстве идентифицируются следующие объекты: палеты с заготовками и инструмент. Рассмотрим способы кодирования и распознавания, принятые рядом европейских фирм-производителей ГПС.

Система кодирования палет. Каждая палета оснащена блоком фирмы "Филлипс" (Германия), на которой электромагнитным способом записывается индивидуальный код палеты. Блоки считывания (записи) кодов установлены на складе и на накопителях заготовок и деталей в рабочей позиции в ГПМ.

Структура кода, который может содержать до 20 десятичных знаков, следующая:

x	xxx	xxx	xx	xx	xx	x	xx	xx	xx
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1 — тип палеты (с заготовками, бункерами стружки, технологической оснасткой);

2 — код заготовки;

3 — код детали;

4 — число заготовок;

5 — число заготовок, которые нужно обработать;

6 — число уже обработанных заготовок на станке (в процессе обслуживания палеты идет постоянная перезапись ее кода);

7 — установ, в котором обработаны детали, указанные в предыдущей позиции (всего может быть три фазы обработки);

8 — номер позиции в палете, с которой началась укладка;

9 — индивидуальный код палеты (одновременно система управления ГПС может отслеживать до 25 палет);

10 — резерв.

При кодировании и последующем распознавании инструментов применяется штриховой код (barcode), который представляет собой последовательность темных и светлых полос. Штриховой код считывается с помощью считывателя типа карандаша, после чего содержание кода вводится в соответствующую ЭВМ и распечатывается на терминале.

Если код неправильный, то выводится сообщение об ошибке. После выполнения успешного считывания содержание кода перемещается на своем месте в таблице инструментов.

Если код по какой-то причине не считывается "карандашом", его можно подать вручную, с помощью клавиатуры.

4.8. Методы подготовки, доставки к оборудованию и отладки управляющих программ

Проектирование системы технологической подготовки (ТП) производства в ГПС включает системы автоматизированного проектирования технологических процессов (САПР ТП) и автоматизированной подготовки управляющих программ (САП УП).

Эффективность функционирования ГПС в значительной степени зависит от качества проектирования технологических процессов обработки резанием и подготовки УП для программно-управляемого оборудования.

В России и за рубежом разработаны САП, ориентированные на определенные типы оборудования, например сверлильные (СПС-С, ЕХАРТ-1) и токарные (СПС-Т, ЕХАРТ-11) станки. С помощью этих САП решается специфическая задача технологического проектирования — на основе геометрической и технологической информации о процессе изготовления детали на заданном станке разрабатывается управляющая программа, т.е. последовательность команд на управление рабочими органами станка.

Вследствие использования в ГПС оборудования различных видов необходимо использовать и различные САП, а кроме того, квалифицированный технолог-программист должен многократно записывать информацию о детали и структурных элементах технологического процесса ее обработки. Поэтому одной из актуальных проблем функционирования ГПС является создание комплексной САПР ТП, обеспечивающей проектирование технологических процессов для деталей

всех классов в условиях единичного и серийного производства с одновременной разработкой УП для программно-управляемого оборудования при одноразовом вводе исходных данных. При этом используются следующие принципы: системный подход и возможность совершенствования системы; блочность построения структуры; модульный принцип программирования; стандартизация элементов системы; стандартизация методов решения задач проектирования.

Это достигается: разработкой структуры и функциональных связей между блоками исходя из конечного результата проектирования; синтезом возможных решений и выбором оптимального варианта решения на отдельных этапах проектирования; единством информационной базы; этапностью внедрения; возможностью системного развития.

В САПР ТП стандартизуются: состав и структура задач проектирования; состав информационных массивов; формы входных и выходных документов; алгоритмы и процедуры решения отдельных задач.

Входные документы при автоматизированном проектировании следующие: описание чертежа детали на формализованном технологическом языке; задание на проектирование.

Выходные документы следующие: маршрутные карты, управляющая программа, карта наладки и листинг по каждой технологической операции, выполняемой на программно-управляемом оборудовании.

Технологическое проектирование включает шесть этапов.

Этап 1 — описание деталей на формальном технологическом языке (ФТЯ), подготовка данных на машинных носителях, ввод, контроль и накопление описаний в архиве. Описание деталей производится на ФТЯ со свободным форматом записи.

Для описания информации используются записи, структура которых имеет следующий вид:

запись: = <идентификатор><1><параметр><,>/<параметр>/...

В качестве идентификатора языка используются мнемонические обозначения: ДЕТ — деталь, ДОК — документ, МАТ — материал; ГАБ — габаритные размеры; ХТО — химико-техническая обработка и т.д. Записи указываются только в случае данного вида информации на чертеже и могут следовать в произвольном порядке. Такая структура обеспечивает гибкость языка и простоту корректировки данных.

Следует также отметить, что ФТЯ является открытым языком, т.е. возможна его модернизация путем добавления в случае необходимости новых видов записей.

В качестве машинных носителей могут использоваться магнитные ленты и дискеты. При вводе записей осуществляется их контроль по формату, структуре и составу параметров. Описания деталей накоп-

ливаются в архиве, построенном на основе использования устройств прямого доступа (магнитных дисков).

Этап 2 — проектирование технологического процесса. На этом этапе осуществляются: подготовка исходной информации для проектирования; назначение возможных видов заготовок; назначение маршрутов обработки поверхностей детали; расчет межпереходных припусков; расчет режимов резания и укрупненное нормирование; выбор вида и расчет габаритных размеров заготовки; определение порядка следования технологических переходов; расчет межпереходных размеров; выбор оборудования; назначение режущего и измерительного инструмента.

В результате на этом этапе формируется кодированный массив элементарных технологических переходов, для каждого из которых указываются параметры поверхности, размерные, точностные и режимные параметры, модель станка, коды режущего и измерительных инструментов.

Этап 3 — формирование технологического документа. При выборе универсального оборудования в графе "Содержание операции" технологической карты синтезируются записи по отдельным технологическим переходам. При выборе программно-управляемого оборудования в этой графе должна быть сформулирована запись "обработка в соответствии с управляющей программой номер...", а не информация по технологическим переходам.

Этап 4 — подготовка информации с учетом особенностей изготовления детали на станках с ЧПУ. На этом этапе осуществляются: определение порядка следования технологических переходов применительно к конструктивно-технологическим особенностям станков с ЧПУ; расчет координат расположения элементарных обрабатываемых поверхностей (ЭОП); определение позиций режущего инструмента в инструментальном магазине (головке) станков с ЧПУ; определение соотношения между системой координат станка и системой координат заготовки.

Обработка заготовок на станках с ЧПУ, особенно на многоцелевых, имеет свою специфику. Выполнение переходов при обработке отверстий осуществляется консольным инструментом, точность относительных размеров обуславливается точностью позиционирования рабочих органов станка. Поэтому в общем случае порядок следования переходов должен быть скорректирован на основе следующих правил:

при обработке нескольких классов отверстий (число переходов больше трех) каждое отверстие обрабатывается при одном позиционировании рабочих органов станка;

при обработке резьбовых отверстий малого диаметра (менее 15 мм) применяется такая последовательность переходов: центрование с

образованием фаски, сверление, нарезание резьбы метчиком (резцом). Естественно, что в этом случае должны быть пересчитаны и некоторые координирующие размеры.

В исходном массиве технологических переходов упорядоченные конструктивные объединения ЭОП (совокупности), например отверстия, расположенные по окружности, задаются основным размером ЭОП, диаметром и координатами центра окружности. При выполнении технологических переходов должны быть рассчитаны координаты каждой ЭОП. Эти расчеты проводятся по определенным правилам в зависимости от различных видов совокупностей.

В зависимости от конструктивных особенностей выбранной модели станка режущие инструменты распределяются по гнездам инструментального магазина с учетом специфики используемой системы ЧПУ. Так, концевые фрезы устанавливаются в те гнезда магазина, для которых предусматривается коррекция радиуса инструмента; при использовании торцовых фрез и расточных головок с диаметром, большим предельного, соседние гнезда оставляют свободными.

Каждая заготовка или группа заготовок обрабатывается с использованием конкретного приспособления, поэтому для установления соотношения между координатами станка и заготовки необходимо определить координаты базовых поверхностей приспособления относительно начала системы координат станка.

После решения указанных задач преобразованный и дополненный массив технологических переходов подготовлен для разработки УП.

На рассматриваемом этапе могут быть созданы и выданы два сопроводительных технологических документа:

- 1) карта наладки, в которой указаны координаты соотношения и для каждой позиции инструментального магазина задан режущий инструмент и его размерные параметры;

- 2) распечатка программы (листинг), в которой для каждого технологического перехода, выполняемого при обработке заготовки на рассматриваемой технологической операции, указываются ее размерные и режимные параметры.

Этап 5 — преобразование информации в записи языка САП, например MODAPT. Для реализации программы MODAPT (процессор и преобразование данных на языке CL DATA) необходимо кодированную информацию по каждому технологическому переходу преобразовать в записи на исходном языке MODAPT. Для этого целесообразно использовать таблицу соответствия между кодовыми обозначениями одинаковых данных. В результате по каждому технологическому

переходу формируется массив записей на промежуточном языке CL DATA.

Этап 6 — формирование программы в коде ISO—7bit. Управляющая программа формируется с помощью программы "постпроцессор", которая разрабатывается применительно к изготовлению детали на конкретном станке. В соответствии с этой программой запись на языке CL DATA преобразуется в команды, реализующие технологические переходы в кодах ISO—7bit. В результате выдается управляющая программа детали на станке с ЧПУ.

Хотя выше рассмотрено использование в качестве САП системы MODAPT, подробно проанализируем методы подготовки УП.

Система автоматизированного проектирования УП для оборудования с ЧПУ входит в состав системы технологической подготовки — составной автоматизированной части ГПС. Оперативность разработки УП для оборудования с ЧПУ требует соответствующих методов создания технологической информации для оборудования с программным управлением в ГПС.

Существуют следующие методы разработки УП:

ручная подготовка управляющей информации, соответствующая международному стандарту ISO-1056, непосредственно по чертежу; она недостаточно удобна для пользователя, трудоемка и связана с большим числом ошибок, поэтому применять ее не рекомендуется;

разработка УП по схеме процессор-постпроцессор с описанием детали на технологически ориентированном входном языке САП, например, EXAPT, COMPACT, ART и т.д. Языковый процессор САП позволяет преобразовать управляющую информацию на языке CL DATA. С помощью последующей переработки информации на CL DATA постпроцессор выдает УП для станков с ЧПУ;

получение CL DATA исходя непосредственно из конструкторских расчетов и формирование УП в постпроцессоре;

получение УП на основе конструкторских расчетов без использования процессора или постпроцессора.

Важен правильный выбор средств и соответствующих методов составления программ. Для расчета УП применяют универсальные и специализированные ЭВМ. Большое значение имеют диалого-ориентированные процессоры.

Диалоговые системы позволяют составлять программы и приводить их отладку непосредственно на станке. Эффективная работа в режиме ручного ввода программ возможна при следующих условиях:

составлении и отладке программ в режиме диалога оператора с ЭВМ на естественном языке;

уменьшении времени программирования;

наличии стандартных программ;

пошаговом описании форм в режиме диалога;
корректировании программ непосредственно на станке;
наличии программ обработок на семейства деталей;
автоматической оценке времени установки, резания и перестройки;

графическом выводе информации о траектории движения инструмента.

Программа обработки составляется в режиме диалога, порядок которого определяется оператором. Данные могут вводиться в абсолютной, относительной и полярной системах координат. Контур детали описывается в порядке протекания технологического процесса обработки. Подготовка программ непосредственно на станке широко применяется для позиционных систем ЧПУ и токарного оборудования, обрабатывающего заготовку несложных форм, когда движения формообразования параллельны оси. Программирование контурных систем токарных станков затруднено. Большинство систем ручного ввода программ работает эффективно только в условиях, на которые они первоначально ориентировались. При выборе устройства следует оценить временные затраты на программирование, сложность языка, объем исходной информации, возможность вводить данные непосредственно с чертежа.

В условиях применения ГПС разработка программ с ручным вводом возможна на предприятиях со следующими условиями: номенклатура деталей, изготавливаемых в ГПС, небольшая; обновление номенклатуры деталей редкое; мощность производства и, следовательно, наличие производственных служб незначительны.

Метод расчета программ на станке с ручным вводом способствует наличию большой памяти устройства ЧПУ (вместимость отдельных систем с ЧПУ составляет 15—100 УП), а также возможности программирования во время обработки, что снижает время простоя оборудования.

Большое значение для выбора метода подготовки управляющей информации в условиях ГПС имеет прежде всего экономическая оценка. Однако метод программирования можно выбрать, считая ГПС трехуровневым автоматизированным комплексом. Система организации управления с тремя уровнями предопределяет разработку УП для оборудования с ЧПУ на втором уровне управления, т.е. в технологическом бюро, что является традиционным методом разработки УП. Он заключается в том, что на входном языке одной из систем программирования (ART, EXART, MODART, TEXTRAN, САПСМ4 и т.д.) описываются технологический процесс и геометрические образы обрабатываемых элементов детали. Далее программа рассчитывается в процессоре системы с формированием промежуточных данных в

виде CL DATA. Затем трансляция идет в постпроцессоре с формированием УП в кодах устройства управления конкретным станком с ЧПУ.

При использовании рассматриваемого метода проводить расчет положения опорных точек и переводить в конкретные коды станка в формате ISO не требуется. Некоторые САП позволяют автоматизировать формирование траекторий движения инструмента, расчет режимов резания и выбор инструмента.

Каждой конкретной системе соответствуют методы контроля полученных результатов работы САП; визуальный графический контроль на уровне CL DATA, при котором возможно редактирование траектории движения инструмента; графический контроль на уровне УП; выдача диагностических сообщений о прохождении расчета на ЭВМ и его результатах.

Трудоемкость разработки управляющей информации высока. Данные, полученные при расчете УП, многократно используются в подсистеме планирования работы ГПС. Следовательно, УП надо иметь на втором уровне управления ГПС, а не только в устройстве управления программным оборудованием. Синтез технологического процесса обработки является достаточно трудоемким процессом и поэтому необходимо реализовать его с возможно большим применением ЭВМ. Однако не вся номенклатура деталей, изготавливаемых на оборудовании технического комплекса ГАП, формализуется при разработке технологии. Поэтому необходимо разработать технологический процесс обработки в режиме диалога технолога с ЭВМ. Причем способ установки (базирования) заготовки и последовательность обработки выбирает обычно технолог. Если указана последовательность зон обработки, то построение траектории движения инструмента осуществляется автоматически.

Варианты решения данной проблемы могут быть различными. Расчет траектории осуществляется в процессоре САП при правильном вводе исходной программы на входном языке. Если имеется возможность автоматически сформировать исходную программу на входном языке, то расчет CL DATA осуществляется автоматически и далее формируется УП в кодах конкретного устройства управления станков с ЧПУ в составе ГПС.

В настоящее время разработка технологии обработки сопровождается предварительным кодированием исходной информации о детали с описанием параметров, что является весьма трудоемким делом. Возникает задача разработки сложных, объемных языков кодирования входных данных.

Альтернативой рассматриваемому варианту является разработка и ввод исходных данных при автоматизированном проектировании и

конструировании. Сформированные геометрические данные, дополненные необходимой информацией в технологической части САПР, поступают в постпроцессор. Далее расчет проводится по установленной схеме.

В настоящее время имеется около 150 различных систем автоматизированного программирования с ЧПУ. Наиболее применяемые из них: АРТ-4, ЕХАРТ1, ЕХАРТ2, ЕХАРТ3, М1-11-АРТ, MODАРТ, БЕРТ-34, СПД, ТЕХТРАН, АРТ-СМ, АРТ-ЕС, САП-СМ4.

САП различаются входными языками. В них используются табличные языки, языки, близкие к разговорным, естественные и смешанные языки. Наибольшее применение нашли аптотипные языки. Они были созданы на основе словаря входного языка АРТ.

В технологических службах уже сейчас можно организовать локальные сети с постановкой САП, языково-совместных с САП на ЭВМ верхнего уровня, и решать необходимые задачи на своем уровне с формированием УП в зависимости от сложности, размещая базы данных на верхнем уровне системы.

При выборе САП для включения в состав АС ТПП необходимо учитывать следующее:

ЭВМ, на которой реализованы данные системы;

пригодность систем для программирования обрабатываемых деталей;

тип входного языка;

число способов задания геометрических примитивов;

число одновременно обрабатываемых координат;

возможность создания и сохранения типовых подпрограмм;

операционную среду, в которой функционирует прикладное программное обеспечение;

возможность графического контроля CL DATA и УП;

возможность объемной обработки;

возможность задания геометрических примитивов в канонической форме;

наличие типовых циклов обработки;

возможность создания библиотеки станков, инструментов и режимов обработки.

Следует отметить, что САП имеют различные способы задания движения инструментов. Такие САП, как ТЕХТРАН, MODАРТ, АРТ, позволяют осуществить обработку по направляющим и образующим поверхностям, что дает возможность менять режимы обработки в любом месте траектории движения инструмента. Контурная обработка в системе СПД. БЕРТ-34, М1-11-АРТ позволяет задавать режимы обработки только перед описанием и включением контура движения.

Сравнительные характеристики различных систем, эксплуатируемых в промышленности, приведены в табл. 4.1. САП, объединенная с САПР ТП, должна удовлетворять ряду требований:

должна иметь развитой геометрический процессор, т.е. достаточное число геометрических элементов, способов заданий движения инструмента, библиотек инструментов, макропроцедур, циклов обработки, библиотек параметров обработки;

должна обеспечивать возможность организации режима многотерминальной работы в рамках операционной среды, в которой она функционирует;

при использовании в ГПС оборудования различного вида должна обеспечивать возможность быстрой разработки постпроцессоров;

при усложнении конструкции выпускаемых изделий должна обеспечивать возможность объемной обработки;

должна иметь возможность выполнять графический контроль как УП, так и CL DATA, и осуществлять интерактивное графическое взаимодействие при развитии соответствующей вычислительной техники.

Из рассмотренных САП наиболее полно указанным требованиям удовлетворяет MODAPT. Он функционирует в наиболее развитой операционной среде RSX 11-3,2 (4), обеспечивающей режим много-терминальной работы.

4.1. Характеристики САП

Характеристика	TEXTRAN	САПП-Т-АРМ	БЕРТ-34	MODAPT	САП-СМ4
Тип входного языка, шифр	Аптоподобный русский	Аптоподобный английский	Аптоподобный русский	Аптоподобный английский	Свободный русский
Тип ЭВМ	СМ-4	СМ-4	СМ-4	СМ-4, PDP-34	СМ-4
Число способов задания.					
окружностей	25	6	6	7	16
прямых	15	6	6	9	15
точек	16	6	6	9	15
плоскостей	3	2	2	2	—
векторов	11	3	3	7	—
конусов	—	—	—	1	—
сфер	—	—	—	1	—
цилиндров	—	—	—	1	—
эллипсов	—	—	—	1	—

Число одновременно обрабатываемых координат	2,5	2,5	2,5	3,0	2,5
Библиотека MACRO	+	+	+	+	+
Операционная среда	OC PB	OC PB	RT-11	RSX 11-3,2	OC PB
Графический контроль CI. DATA	+	+	+	+	+
Графический контроль УП	—	—	+	+	—
Каноническая форма	+	+	+	+	+
Циклы обработки	—	+	—	+	+
Наличие библиотеки, станков, инструмента, требуемых параметров обработки	—	+	—	+	+

Примечание. Знак "+" означает наличие, знак "—" — отсутствие

Рассмотрим возможную модель стыковки системы, проектирующей технологию, с САП. Известно, что технологический процесс изготовления деталей на станках с ЧПУ отличается от технологического процесса изготовления деталей на универсальном оборудовании. Для осуществления стыковки с САПР ТП для универсального оборудования с САП необходимо добавить в нее компоненты, отражающие специфику программно-управляемого оборудования:

упорядочение технологических переводов для станков с ЧПУ;

назначение номеров гнезд в инструментальном магазине для соответствующих инструментов;

перерасчет размеров для обработки на станках с ЧПУ, отражающий положение координат заготовки на станке с ЧПУ, а также требования для расчета точной траектории движения инструмента.

Первые две задачи должны решаться в САПР ТП, третья — реализуется средствами модуля формирования исходной программы (ИП) на языке программирования САП и непосредственно в САП.

Входом в САП служит технологическая последовательность обработки заготовки, которая представляет собой массив записей длиной до 70 символов. Этот массив подобен массиву на промежуточном языке CL DATA и содержит все конструкторско-технологические данные об обработке заготовки. Получаемой конструкторско-техноло-

гической информации о детали достаточно для построения ИП на языке САП (MODAPT) и расчета УП.

Формирование ИП на языке САП осуществляется по принципу фрагментной типизации: ИП синтезируется из отдельных фрагментов, отражающих выполнение типовых технологических переходов; далее они объединяются в группы; эти группы связываются между собой. Синтез ИП на языке САП, отражающий последовательность технологических переходов, смену инструментов, перерасчет геометрических размеров, изменение режимов резания и др., осуществляют согласно алгоритму автоматического формирования ИП на языке САП.

Фрагмент ИП представляет собой формализованное описание траектории движения инструмента при обработке элементарной поверхности или комплекса элементарных поверхностей в условиях осуществления соответствующего технологического перехода. Конструкторско-технологическая информация об обработке детали (вид технологического перехода, размерные характеристики, номер инструментов и корректоров и т.д.) используется по мере необходимости при разработке ИП, при этом формальные параметры заменяются фактическими.

Библиотека фрагментов ИП содержит описание стандартных циклов обработки. САП, применяемая в интегрированной САПР технологических процессов — MODAPT, осуществляет программирование сложных произвольных контуров, включая объемную обработку.

Контрольные вопросы

1. Какие потоки информации существуют в автоматическом производственном процессе?
2. Как реализуется автоматическое диагностирование режущего инструмента и оборудования?
3. Как выполняется идентификация объектов в ГПС?
4. Каковы методы подготовки УП?

Глава 5. Проектирование автоматизированных и автоматических производственных процессов

5.1. Определение структуры и основных характеристик производственного процесса

Высокий уровень автоматизации производственных процессов может быть достигнут благодаря разработке и использованию интегрированных производственных комплексов (ИПК), которые обеспечивают автоматизацию всех операций по всему циклу производства, начиная от получения заказов на изготовление изделий и кончая их поставкой потребителю.

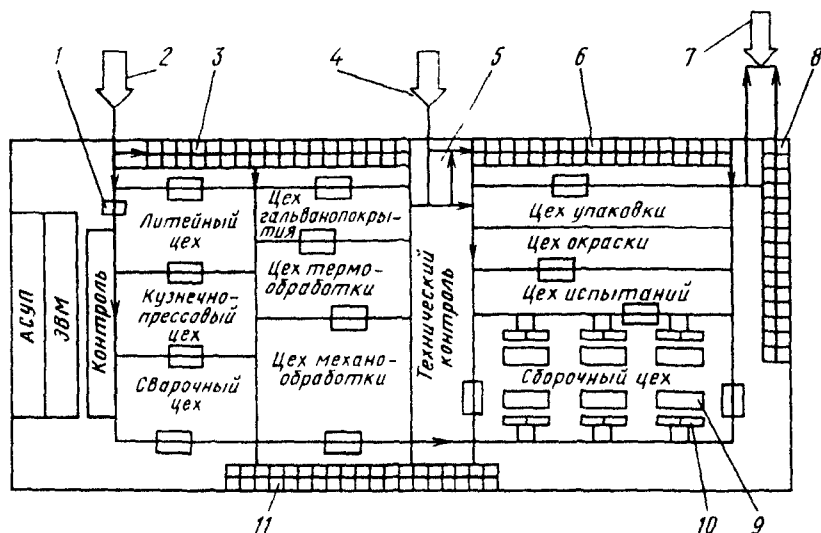


Рис. 5.1. Схема ГПС на уровне предприятия:

1 — робочар, 2 — трасса подачи материала на склад или в цехи, 3 — автоматический склад материала, 4 — трасса подачи покупных комплектующих изделий на склад или в цехи, 5 — участок расконсервации комплектующих изделий, 6 — автоматический склад комплектующих изделий, 7 — отправка изделий, 8 — автоматический склад изделий, 9 — сборочный центр, 10 — накопитель собираемых компонентов и собранных объектов, 11 — автоматический склад инструмента и приспособлений

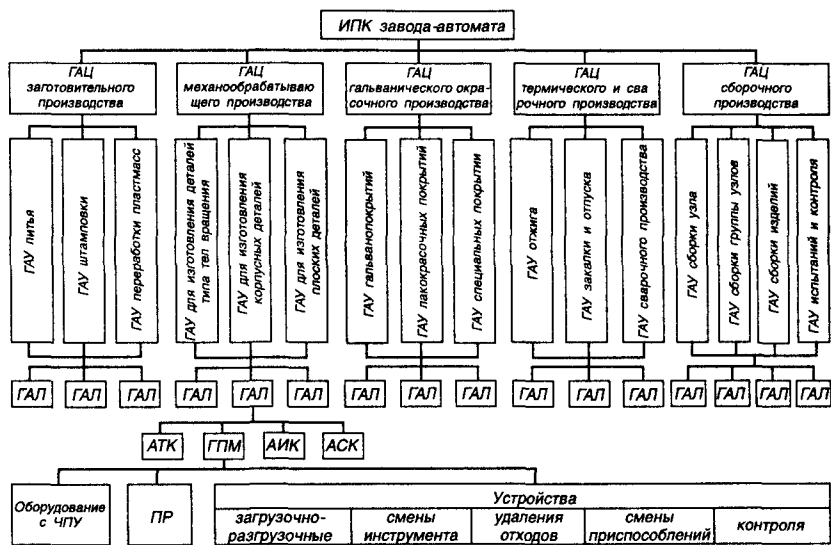


Рис. 5.2. Структура ИПК комплексной ГПС:

АТК — автоматический технический комплекс, АИК — автоматический измерительный комплекс, АСК — автоматический складской комплекс

Создание предприятий (рис. 5.1) на базе таких ИПК возможно при конструктивной, технологической, энергетической, организационно-производственной, информационной, программно-алгоритмической совместимости элементов, входящих в состав производственной системы. Совместимость обеспечивает синхронность работы всех специализированных производств предприятия: литейного, кузнечно-прессового, испытательного и др. ИПК объединяет ГПС всех указанных производств (рис. 5.2).

При проектировании автоматических и автоматизированных производственных процессов необходим правильный выбор объектов производства для создания подразделений ИПК. Для этого следует исходить из оценки организационно-технологической структуры действующего предприятия, обуславливаемой специализацией ее производственных подразделений — цехов, участков, т.е. из оценки соответствия их специализации и типу производства продукции. Для вновь проектируемого предприятия такую структуру необходимо установить.

Основными составляющими ИПК являются ГПС, реализующие части производственного процесса. По назначению они подразделяются на три класса: для выполнения технологических процессов узлов или общей сборки; для изготовления полуфабрикатов или деталей;

комбинированные — для изготовления деталей и сборки на них сборочных единиц или изделий. По структуре ГПС подразделяют на узкономенклатурные и широкономенклатурные.

Структура ГПС состоит из двух компонентов: производственной структуры и технологической структуры. Технологическая включает номенклатуру собираемых или изготавливаемых деталей, сопрягаемых или обрабатываемых поверхностей, выполняемых операций с их взаимосвязями и характеризуется числом и типоразмером деталей, их классификационными признаками, последовательностью запуска заготовок в производство и размером партии, характером операций, затратами времени на их выполнение, степенью гибкости технологического маршрута. Производственная структура включает в виде ряда элементов производственные подразделения (технологические модули, участки, линии, вспомогательные и доделочные отделения) и характеризуется годовой программой выпуска, суммарной трудоемкостью, производительностью, коэффициентом сменности, средними значениями коэффициентов загрузки и использования оборудования, составом элементов структуры, взаимосвязи между ними.

Организационно-техническая структура подразделяется на следующие структуры: организационную, характеризующую взаимосвязями подразделений ГПС и их внешними связями, формами организации труда, включая организацию переналадок и движения материальных потоков; функциональную, определяющую задачи отдельных подразделений и служб их обеспечения, функции обслуживающего персонала, содержание и форму документации; компоновочную, определяющую состав и расположение основного и вспомогательного технологического оборудования, складских и грузочно-разгрузочных устройств, транспортные связи; информационно-управляющую, определяющую состав и распределение функциональных задач, технические средства, информационные потоки, средства программного обеспечения как системы управления ГПС в целом, так и ее отдельных подсистем.

Проектирование автоматизированных производственных процессов начинают с формирования массивов информации исходных данных, к которым относятся: номенклатура изделий, подлежащих изготовлению, и предполагаемый объем выпуска; ресурсы; регламентируемые условия производства; критерий оценки проектных решений. Затем выбирают номенклатуру изделий, анализируют их конструктивно-технологические признаки; формируют групповые технологии, определяют число групп оборудования, число единиц оборудования в каждой группе, формируют структуру производства, определяют коэффициенты загрузки оборудования, решают вопросы рационального распределения фонда времени работы оборудования. Затем осуществ-

твляют системный анализ проектируемых вариантов, отражающих характеристики производственных процессов. На этом этапе рассматривают вопросы рационального проектирования фонда времени работы оборудования, режимов его работы, качества производственного процесса. Под последним понимают уровни незавершенного производства и его составляющие в очередях в стадиях обработки и сборки; продолжительность производственного цикла; скорости производственного процесса и его этапов; производительность оборудования.

Далее решают задачи построения производственного процесса: специализации и концентрации производства; создания участков подетальной и подетально-групповой специализации; организации многономенклатурных групповых линий; формирования роботизированных технологических комплексов и гибких производственных модулей; оперативно-календарного планирования и т.д. К задачам оперативно-календарного планирования и управления относятся: разработка линейных подетально-пооперационных календарных планов-графиков; построение оперативно сменно-суточных календарных планов-графиков; оперативный учет, контроль и регулирование производства.

Затем при наличии функциональных подсистем АТСС, АСИО, САК, АСУО, АСУТП, АСНИ, САПР, АСПП увязывают с ними обобщенные характеристики производственного процесса.

5.2. Условия применения автоматической сборки

Цель автоматизации сборки — получение минимума затрат живого и прошлого труда, заложенного в средствах автоматизации при выпуске заданного количества продукции.

На рис. 5.3, а приведена структура затрат на сборку заданного количества изделий в обычном (*I*) и автоматизированном (*II*) производстве; Z_1 и Z_1' — затраты соответственно на изготовление сборочного оборудования и с учетом проектно-конструкторской работы, Z_2 и Z_2' — затраты на сборку заданного числа выпускаемых изделий. Все величины даны в единичном масштабе, который характеризует затраты простого труда. Повышение производительности общественного труда при переходе к автоматизированному производству обеспечивается при условии $Z_1' + Z_2' < Z_1 + Z_2$. При уменьшении программы выпуска изделий в m раз затраты Z_2 и Z_2' пропорционально

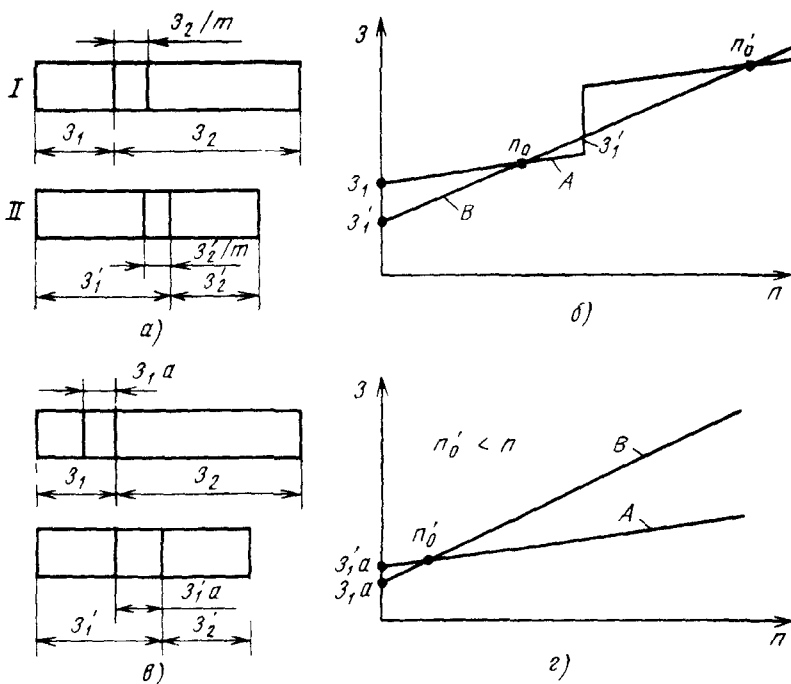


Рис. 5.3. Структура затрат труда на сборку изделий в обычном и автоматизированном производстве

снижаются до величины z_2/m и z_2'/m . Таким образом, указанное условие не выполняется и не обеспечивается экономия общественного труда при переходе к автоматизированному производству. С ростом объема выпуска изделий эффективность автоматизации увеличивается. Линия *A* (рис. 5.3, б) характеризует зависимость затрат Z общественного труда от числа n выпускаемых изделий в автоматизированном производстве, а линия *B* — в обычном. Точка n_0 характеризует объем выпуска изделий, при котором оба производства по затратам Z являются равноценными, т.е. $Z_1' + T_2' n_0 = Z_1 + T_2 n_0$, где T_2 и T_2' — трудоемкость сборки одного изделия в простом и автоматизированном производстве. Таким образом, $n_0 = (Z_1' - Z_1) / (T_2 - T_2')$.

В условиях массового производства, когда каждая операция сборки закреплена за отдельным рабочим местом при определенной программе выпуска, может потребоваться увеличение количества средств

автоматизации (автоматы-дублиеры). Это увеличивает затраты Z_1' . На линии А это показано в виде уступа. Критическое значение программы выпуска увеличивается до $n_0' = (2Z_1' - Z_1) / (T_2 - T_2')$.

При использовании для изготовления изделий нескольких наименований (серийное производство) быстро переналаживаемого автоматического оборудования эффективность автоматизации производства изделия одного наименования возрастает по сравнению с выше рассмотренным случаем. Величины Z_1 и Z_1' уменьшаются до значений $Z_1 a$ и $Z_1' a$; здесь $a = 1/K < 1$, где K — число наименований изделий закрепленных за данным оборудованием (при условии, что время t_1 сборки партий этих изделий примерно одинаково). При этом $Z_1 a < < Z_1' a$. Структура затрат труда для данного случая показана на рис. 5.3, в. Критическое значение объема выпуска (рис. 5.3, г) при этом составляет $n_0' = a(Z_1' - Z) / (T_2 - T_2')$.

Себестоимость сборки снижают путем сокращения всех издержек производства в сборочном цехе. В автоматизированном производстве эта задача имеет определенную специфику. Укрупненная структура себестоимости сборки одного изделия в обычном (I) и автоматизированном (II) производстве может быть представлена схемами (рис. 5.4, а), где Π и Π' — заработная плата сборщиков, $\Ц$ и $\Ц'$ — цеховые расходы, учитывающие все остальные издержки производства (амортизацию сборочного оборудования, расходы на его ремонт, электроэнергию, заработную плату вспомогательных рабочих и т.д.). При автоматизации уменьшаются расходы на заработную плату сборщиков, а цеховые расходы снижаются незначительно и в отдельных случаях могут возрасти.

Зоны применимости автоматической сборки при использовании специальных средств автоматизации (переналаживаемые сборочные автоматы

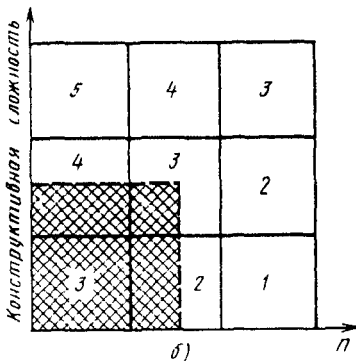
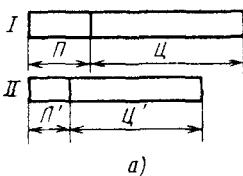


Рис. 5.4. Структура себестоимости сборки (а) и зоны применимости автоматической сборки (б):

1, 2, 3, 4, 5 — условия соответственно очень хорошие, хорошие, удовлетворительные, плохие

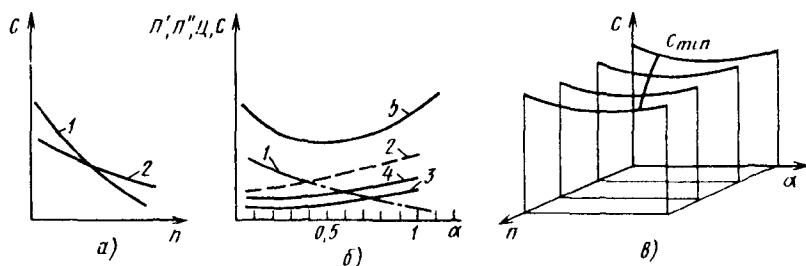


Рис. 5.5. Зависимость себестоимости автоматической сборки от программы выпуска и уровня автоматизации

и полуавтоматы) показаны на рис. 5.4, б. Заштрихованный участок определяет зону использования быстропереналаживаемых средств автоматизации сборки — сборочных роботов с программным управлением. Наиболее просто автоматизировать общую сборку простых по конструкции изделий, состоящих из нескольких элементов. Для более сложных по конструкции изделий применяют узловую автоматическую сборку. При усложнении конструкции изделий используют частичную автоматическую сборку со снижением уровня автоматизации α как узловой, так и общей сборки.

На рис. 5.5, а показана зависимость себестоимости C автоматической сборки от объема n выпуска изделий: 1 — для сборочного оборудования специального назначения; 2 — для универсальных средств автоматизации — сборочных роботов. С увеличением n себестоимость сборки снижается, что обусловлено возможностью построения сборочных операций с высокой степенью концентрации технологических переходов. Если программа выпуска незначительна, то выгоднее использовать универсальные средства автоматизации.

Под уровнем автоматизации α сборки понимают отношение продолжительности сборки t_a на автоматизированных операциях к общей продолжительности t_c технологического процесса сборки данного изделия $\alpha = t_a/t_c$. На рис. 5.5, б показана зависимость Π' (кривая 1) и Π от α (кривая 2) для условий массового производства с постоянным закреплением сборочных операций за рабочими местами. С ростом α применяемое технологическое и предметно-транспортное оборудование конструктивно усложняется и удорожается. Это приводит к увеличению амортизационных отчислений по каждой единице сборочного оборудования на одно изделие. При этом сокращается число единиц используемого оборудования.

Общие амортизационные отчисления на одно изделие растут не так интенсивно и в ряде случаев могут даже уменьшаться. С ростом α повышается мощность средств автоматизации, поэтому увеличиваются расходы (кривая 3) на все виды потребляемой энергии (электрический ток, сжатый воздух, газ и др.). Число наладчиков возрастает в 2–3 раза, ремонтных рабочих — в 1,5–2 раза. Зароботная плата P'' инженерно-технического и вспомогательного персонала увеличивается в 1,5–2 раза (кривая 4). Увеличиваются расходы на более сложные, а следовательно, дорогие инструменты и технологическую оснастку. При автоматизации сборочного производства уменьшаются необходимые производственные площади. Поэтому амортизационные затраты на ремонт и содержание зданий и сооружений снижаются. Зависимость суммарных расходов — себестоимость сборки одного изделия — от α характеризует кривая 5. Программа n и α определяют в каждом конкретном случае наименьшую себестоимость C_{\min} автоматической сборки одного изделия (рис. 5.5, а).

Объем n выпуска непостоянен. Началу выпуска изделий предшествует разработка технологического процесса сборки (участок I на рис. 5.6, а). Далее следуют этапы конструирования, изготовления и отладки сборочного оборудования и оснастки (участок II); эту работу выполняют, если невозможно приобрести готовое оборудование. Затем начинается выпуск изделий, который постоянно увеличивается до заданного значения (участок III). Этот участок характеризует освоение изделий в производстве; он должен быть по возможности коротким, а кривая роста выпуска изделий более крутой. На участке IV выпуск изделий постоянен, а на участке V он постепенно уменьшается до нуля. Последний участок характеризует сокращение выпуска изделий, обусловленное уменьшением спроса на них и их моральным

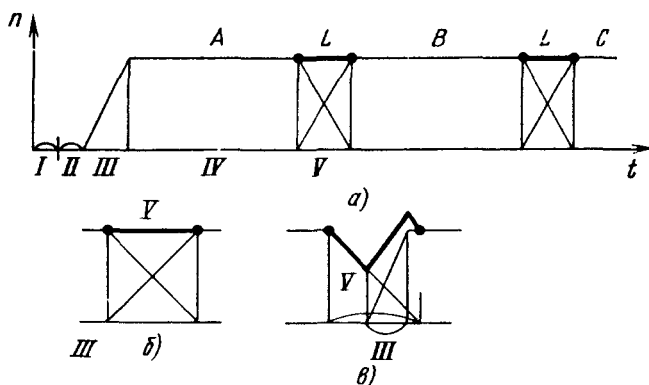


Рис. 5.6. Изменение программы выпуска изделий А, Б, В во времени

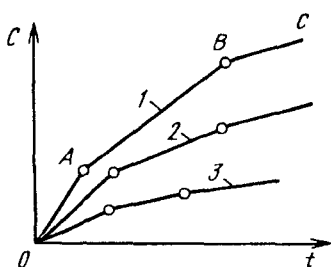


Рис. 5.7. Изменение затрат на изготовление сборочного оборудования во времени

устареванием. Этот участок характеризует также выпуск запасных частей.

С уменьшением выпуска изделий *A* начинается выпуск изделий *B*, а далее изделий *C* и т.д. с повторением всех указанных частей цикла сборочного производства. При $A = B = C$ кривые суммируются. Из условий постоянства загрузки сборочного цеха во времени суммарная кривая должна представлять прямую линию *L*, параллельную оси абсцисс. Это условие обеспечивается при совмещении и равенстве участков *III* (рис. 5.6, б) и *V*. Если данные участки не равны, то при разном их относительном смещении на суммарной кривой возникают выступы и впадины (рис. 5.6, в), характеризующие перегрузку и недогрузку сборочного оборудования цеха, что нежелательно в автоматизированном производстве.

Специальное сборочное оборудование конструируют на основе четко проработанного технического задания. Изменение затрат во времени на изготовление сборочного оборудования показано на рис. 5.7. Участок *OA* характеризует расходы на конструирование, *AB* на изготовление, *BC* на отладку оборудования. Линия *1* характеризует изготовление оборудования при недостаточной конструкторско-технологической проработке варианта, а линия *2* — при его детальной проработке. Линия *3* характеризует изготовление оборудования из стандартных узлов методом агрегатирования, когда сокращаются затраты и сроки внедрения средств автоматизации.

Автоматическую сборку в основном используют в массовом производстве. В серийном производстве автоматическая сборка используется реже. Сроки окупаемости средств автоматизации часто превышают предполагаемую длительность выпуска изделий. В таких случаях автоматизацию проводят, используя быстроперенастраиваемое сборочное оборудование, принципы групповой технологии, типизацию технологических процессов. Автоматическое сборочное оборудование создают из типовых узлов и исполнительных механизмов. В условиях серийного производства применяют сборочные роботы.

В мелкосерийном и единичном производстве автоматическая сборка выполняется специализированным оборудованием с программным управлением и роботами. Автоматизируется в основном узловая сборка. Автоматизация общей сборки используется лишь для изделий простой конструкции.

5.3. Последовательность проектирования технологического процесса автоматической сборки

При разработке технологического процесса автоматической сборки технолог-сборщик или группа технологов должны определить состав выпускаемого изделия, технологический маршрут операций и приемы сборки, выбрать оборудование или разработать структуру сборочного оборудования, выполнить экономический анализ, обоснование и расчет выбранного варианта автоматизации, рассчитать режимы оборудования, осуществить специальные исследования. Должны быть детально проработаны вопросы ориентации, базирования, транспортирования и контроля качества изделий, а также разработки технических заданий на конструирование специальных исполнительных устройств и оснастки. Проектные работы выполняют обычным способом или с использованием средств автоматизации проектирования технологических процессов.

Проектирование автоматической сборки характеризуется различной степенью детализации. Одним из вариантов является проектирование технологических процессов автоматической сборки для вновь создаваемого завода с комплексной системой автоматизации производства. Оно наиболее трудно. Задача проектирования несколько облегчается, если имеется аналогичное реализованное на практике решение или комплексная система автоматизации заменяется частичной. Другой вариант — проектирование технологического процесса автоматической сборки осуществляется при реконструкции предприятия и налаживании производства новых изделий. В этом случае возможности технолога ограничены, так как необходимо использовать имеющиеся производственные площади, оборудование транспортных средств, схему грузопотоков и ряд других местных условий. Другие варианты проектирования технологического процесса автоматической сборки возможны на действующих предприятиях при выпуске освоенных изделий. Задача проектирования технологических процессов сборки здесь носит частный характер. Разрабатываются средства автоматизации: автоматические линии, участки линий, отдельные автоматические агрегаты. Проектирование выполняется без глубокого изменения сложившейся структуры производства. Ввиду того, что срок окупаемости внедряемых средств автоматизации должен быть меньше времени выпуска продукции, возможности технолога более ограничены, чем в предыдущих вариантах.

Разработанный технологический процесс автоматической сборки является основой конструкторской, строительной, транспортной, энергетической и организационной частей проекта. На основе техно-

логии определяют потребность в оборудовании, производственную площадь, рабочую силу, основные и вспомогательные материалы, решают вопросы специализации, кооперирования сборочного производства.

Технологический процесс автоматической сборки изделия включает следующие этапы: подготовку деталей и комплектующих изделий (промывка, очистка, деконсервация, предварительный или 100 %-ный контроль комплектования и т.д.); загрузку сопрягаемых деталей в бункерные, магазинные, кассетные и другие загрузочные устройства в предварительно или окончательно ориентированном положении; захват, отсекаание и подачу сопрягаемых деталей в ориентирующие и базирующие устройства сборочного приспособления; ориентацию сопрягаемых деталей на сборочной позиции с точностью, обеспечивающей собираемость соединений; соединение и фиксацию сопряженных деталей с требуемой точностью; контроль требуемой точности относительного положения сопряженных деталей или сборочной единицы; выполнение послесборочных операций (например, контроль на выходе, заправка смазочными материалами, топливом, испытание, регулирование, балансировка, маркировка, упаковка, счет, учет).

Построение технологического процесса зависит прежде всего от конструктивных особенностей выпускаемых изделий — габаритных размеров, числа входящих в изделие деталей и сборочных единиц, характера и сложности соединений. Особенности собираемого изделия и программа выпуска определяют структурную схему технологического процесса автоматической сборки, последовательность выполнения его операций, их повторяемость, параметры автоматического оборудования и условия его настройки. Нерационально спроектированная технология вызывает потери времени при эксплуатации сборочного оборудования. При проектировании технологического процесса автоматической сборки нужно учитывать ряд положений: программу выпуска изделий; технологичность конструкции изделия и составляющих его элементов; обеспечение качества собираемого изделия; распределение переходов по сборочным позициям по времени их выполнения; точность и надежность относительной ориентации сопрягаемых деталей соединений; надежность выполнения соединений; контроль качества собираемого изделия или его частей; наладочные параметры сборочных устройств; организацию производства.

Перед тем как решать комплекс задач автоматизации сборки изделия, нужно проанализировать его служебное назначение, технические требования, определить способ сборки, всех его операций (основных и вспомогательных), формирующих изделие и его качественные параметры. Модель формирования качества изделия может быть представлена в виде $x_i(t) - U_j(t) - \theta_k(t)$, где $x_i(t)$ — множество

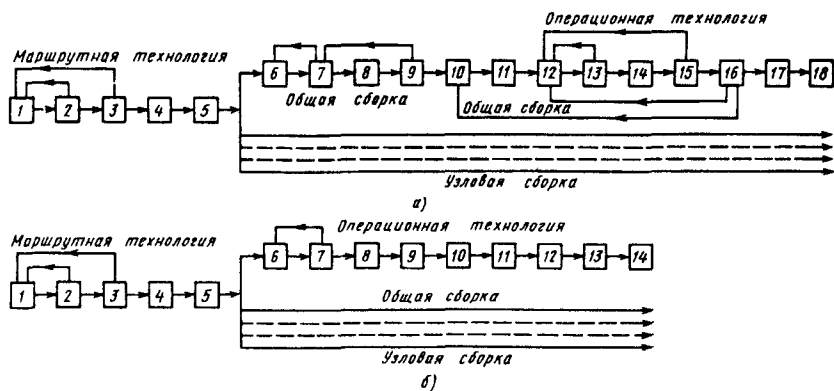


Рис. 5.8. Последовательность этапов проектирования технологии сборки для производства:

а — поточно-массового, *б* — серийного, 1 — сбор исходных данных, 2 — анализ исходных данных, 3 — составление технологических схем, 4 — для поточно-массового — расчет темпа и определение типа производства, для серийного — определение размера партии, 5 — выбор организационных форм сборки, 6 — выбор баз, 7 — разработка маршрута и содержания операций, 8 — для поточно-массового — выбор типа оборудования, для серийного — выбор имеющегося оборудования, 9 — определение норм времени, 10 — уточнение содержания операций, 11 — выбор модели оборудования, 12 — определение режима сборки, 13 — уточнение норм времени, 14 — выбор оснастки и разработка технологических условий на ее уточнение, 15 — определение количества и загрузки оборудования, 16 — балансировка поточных линий, 17 — определение межоперационных заделов, 18 — оформление документации

параметров исходных сборочных компонентов (материалов деталей, сборочных единиц, комплектующих изделий и т.д.); $U_j(t)$ — множество промежуточных параметров сборочных единиц, формируемых текущей операцией; $\theta_k(t)$ — выходные параметры изделия. Индексом t обозначено текущее значение параметра, а стрелками — направление потока формирования параметров. Здесь учитывается и собирается мощность изделий, зависящая от физических и размерных параметров сборочных компонентов и всего процесса сборки. Размерные параметры сопрягаемых поверхностей определяются точностью их изготовления.

Последовательность этапов проектирования технологии сборки показана на рис. 5.8.

Сбор исходных данных. К исходным данным для проектирования технологических процессов автоматической сборки относятся: информация сборочных чертежей и технических условий или формализованное описание объектов сборки; технико-экономические требования, содержащие сведения о номенклатуре и программе выпуска

изделий, производительности и стоимости сборочного оборудования, сроках освоения выпуска, допустимом времени сборки; технические требования (точность сборки, условие работы изделия и т.д.).

Анализ исходных данных. В сборочном чертеже изделия должны быть приведены: нужные проекции и разрезы; спецификация составляющих его элементов; посадки в сопряжениях; масса изделия и его составных частей. В технических условиях должны быть указаны: точность сборки, качество сопряжений, их герметичность, жесткость стыков, моменты затяжки резьбовых соединений, точность балансировки вращающихся частей, методы выполнения соединений, желательная последовательность сборки, методы промежуточного и окончательного контроля изделий. На основе рекомендаций по технологичности конструкции изделий определяют, необходимы ли конструктивные изменения, обеспечивающие автоматическую сборку. Если изменения внести невозможно, сборку данной части изделия (на данной операции) выполняют вручную или с использованием средств механизации. Анализ конструкции изделия и составляющих его деталей позволяет определить, какой вид сборки по степени автоматизации рациональнее применить.

Составление технологических схем автоматической сборки. Анализ конструкции и изучение технических условий на изделие заканчивают составлением технологических схем общей и узловой сборки изделия. Это первый этап разработки технологического процесса. Технологические схемы сборки составляют на основе анализа сборочных чертежей изделия. Они отражают маршрут сборки изделия и его составных частей. На этом этапе выявляют оптимальную степень расчленения изделия на составляющие элементы и выбирают возможные методы автоматической сборки различных соединений. Разрабатывают различные технологические варианты схем сборки, содержащие сведения о целесообразности дифференциации и концентрации операций, возможных вариантах схем базирования, относительной ориентации деталей и их закрепления. Рассчитывают условия собираемости деталей. Выбирают бункерные ориентирующие, транспортные, контрольные и другие устройства. На основе технико-экономического анализа выбирают наиболее рациональный вариант оборудования для сборки.

Последовательность сборки определяют на основе анализа размерных цепей изделия, каждая из которых предназначена для решения конкретной задачи. Определяя последовательность сборки, учитывают функциональную взаимосвязь элементов изделия, конструкцию базовых элементов, размеры и массу присоединяемых элементов, степень их взаимозаменяемости, а также то, что легко повреждаемые элементы желательно устанавливать в конце сборки.

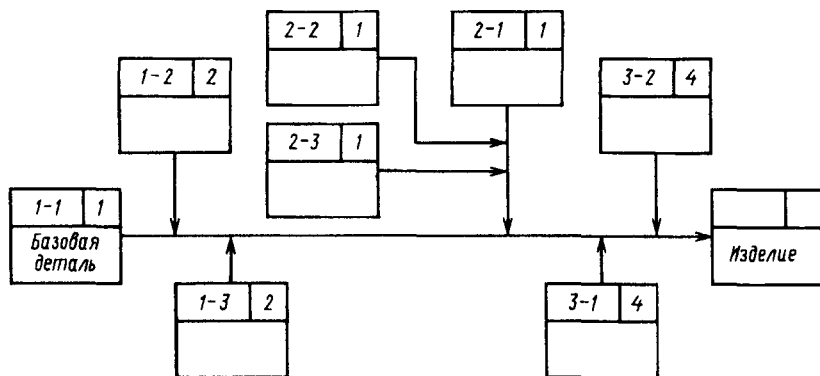


Рис. 5.9. Схема расположения сборочных элементов при соединении деталей

Наглядное представление о технологичности изделия дают схемы сборки, предусматривающие выделение ступеней технологического процесса. Может также быть использована форма схемы сборки, показывающая расположение собираемых элементов с указанием технологической последовательности сборки (рис. 5.9). За исходную принимается базовая деталь 1—1, к которой присоединяются по две детали 1—2 и 1—3. В результате этого образуется сборочная единица C_1 . К этой сборке присоединяется сборочная единица C_2 , образованная из деталей 2—1, 2—2, 2—3 и т.д. Детали на схеме обозначены прямоугольниками, внутри которых дается индексация и в нижней части — наименование деталей. Сборочной единице C_i присваивается порядковый номер ступени сборочной единицы (узла) $i = (1, n)$. Этим же номером отмечаются и отдельные детали, входящие в C_i . Изделие, собранное по данной схеме, имеет три ступени сборочных единиц. Однако подобные схемы не дают возможности четко представить связи между отдельными элементами всего сборочного процесса и выявить его рациональную структуру, связанную с выполняемыми работами.

Наибольшей информативностью обладают технологические схемы общей и узловой сборки, на которых указывают не только технологические, но и вспомогательные операции, обусловленные особенностями автоматической сборки (контроль, поворот или перевертывание собираемого объекта, смазывание и др.) (рис. 5.10). Детали и сборочные единицы на схеме изображаются прямоугольниками с индексацией номеров (наименований), а операции — кружками с последовательной нумерацией. При этом под операцией при многооперационной автоматической сборке понимают действия над собираемым

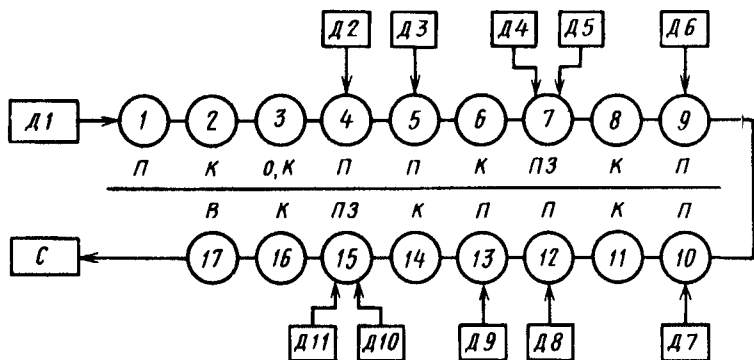


Рис. 5.10. Технологическая схема сборки:

Д — деталь; П — подача и установка присоединяемой детали в приспособлении или на базовую деталь; К — контроль; О — обработка; З — закрепление, В — выдача сборочной единицы, С — сборочная единица

объектом, выполняемые на определенной рабочей позиции автоматического оборудования. Позиции связаны между собой транспортной системой. На схемах следует обозначить участки ручной и механизированной сборки, на которых автоматизированная сборка затруднена или невозможна.

Определение типа производства. Типы производства в сборочном цехе определяют отдельно для изделия и его составных частей, так как они могут быть различными. При поточно-массовом производстве изделий их автоматическую сборку выполняют на высокопроизводительных специальных автоматических линиях, в том числе перенастраиваемых (ПАЛ). При среднесерийном производстве сборку ведут партиями на автоматическом оборудовании. Используют также переменнo-поточные или групповые автоматические линии для конструктивно или технологически сходных изделий. ГАЛ строят на базе ГПМ, автоматизированного транспортного оборудования и автоматизированных рабочих мест (АРМ) с управлением от центральной ЭВМ. Для ГАЛ характерны поточные методы организации сборки, высокие синхронизация операций и производительность. В мелкосерийном многономенклатурном производстве сборку выполняют на оборудовании с микропроцессорным управлением, обслуживаемым автоматизированной транспортной системой, которая вместе с ЭВМ образует ГАУ сборки.

При поточном методе работы штучное время на операцию должно быть несколько меньше темпа сборки для создания резерва на случай задержек сборки или кратного темпу. Коэффициент загрузки оборудования должен быть высоким (не менее 0,95). На первых операциях

поточной линии его нужно брать меньше, чем на последних операциях сборки. Это обеспечивает большую надежность работы линии в случае отказов оборудования.

Выбор организационной формы автоматической сборки. Организационную форму сборки следует выбирать в зависимости от конструкции изделия, его размеров, массы, программы и срока выпуска. Организационные формы сборки устанавливают отдельно для изделия и его составных частей. В общем случае они могут быть разными. Вариант организационной формы автоматической сборки конкретного изделия выбирают на основе расчетов себестоимости сборки с учетом сроков подготовки и оснащения производства необходимым оборудованием.

По организационным формам автоматическая сборка может быть стационарной и конвейерной. Стационарную сборку выполняют на специальном оборудовании или посредством ПР. Ее в основном используют в массовом и серийном производстве для сборки небольших узлов. Конвейерная сборка на автоматических линиях в большинстве случаев выполняется с периодической остановкой собираемого изделия. Сборка с непрерывным перемещением изделия осуществляется на конвейерах, оснащенных ПР, а также на роторных автоматических линиях.

Разработка маршрутной технологии общей и узловой автоматической сборки. Маршрутную технологию составляют на основе технологических схем сборки. Маршрутная технология включает все технологические, контрольные и вспомогательные операции, выполняемые автоматически или вручную. Содержание операций устанавливают в зависимости от выбранного типа производства и темпа сборки. При построении маршрутной технологии нужно стремиться к одновременному выполнению (объединению) нескольких операций. Это обеспечивает сокращение цикла сборки и потребности в производственных площадях. При массовом производстве содержание операции должно быть таким, чтобы ее длительность была несколько меньше темпа сборки или кратна ему.

При серийном производстве содержание операции принимают таким, чтобы на отдельных сборочных позициях выполняемая периодически сменяемыми партиями узловая и общая сборки данного и других изделий обеспечивали высокую загрузку оборудования. Для

общей сборки $\left[\left(\sum_{i=1}^n t_{\text{шт}i} N_i \right) + \left(\sum_{i=1}^n T_{\text{пз}i} \right) k \right] m \leq \Phi_3$, где n — число наименований изделий; $t_{\text{шт}i}$ — штучное время общей сборки i -го изделия; N_i — годовая программа выпуска i -го изделия; $T_{\text{пз}i}$ — подготовительно-заключительное время для i -го изделия; k — число партий в год; m —

число станков для общей сборки; Φ_3 — эффективный годовое фонд времени работы.

При использовании автоматического сборочного оборудования штучное время определяют без учета $t_{об}$ и $t_{п}$ — времени соответственно организационного обслуживания и перерывов в работе. Производительность (шт/мин) сборочного автомата или полуавтомата $Q = 1/T_{ц} = 1/t_{оп} = 1/(t_o + t_b)$, где $T_{ц}$ — время рабочего цикла оборудования (мин); $t_{оп}$ — оперативное время; t_o — основное время; t_b — вспомогательное время.

Время t_b в данном случае представляет собой цикловые потери: Если $t_b = 0$, то $T_{ц} = t_o$ и $Q = 1/t_o$. Технологическая производительность оборудования $Q_T = 1/(t_o + t_b + t_{ц})$, где $t_{ц}$ — внецикловые потери, учитывающие затраты времени на смену и подналадку инструмента, регулирование оборудования. Величину $t_{ц}$ относят ко времени одного цикла.

В условиях автоматизации устанавливают норму времени на сборку единицы продукции и норму, заданную рабочему (бригаде рабочих) и выраженную в единицах продукции (численности рабочих).

При построении маршрутной технологии необходимо выделить операции с большой вероятностью отказов и предусмотреть на данном этапе производственные заделы. На основе маршрутной технологии разрабатывают техническое задание средств автоматизации. При разработке определяют тип технологического и транспортного оборудования, которое затем уточняют на последующих этапах проектирования технологии сборки.

Выбор технологических баз, схем базирования изделия при узловых и общей автоматической сборке. Ответственным этапом проектирования технологического процесса автоматической сборки является выбор технологических баз и схем базирования, который должен обеспечить заданную точность сборки, удобство ее выполнения, простоту конструкций приспособлений, оборудования и транспортных средств. При выборе технологических баз стремятся выдержать принципы совмещения, постоянства и последовательности смены баз. В каждом конкретном случае может быть использовано несколько схем базирования. При анализе схем рассчитывают погрешности установки. Если предусмотрена организованная смена баз, то пересчитывают соответствующие размеры и допуски на них, определяют допуски на параметры технологических баз. Для сокращения числа вариантов схем базирования следует применять типовые решения. Технологические базы выбирают с учетом обеспечения удобства установки и снятия собираемого изделия, надежности и удобства его закрепления, возможности подвода с разных сторон присоединяемых

деталей и сборочных инструментов. Различают базирование: базовой детали изделия или отдельной его части при их установке в сборочное приспособление; сопрягаемых деталей при узловой или общей сборке.

Базовые детали устанавливают в стационарные позиционные приспособления или приспособления-спутники. В обоих случаях следует соблюдать принципы совмещения и постоянства баз. Соединение двух деталей при автоматической сборке должно обеспечить их 100 %-ную собираемость.

Построение операций автоматической сборки. Этап построения операций сборки является наиболее трудоемким и сложным при проектировании технологии автоматической сборки. Он включает: уточнение содержания операций; повышение степени концентрации переходов; четкое разграничение всех составляющих элементов операции — от ориентации сопрягаемых деталей до удаления собираемой части изделия или его самого; технологические расчеты; определение сил запрессовки, затяжки резьбовых соединений, клепки и т.д.; определение штучного времени по элементам изделия и в целом.

На этом этапе определяют основную технологическую характеристику необходимого сборочного оборудования: структурную схему; кинематические и динамические параметры; размер рабочей зоны для размещения собираемого изделия с оснасткой; систему управления; степень автоматизации рабочего цикла; способность к переналадке. При отсутствии серийно выпускаемого оборудования разрабатывают техническое задание на его проектирование, при его наличии выбирают модель.

Разрабатывают техническое задание на конструирование специальных сборочных инструментов, сборочного приспособления с указанием принятых схем базирования, способов автоматической подачи и ориентации деталей и снятия готового изделия. Определяют методы необходимого контроля выполнения сборки, тип блокировочных устройств, предупреждающих аварийные ситуации и брак.

При проектировании операции сборки на многопозиционных станках и АЛ определяют загрузку оборудования по отдельным позициям, строят циклограммы работы, устанавливают структуру и тип линии, необходимые заделы и накопители, конфигурацию линии в плане для ее стыковки со сложными участками сборочного цеха. Составляют техническое задание на проектирование линии.

Нормы времени на сборочные операции определяют расчетно-аналитическим методом.

5.4. Техничко-экономическая оценка вариантов технологического процесса автоматической сборки

Критерии для оценки спроектированных технологических процессов сборки подразделяют на абсолютные и относительные. К абсолютным относят: трудоемкость технологического процесса сборки; ее технологическую себестоимость; длительность цикла сборки; число единиц сборочного оборудования.

Трудоемкость технологического процесса сборки определяется суммированием $t_{ш}$ по всем n ее операциям $T = \sum_{i=1}^n t_{ш i}$. Этот показатель дают отдельно по узловой и общей сборке изделия.

Технологическая себестоимость выполнения узловой и общей сборки одного изделия $C = \sum_1^n (t_{ш y} \Pi_y + t_{ш o} \Pi_o) + \sum_1^{n'} t_{ш} Z_M +$

$+ \sum_1^{n''} T_{п.з}' \Pi_n + [100(k_a + k_э) Z_o] / N$, где n — число сборочных операций;

n' — число единиц сборочного оборудования; $t_{ш y}$, $t_{ш o}$ — штучное время соответственно узловой и общей сборки; Π_y , Π_o — минутная заработная плата при выполнении узловой и общей сборки; Z_M — стоимость 1 мин работы сборочного оборудования; n'' — число перенастраиваемых операций сборки; $T_{п.з}'$ — подготовительно-заключительное время, отнесенное к одному изделию на одну операцию; Π_n — минутная заработная плата одного наладчика; k_a , $k_э$ — коэффициенты амортизации и эксплуатации сборочной оснастки ($k_a = 0,2-0,5$; $k_э = 0,2$); Z_o — стоимость всей сборочной оснастки; N — годовой выпуск изделий.

Стоимость 1 мин работы сборочного оборудования приближенно определяют по заводским данным или по формуле

$$Z_M = Z_a + Z_p + Z_э + Z_в + Z_{аз} + Z_{вс}$$

Здесь $Z_a = (Z_б a) / \Phi$ — затраты на амортизацию оборудования, где $Z_б$ — балансовая стоимость сборочной машины, руб; a — процент амортизационных отчислений; Φ — годовой фонд времени работы

машины; $Z_p = \sum_1^{n'} K_{п} Z_{м.р} R_M t_{ш}$ — затраты на ремонт оборудования, где $K_{п}$ — коэффициент, учитывающий тип производства ($K_{п} = 0,9$ — для

единичного, $K_{\Pi} = 1$ — для серийного, $K_{\Pi} = 1,2$ — для массового производства); $Z_{\text{м.р}}$ — затраты на малые ремонты, технические осмотры и межремонтное обслуживание машины первой категории сложности; $R_{\text{м}}$ — категория сложности ремонта машины; Z_3 — затраты на электроэнергию; $Z_{\text{в}}$ — затраты на сжатый воздух; $Z_{\text{а.з}}$ — затраты на амортизацию здания, отнесенные к площади, занимаемой сборочной машиной; $Z_{\text{вс}}$ — затраты на вспомогательные материалы; $Z_3 = \sum_1^{n'} N_3 K_t K_{\text{в}} Z_3' t_{\text{ш}} / 60$; $Z_{\text{в}} = \sum_1^{n'} (P_{\text{в}} Z_{\text{в}} t_0) / 60$, где N_3 — установленная мощность электродвигателей, кВт; $K_t, K_{\text{в}}$ — коэффициенты использования установленной мощности по времени и величине, $K_t, K_{\text{в}} = 0,5 \dots 0,9$; Z_3' — стоимость 1 кВт·ч электроэнергии; $P_{\text{в}}$ — среднечасовой расход воздуха, м³; $Z_{\text{в}}$ — стоимость 1 м³ воздуха, руб.; $t_{\text{ш}}$ — штучное время; t_0 — основное (технологическое время); $Z_{\text{а.з}} = \sum_1^{n'} (Z_3 a_3 F_{\text{м}}) / F_3$; где Z_3 — стоимость цехового здания; a_3 — процент амортизационных отчислений; $F_{\text{м}}$ — площадь, занимаемая сборочной машиной; F_3 — площадь здания цеха; $Z_{\text{в}} = \sum_1^{n'} (Z_{\text{г}} t_{\text{ш}}) / (60 \Phi)$, где $Z_{\text{г}}$ — затраты на вспомогательные материалы на единицу оборудования в год, руб.; $t_{\text{ш}}$ — штучное время; Φ — годовое время работы машины.

Длительность цикла общей (или узловой) сборки партии изделий из n штук в серийном (непоточном) производстве при их последовательной передаче определяют по формуле $T_{\text{ц}} = \sum_1^i t_{\text{ш}} n + t_{\text{х}} K_{\text{т}} +$

$+ t_{\text{т}} (2K_{\text{т}} + 1)$, где $\sum_1^i t_{\text{ш}}$ — сумма штучных времен всех i операций сборки данного объекта; $t_{\text{х}}$ — время хранения партии изделий на промежуточном складе; $K_{\text{т}}$ — число транспортировок изделий на промежуточный склад; $t_{\text{т}}$ — время одной перевозки партии изделий от сборочной машины к складу и обратно; $(2K_{\text{т}} + 1)$ — величина, дополнительно учитывающая одну перевозку изделий на склад готовой продукции.

При поточной сборке длительность цикла сборки той же партии изделий из n штук. При темпе t определяют по формуле $T_{\text{ц}}' = t(i + n)$.

К относительным критериям относят:

коэффициент трудоемкости сборочного процесса $K_c = T_c/T_0$, где T_c — трудоемкость сборки изделия; T_0 — трудоемкость обработки деталей изделия, для различных типов производств $K_c = 0,1 \dots 0,5$;

коэффициент себестоимости сборки $K_{cc} = C/C_{и}$, где $C_{и}$ — себестоимость изготовления изделия в целом;

коэффициент расчлененности сборочного процесса $K_p = T_y/T_0$, где T_y — трудоемкость узловой сборки; показатель уровня автоматизации сборки α .

5.5. Типовые и групповые технологические процессы сборки

Типизация технологических процессов сборки является основной формой их стандартизации. Она способствует уменьшению затрат на проектирование технологии, себестоимости производства изделий. Типовые технологические процессы автоматической сборки базируются на классификации собираемых изделий, сборочных единиц и соединений по их конструктивным особенностям. Собираемые изделия и сборочные единицы классифицируют по общности их служебного назначения, видам соединений и по числу деталей, входящих в сборочную единицу.

Изделия или их составные части подразделяют на классы по общности технологических задач, возникающих при их сборке. Каждый класс изделий разделяют на подклассы, группы и подгруппы. При этом учитывают конструктивные признаки изделий, их размеры, обобщают решения технологических задач с целью нахождения общего подхода к проектированию технологии сборки отдельных изделий и их элементов. Определяют типовой представитель (один или несколько), которым является изделие (составная часть изделия), объединяющее совокупность признаков изделий, имеющих одинаковый маршрут операций, выполняемых на однотипном сборочном оборудовании с использованием однородных приспособлений и инструментов. В разрабатываемых классификациях учитывают производственные условия: серийность выпуска, частоту сменности объекта сборки. Работу по классификации завершают составлением классификаторов, что позволяет делить типизируемые объекты сборки по характерным конструктивным и технологическим признакам. Классификаторы оформляют в виде таблиц, у которых по вертикали и горизонтали отложены указанные признаки объектов сборки.

Затем разрабатывают общий технологический процесс и устанавливают типовые последовательность и содержание операций, типовых

схем базирования и конструкций оснастки. Если изделия унифицированы достаточно полно, то на них составляют одну общую технологическую карту с нормами времени. При меньшей степени унификации на базе принципиального технологического процесса составляют технологию для конкретных изделий. Типовой технологический процесс автоматической сборки должен состоять в основном из типовых сборочных операций, а сборочные операции — из типовых технологических переходов, что позволяет выбрать типовое сборочное оборудование и его отдельные типовые механизмы.

Основой групповых технологических процессов сборки является общность конструктивных особенностей изделий и технологии их сборки. Это дает возможность в условиях мелко- и среднесерийного производства выполнять технологические процессы сборки, характерные для крупносерийного и массового производства, переходить от непоточного к поточному производству. Метод групповой технологии обладает большими возможностями унификации технологических процессов, чем типовые технологические процессы. При его использовании повышаются непрерывность, прямоточность и ритмичность производства.

В групповых поточных линиях оборудование располагают по маршруту сборки близких по конструкции и размерам изделий (или их частей) нескольких наименований. Все закрепленные за линией изделия собирают периодически партиями. В каждый момент времени линия работает как непрерывно-поточная. Переход к сборке другого изделия возможен без переналадки линии или с частичной, несложной переналадкой. Групповую технологию сборки следует использовать в пределах цеха или всего завода. Она должна охватывать весь комплекс выпускаемых изделий, что дает наибольший технико-экономический эффект. Групповые технологические процессы в основном разрабатывают для узловой сборки; для общей сборки их используют редко и только для простых по конструкции изделий.

Проектированию групповых технологических процессов или операций сборки предшествует классификация изделий. При подборке изделий в группу проводят анализ чертежей и технических условий, технологичности. Проектирование выполняют в такой последовательности: 1) подбирают группу изделий, удовлетворяющих требованиям групповой сборки; намечают маршрут сборки, содержание операций; ориентировочно определяют оперативное время сборки; 2) уточняют содержание операций и разрабатывают наладки для наиболее сложных изделий группы, которые выпускают в наибольшем количестве; разрабатывают наладки для других изделий группы; определяют штучное время сборки; 3) определяют требования к сборочному оборудованию; 4) разрабатывают конструкции сборочных

приспособлений и инструментальной оснастки; уточняют режимы и условия выполнения операций сборки; окончательно устанавливают нормы времени; 5) составляют технологическую документацию на каждое изделие; 6) определяют технико-экономические показатели групповой сборки.

5.6. Использование ЭВМ при проектировании технологического процесса автоматической сборки

При проектировании технологического процесса автоматической сборки с помощью ЭВМ решают большое число различных конструкторских и технологических задач: выполняют группирование изделий, их размерный анализ, точностные расчеты, расчет норм времени, режимов работы сборочного оборудования; определяют структуры автоматических линий, заделы для них; производят расчеты параметров сборочных приспособлений и инструментов. Для решения перечисленных задач составляют алгоритмы и программы. Технолог выполняет кодирование, ввод информации или ограничений решаемой задачи.

Решение на ЭВМ сложных и общих задач по жесткой программе, таких, как полное проектирование узлов и общей сборки, представляет значительные трудности. Для решения подобных задач используют диалоговый режим работы ЭВМ. Автоматизированная система технолог—ЭВМ включает комплекс технических средств и программ, обеспечивающих общение технолога с ЭВМ в процессе проектирования. Проектирование разделяют на неформализуемую и формализуемую части. Формализуемую часть реализуют на основе логического и математического моделирования, использования типовой и групповой технологии. Ее представляют в виде пакета проблемно-ориентированных программ. Рабочее место технолога (рис. 5.11) оборудуют графическим или алфавитно-цифровым дисплем, чертежно-графи-

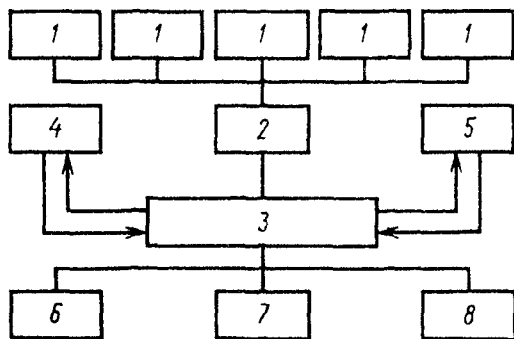
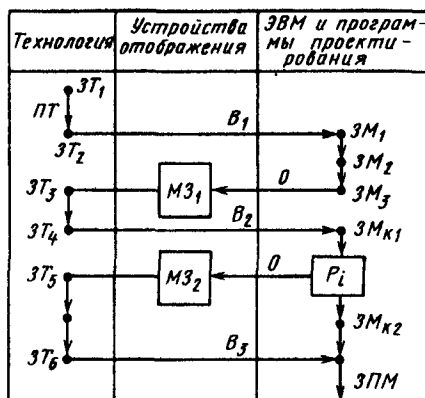


Рис. 5.11. Схема диалогового проектирования технологического процесса сборки:

1 — рабочие места технологов, 2 — мультимпликатор, 3 — ЭВМ, 4 — программы технологического проектирования, 5 — банк технологических данных, 6 — блок текстовой документации, 7 — чертежный автомат, 8 — сборочный робот

Рис. 5.12. Схема проектирования технологического процесса в диалоговом режиме:

В — ввод данных в ЭВМ; *О* — отображение на экране модуля запроса *МЗ*; *P_i* — логический блок анализа сложности задачи (при простом управлении — с помощью программы; при сложном — управление технологом); *ЗТ* и *ЗМ* — результаты решения задач соответственно технологом и ЭВМ; *ПТ* и *ПМ* — процедуры решения задач соответственно технологом и ЭВМ



ческим автоматом, мультипликатором, обеспечивающим одновременную работу с ЭВМ нескольких технологов. Общая схема диалогового проектирования показана на рис. 5.12.

Задача проектирования — получение технологического процесса автоматической сборки состоит в обеспечении заданного количества изделий с минимальной технологической себестоимостью при известных ограничениях по имеющемуся оборудованию, инструменту и т.д. При недостаточной начальной информации используют метод многоуровневой декомпозиции процесса проектирования в сочетании с итерационными алгоритмами.

5.7. Последовательность проектирования автоматического сборочного оборудования

Проектирование включает три основных этапа: составление технического задания; подготовку технического предложения; разработку технического и рабочего проектов.

В техническое задание на проектирование автоматического сборочного оборудования должны входить: рабочие чертежи изделия и составляющих его деталей с техническими условиями; требуемая производительность сборочного оборудования; планировка производственного участка, в котором предполагается его установка; данные об энергоснабжении.

Техническое предложение на создание автоматического сборочного оборудования включает разработку технологического процесса автоматической сборки и расчеты, определяющие эффективность проектируемого оборудования.

Проект автоматического сборочного оборудования разрабатывают после выполнения технического предложения и его согласования с заказчиком. При создании проекта разрабатывают принципиальные схемы и общие виды оборудования и составляют циклограммы его работы. На стадии технического проекта разрабатывают чертежи общих видов специальных сборочных единиц, механизмов и агрегатов оборудования. Конструкцию оборудования согласовывают с требованиями, которые нужно обеспечить для собираемости деталей. При разработке рабочего проекта выполняют рабочие чертежи деталей оборудования и составляют руководство по его эксплуатации. Руководство должно включать: техническую характеристику оборудования, его принципиальную схему и описание работы; чертежи общего вида оборудования и составляющих его механизмов; технологическую схему автоматической сборки; операционные чертежи; чертежи собираемого изделия и составляющих его элементов; циклограмму работы оборудования; инструкции по монтажу и эксплуатации оборудования.

5.8. Определение надежности работы автоматического сборочного оборудования

Важное значение при реализации технологического процесса автоматической сборки имеет надежность работы сборочного оборудования. Надежность работы обеспечивают благодаря использованию конструкторских и технологических мероприятий. Ее определяют на основе вероятностных и других расчетов.

Если на сборочном автомате, который состоит из m исполнительных и l контрольно-блокировочных устройств, выполняется сборка изделия, состоящего из n деталей, то вероятность P безотказной работы автомата можно определить по формуле $P = (P_1 P_2 \dots P_m) \times (P'_1 P'_2 \dots P'_l) (P''_1 P''_2 \dots P''_n) P_y$, где $P_1 P_2 \dots P_m$; $P'_1 P'_2 \dots P'_l$; P_y — соответственно вероятности безотказной работы исполнительных устройств; контрольно-блокировочных устройств; устройства управления автомата; $(P''_1 P''_2 \dots P''_n)$ — вероятность качественного изготовления деталей изделия. Указанные величины — вероятности независимых событий.

При заданном темпе t работы сборочного автомата необходимо, чтобы штучное время (время цикла) на выполнение сборки $t_{\text{шт}} = t - (1 - P)t_y$, где t_y — среднее время на устранение отказов.

С ростом t_y и уменьшением P регламентируемое значение $t_{\text{шт}}$ снижается. Если невозможно уменьшить $t_{\text{шт}}$ путем изменения техно-

логии сборочной операции, для обеспечения заданной программы выпуска изделий осуществляют дублирование операции путем ее параллельного выполнения на нескольких автоматах.

Вероятность безотказной работы автоматического оборудования повышается путем сокращения числа исполнительных устройств, обеспечения сплошного контроля собираемых деталей, уменьшения их числа в изделии.

Для сборки N изделий, отвечающих техническим условиям, через машину необходимо пропустить $N + N'$ изделий, где $N' = (1 - P^n)(N + N')$ — вероятное число бракованных изделий; $P^n = P_1'' P_2'' \dots P_n''$. После преобразования

$$N[N'(1 - P^n)]/P^n; (N + N') = N/P^n.$$

Штучное время сборки $t_{ш}' = t' - (1 - PP'P_y)t_v$, где $t' = tP^n$ — темп работы сборочного автомата; $P = P_1 P_2 \dots P_m$; $P' = P_1' P_2' \dots P_l'$.

При $PP'P_y > P^n$ время $t_{ш}' > t_{ш}$. Для обеспечения заданной программы выпуска изделий цикл работы автомата будет продолжительнее. При равных длительностях циклов работы производительность этого автомата будет выше.

5.9. Выбор типа и компоновки автоматического сборочного оборудования

Конструктивные особенности изделий и технологии их сборки, большое разнообразие видов операций по соединению и закреплению сборочных компонентов в процессе сборки обуславливают значительное число разновидностей конструктивных и компоновочных решений автоматического сборочного оборудования. При выборе типа и компоновки оборудования для автоматической сборки конкретного изделия нужно учитывать: длительность и программу изготовления; размеры, массу и геометрические параметры; производительность оборудования; число, сложность и последовательность выполнения операций сборки; возможность автоматической загрузки собираемых деталей, требуемую точность их относительной ориентации. Классификация сборочных автоматов приведена на рис. 5.13.

В однопозиционных станках все основные действия по сборке выполняются на одной позиции при неподвижно закрепленной базовой детали.

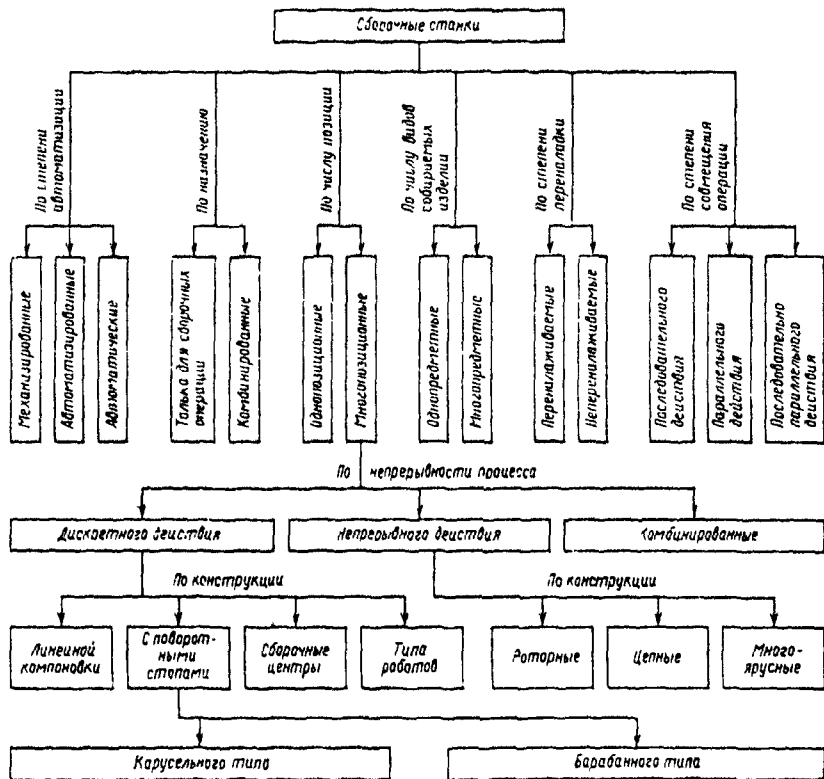


Рис. 5.13. Классификация сборочных станков

Многопозиционные станки оснащают транспортными устройствами для межоперационного перемещения собираемого объекта. Эти станки бывают дискретного и непрерывного действия. В первом случае все операции сборки осуществляются во времени остановки транспортного устройства, а во втором — в процессе перемещения собираемых деталей. По конструкции различают многопозиционные станки дискретного действия: линейной компоновки с поворотными столами; типа сборочных центров и роботов. На станках линейной компоновки сборочные операции выполняются при движении собираемого объекта по прямой линии.

Станки с поворотными столами делят на станки с горизонтальным расположением столов и станки с барабанами или дисками, расположенными в вертикальной плоскости. По конструкции многопозиционные станки непрерывного действия подразделяют на роторные, цеп-

ные и многоярусные. Первые оснащены рабочими роторами, на которых расположены соответствующие инструментальные блоки, и транспортными роторами, предназначенными для приема деталей из загрузочных устройств и передачи их в рабочие роторы или для передачи деталей (сборочных единиц) от одного рабочего места к другому.

У цепных станков рабочие органы смонтированы на цепях, которые натянуты на ведущие и натяжные звездочки. Рабочие органы перемещаются по овальной, спиральной или зигзагообразной траектории. В многоярусных станках на одном рабочем роторе выполняется несколько сборочных и контрольных операций.

Сборочные станки по степени совмещения операций могут быть последовательного, параллельного и последовательно-параллельного действия. По числу видов собираемых изделий станки подразделяют на однопредметные, служащие для сборки изделий одного наименования, и многопредметные, предназначенные для сборки изделий разных наименований. В зависимости от степени переналадки станки могут быть переналаживаемыми и непереналаживаемыми на сборку изделий другой конструкции.

Целесообразность и быстроту переналадки характеризуют и оценивают коэффициентом гибкости k_r , который зависит от длительности переналадки сборочного оборудования при заданной цикловой производительности и отражает степень использования баланса его рабочего времени. Под гибкостью понимают свойство оборудования приспособляться к сборке разных изделий. При переходе со сборки партии изделий i -го вида на сборку партии изделий j -го вида коэффициент гибкости $k_r = N_j / (N_i + t_{ij}Q_j)$, где N_j — объем партии изделий j -го вида; Q_j — производительность оборудования по j -му виду изделий; t_{ij} — суммарная длительность переналадок при перестройке (наладке) с изготовления i -го вида изделий на изготовление j -го вида изделий.

Под видом изделия понимают однотипные изделия, собираемые на одном комплекте оборудования, но различающиеся некоторыми конструктивными, размерными и другими параметрами, требующими переналадок. Для повышения гибкости сборочного оборудования с высокой производительностью, а также при сборке малых партий изделий длительность переналадки необходимо уменьшать. Если известны номенклатура изделий, программа и длительность их выпуска, то в каждом конкретном случае можно найти оптимальное значение k_r , а следовательно, и значение t_{ij} . Зная t_{ij} , выполняют статическую и динамическую переналадку оборудования. Иногда при ручной переналадке достаточно, чтобы $k_r > 0,9$, при этом минимальный объем партии изделий, который целесообразно собирать на переналажива-

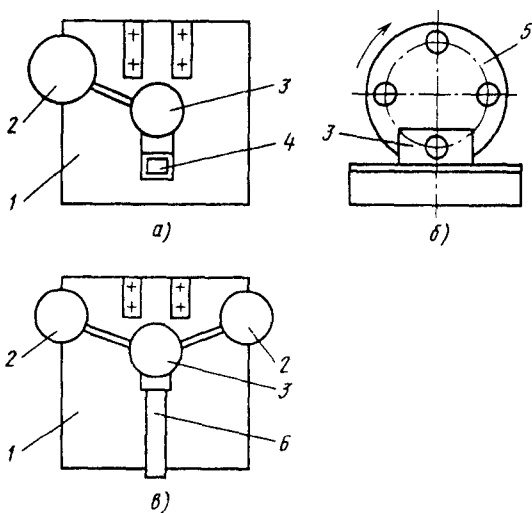


Рис. 5.14. Схема однопозиционных сборочных полуавтоматов (а, б) и автоматов (в): 1 — стол; 2 — вибробункер, 3 — сборочная головка, 4 — базирующее устройство; 5 — поворотный стол; 6 — лоток

емом оборудовании, определяют по формуле $N_{\min} \approx 15Q_j(t_{ij}^K + t_{ij}^H)$, где t_{ij}^K, t_{ij}^H — суммарная длительность соответственно перекомпоновки (при необходимости) и настройки.

Однопозиционные сборочные станки. Однопозиционные сборочные автоматы и полуавтоматы используют для сборки простых по конструкции изделий, состоящих из небольшого числа деталей. В полуавтоматах базовую деталь и те детали, подачу которых трудно автоматизировать, устанавливают на сборочную позицию вручную. Подача остальных деталей автоматизирована. Готовое изделие снимается вручную или автоматически. В автоматах загрузка всех деталей, сборка и съем готового изделия автоматизированы.

В полуавтомате (рис. 5.14, а) базовую деталь устанавливают в сборочную позицию вручную, присоединяемая деталь подается из вибробункера автоматически. В автомате (рис. 5.14, в) базовая и присоединяемая детали подаются автоматически в зону сборки каждая из соответствующего вибробункера. Собранные изделия поступают по лотку б.

Однопозиционные автоматы и полуавтоматы можно применять для одновременного заворачивания нескольких резьбовых деталей многошпиндельным инструментом, одновременной сборки нескольких изделий в многоместных приспособлениях и т.д. Для повышения производительности эти станки оснащают транспортными и поворотными

Рис. 5.15. Схема сборочных автоматов линейной компоновки с загрузкой деталей

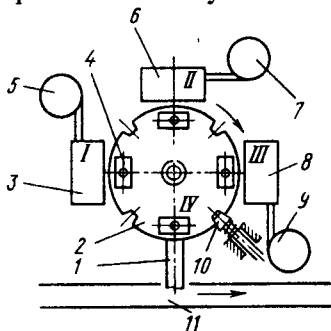
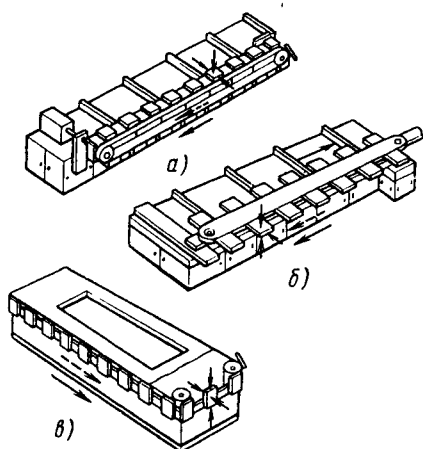
устройствами, позволяющими выполнять загрузку деталей и снятие готовых изделий во время работы исполнительных механизмов (рис. 5.14, б). Сборочные автоматы можно компоновать в автоматизированные и автоматические сборочные линии.

Многопозиционные сборочные станки. На станках линейной компоновки (рис. 5.15) выполняют сборку изделий, перемещаемых по прямой линии. Подача деталей на сборочную позицию осуществляется автоматически из бункерных загрузочных устройств (рис. 5.15, а), манипуляторами (рис. 5.15, б) или роботами. Эти станки эффективны для сборки длинных изделий, особенно, когда операции выполняются с двух сторон (рис. 5.15, в). Если время выполнения сборочных операций различно, то используют несинхронные транспортные устройства. Станки часто управляются кулачковыми валами. Собираемый объект перемещается с позиции на позицию приспособлениями-спутниками, которые соединены с цепью конвейера. Базирующие приспособления могут перемещать собираемое изделие и по замкнутому транспортному пути. На таких станках можно выполнять сборку изделий, больших по размерам и массе, чем на станках с поворотными столами.

В автоматах и полуавтоматах часто предусматривают резервные позиции, которые используют для установки в случае надобности контрольных и других устройств.

Четырехпозиционный сборочный автомат (рис. 5.16) имеет круглый стол 2, который периодически поворачивается на угол 90° и фиксируется фиксатором 10 в каждой из позиций I—IV. На позиции I из загрузочного устройства 5 подается базовая деталь, которая устанавливается головкой 3 в базирующее устройство 4. Затем на позициях II и III загрузочных устройств 7, 9 подаются присоединяемые детали.

Рис. 5.16. Схема четырехпозиционного сборочного автомата с поворотным столом



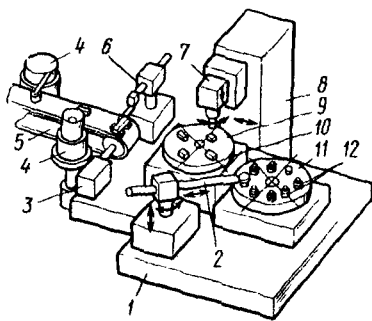


Рис. 5.17. Сборочный центр с круглым поворотным столом

Последние сопрягаются с базовой деталью посредством сборочных головок 6, 8. На позиции IV сборочные единицы поступают по лотку 1 в тару или на конвейер 11, перемещающий их на линию общей сборки изделия.

Сборочные центры являются станками широкоуниверсального назначения. Их оснащают манипуляторами или промышленными роботами для смены сборочного инструмента и подачи собираемых деталей. Они позволяют выполнять сборку разнотипных многоэлементных изделий. Сборочные центры бывают различной компоновки: с круглым поворотным столом; с двухкоординатным столом; портального типа с однокоординатным столом.

В сборочном центре (рис. 5.17) на станине 1 смонтирована стойка 8, на которой расположена шпиндельная инструментальная головка 7, в последней размещены сменные сборочные инструменты 12. Головку обслуживает манипулятор 2, который переносит инструменты из магазина 11. Головка находится под поворотным круглым многопозиционным столом 9 с базирующими устройствами 10 и выполняет сборку деталей, подаваемых в зону сборки манипулятором 6 из магазина 5. Последний управляет приводом 3 с программным управлением. Собираемые детали подаются в гнезда магазина из вибробункеров 4 посредством питателей.

На рис. 5.18 показаны сборочные центры, оснащенные ПР с ограниченным числом степеней подвижности и адаптивным управлением. Робот оснащен сенсорной системой и взаимодействует со стационарным сборочным оборудованием.

Сборочные роботы являются эффективным средством автоматизации. Они обладают гибкостью и универсальностью выполнения разнообразных операций сборки. Сборочные роботы используют в мелком и среднесерийном производстве. Они могут быть быстро встроены в многопозиционные автоматы или автоматизированные сборочные линии и обладают простотой перенастройки на сборку новых по конструкции изделий. Выбор ПР для выполнения конкретной операции сборки основан на сопоставлении технических характеристик роботов и результатов анализа процесса сборки.

Основные требования, которые предъявляются к ПР при сборке, следующие:

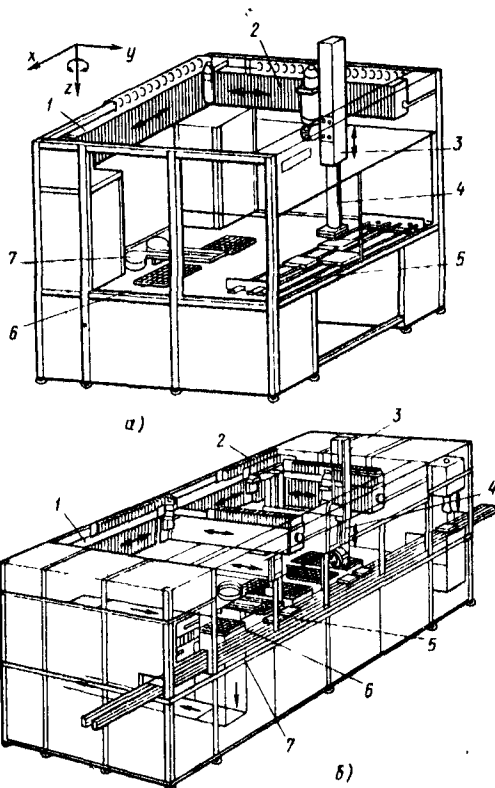


Рис. 5.18. Сборочные центры:

a — однопозиционный; *б* — двояный; 1, 2 — направляющие манипулятора; 3 — манипулятор; 4 — подвижная консоль с захватом; 5 — транспортно-подающее устройство; 6 — наборное поле; 7 — вибробункер

высокая точность позиционирования — 0,01—1 мм. Ее устанавливают с учетом параметров выполняемых соединений, особенностей используемых методов автоматической сборки;

быстродействие, достигаемое при скоростях манипуляционных перемещений ПР, не менее 0,6—0,8 м/с. В этом случае ПР перемещают объекты сборки между двумя точками рабочей зоны не более чем на 1 с. Таким образом, производительность при автоматической сборке не ниже ручной. Скорость перемещений ПР может достигать 10 м/с;

грузоподъемность до 60 кг;

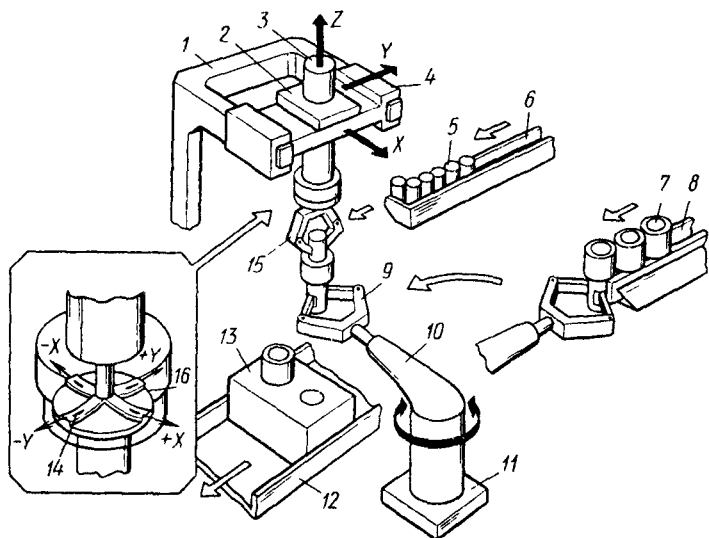


Рис. 5.19. Схема сборки цилиндрических соединений с зазором на стенде

универсальность и низкая стоимость захватов. Частые смены захватов снижают производительность процесса сборки;

система управления ПР должна допускать частую и быструю переналадку;

соответствие размеров рабочей зоны, обслуживаемой ПР, размерам собираемых изделий. Перемещение ПР должно минимум в 1,5 раза превышать габаритные размеры собираемого изделия.

На рис. 5.19 показана схема сборки цилиндрических соединений с наибольшим зазором (0,03 мм) на стенде, состоящем из основного робота 1 с адаптивным управлением, имеющим упругий подпружиненный захват 15, вспомогательного робота 11 с аналогичным захватом 9 и загрузочно-транспортных устройств для собираемых деталей. Все устройства установки действуют синхронно по командам циклового управления. Робот 1 поворотным захватом 15 берет вал 5 из лотка 6 и переносит его посредством кареток 2 и 4 в зону сборки. Робот 11 захватом 9 забирает из лотка 8 втулку 7 и поворотом руки 10 переносит ее под вал 5 (точность относительного расположения сопрягаемых поверхностей ± 2 мм). Включается система адаптивного управления (САУ), и робот 1 осуществляет движения поиска в горизонтальной плоскости для совмещения осей вала и втулки. Относительное положение деталей определяется тактильными тензодатчиками 14 САУ, приклеенными к плоским пружинам 16 исполнительного устройства

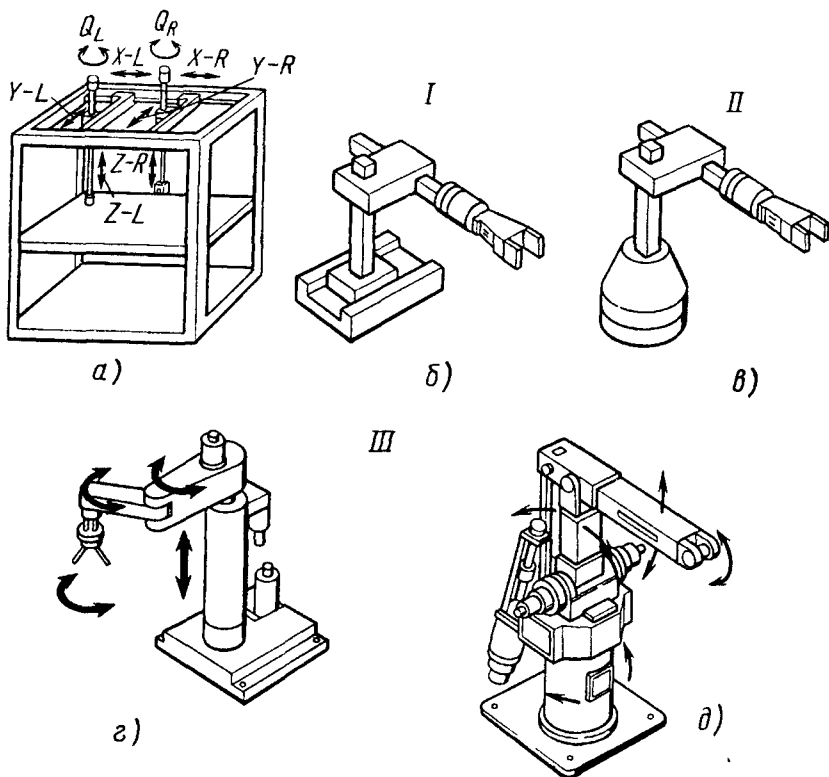


Рис. 5.20. Схемы сборочных ПР

3 робота 1. Датчики подают сигналы для включения шаговых электродвигателей поиска. При совпадении осей сопрягаемых цилиндрических поверхностей вала и втулки подается команда на перемещение захвата 15 вниз. Затем сборочная единица (вал-втулка) устанавливается в отверстия базовых деталей 13, которые периодически перемещаются пластинчатым конвейером 12.

В ГПС сборки используются ПР следующих основных групп: I — со звеньями поступательных перемещений, действующими в прямоугольной (декартовой) системе координат, двух разновидностей: портално-мостового типа (рис. 5.20, а), настольные или настольные (рис. 5.20, б); II — со звеном поворота относительно вертикальной оси и в направлении, перпендикулярном ей (цилиндрическая система координат) (рис. 5.20, в); III — шарнирные, многосвязные, подразделяемые соответственно на горизонтально- и вертикально-шарнир-

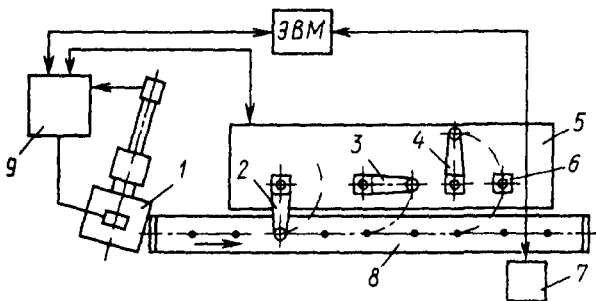


Рис. 5.21. Сборочная линия, оснащенная ПР

ные (рис. 5.20, з, д). Последние получили наибольшее распространение.

Поточная линия сборки различных изделий, состоящая из автоматической системы, в которую входят ПР, конвейер, мини-ЭВМ, пульт управления, показана на рис. 5.21. Все ПР оснащены устройствами ЧПУ. Робот 1 с визуальным устройством для распознавания деталей посредством двух телекамер расположен на первой позиции линии. Роботы 2—6 установлены с одной стороны конвейера 8. На первой позиции линии телекамеры робота 1 распознают тип, размеры и форму поступающей базовой детали. Полученная информация обрабатывается в вычислительном устройстве 9 и посредством мини-ЭВМ 10 подается в виде соответствующих команд устройством ЧПУ роботов 2—6, которые захватывают и подают на рабочие позиции нужные комплектующие детали и выполняют запрограммированные операции сборки изделия. Готовые изделия подсчитываются устройством 7.

Сборочные станки непрерывного действия. Автоматические станки непрерывного действия служат для сборки простых по конструкции и небольших по габаритным размерам сборочных единиц, состоящих из нескольких деталей. К этим станкам относятся роторные, цепные и многоярусные, в которых перемещаются собираемые детали и инструмент для сборки.

Роторные автоматы (рис. 5.22) имеют центральную колонну, которая непрерывно вращается. На ней смонтированы несколько блоков, выполняющих сборку. В двухъярусной головке транспортного ротора 2 расположены клещевидные захваты 1, в которые подаются из двух питателей (показано стрелками) собираемые детали. Детали перемещаются в инструментальные блоки 8. При обкатывании роликов ползунов 4 по радиальным и торцовым копирам 6 и 9 расположенным в верхнем и нижнем барабанах ротора 5, собираемые детали подаются пуансонами 3 в базирующие устройства, в которых

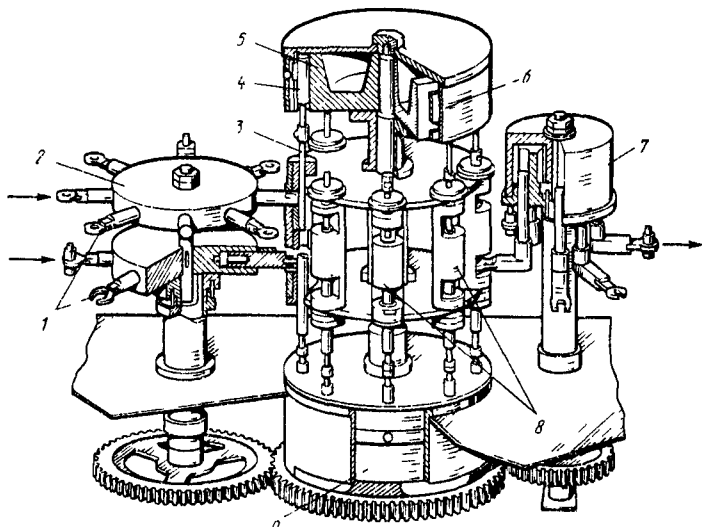


Рис. 5.22. Роторный сборочный автомат

осуществляется сборка. Затем собранная сборочная единица берется захватными устройствами транспортного ротора 7, который передает ее на следующий транспортный ротор.

У цепных станков (рис. 5.23) рабочие органы установлены на цепях 5, натянутых на ведущие и натяжные звездочки 4 и 6. Рабочие органы могут перемещаться по овальной, зигзагообразной или спиральной траектории. Для сборки прессовых соединений с небольшим натягом на цепях установлены колодки 3 с инструментальными блоками 2. Сопряжение деталей 7 и 8 выполняется ползунами 1, которые через ролики 9 взаимодействуют с неподвижными копирами 10 и 11. Движение цепям сообщается от привода 13.

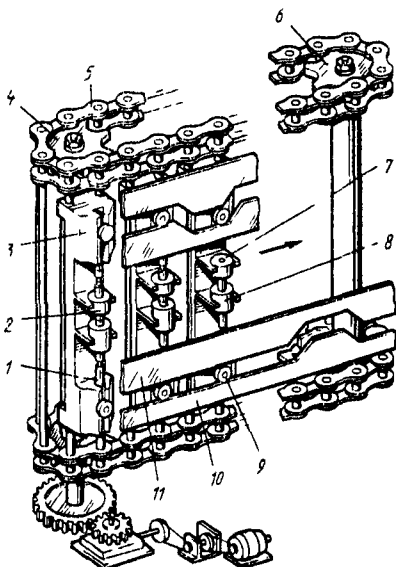


Рис. 5.23. Цепной сборочный станок

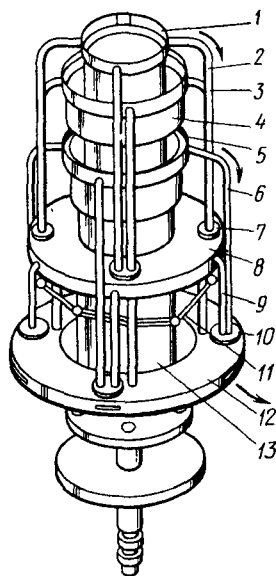


Рис. 5.24. Схема многоярусного сборочного автомата

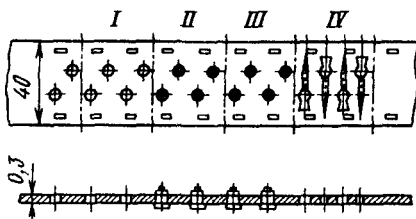
Станки такого типа используют при сборке, характеризующейся значительной длительностью.

Многоярусные автоматы (рис. 5.24) используют для сборки небольших изделий, требующей не более шести операций сборки. Они состоят из вращающегося рабочего ротора, на котором смонтированы бункерно-загрузочные устройства. Сборка осуществляется этапами, между которыми собираемые элементы под действием силы тяжести перемещаются с одного яруса на другой в соответствующие сборочные приспособления. Верхний 8 и нижний 12 ярусы жестко связаны между собой и приводятся во вращение от вала ротора, расположенного внутри неподвижной колонны 13. На верхнем ярусе установлены чаши 1, 4, 5 бункерно-загрузочной системы, в которых находятся три различные детали, подлежащие сборке. Детали из чаш 1 и 4 подаются по лоткам 2, 3 в приспособление 7 верхнего яруса, где они собираются толкателем, приводимым в действие рычагом 11, один конец которого входит в паз копира, закрепленного на колонне 13. Собранная сборочная единица далее перемещается по лотку 9 в приспособление 10 нижнего яруса, куда по лотку 6 поступает следующая деталь из чаши 5, и выполняется сборка. Затем сборочная единица выпадает из приспособления 10 либо при наличии последующих операций может передаваться на следующий ярус автомата.

Комбинированные станки. На комбинированных станках одновременно выполняют изготовление и сборку деталей. Это часто упрощает ориентацию и подачу деталей, так как ориентированное положение деталей при изготовлении сохраняется и при их сборке. Цикл изготовления собираемых деталей должен быть непродолжительным, чтобы не снижалась производительность автоматического сборочного оборудования. Операции сборки выполняют на многооперационных штамповочных прессах-автоматах, токарно-револьверных автоматах, агрегатных станках и АЛ. На штампосборочных автоматах собирают детали, которые штампуют из ленты с деталями, изготавливаемыми на другом оборудовании. Для примера рассмотрим штамповку стрелки грибора и ее сборку со втулкой (рис. 5.25). На позиции 1 в ленте вырубается отверстия для втулок и крючков подачи ленты, на пози-

248

Рис. 5.25. Последовательность технологического процесса изготовления стрелки и ее сборки со втулкой



ции II в отверстия устанавливаются втулки, на позиции III они запрессовываются в ленту, а на позиции IV вырезаются стрелки с запрессованными втулками.

Переналаживаемое сборочное оборудование. При переходе на изготовление изделий измененной конструкции переналадка сборочного оборудования может выполняться путем регулирования специально предусмотренных элементов, изменяющих технологические параметры станка, или замены отдельных его элементов. Основным принципом создания переналаживаемого сборочного автоматического оборудования является агрегатирование. Оборудование компонуют из следующих агрегатных модулей определенной номенклатуры; загрузочных, базирующих, транспортных и контрольных устройств, несущих конструкций, сборочных головок, систем управления. Например, на базе агрегатных модулей (рис. 5.26) можно компоновать станки для завертывания шпилек.

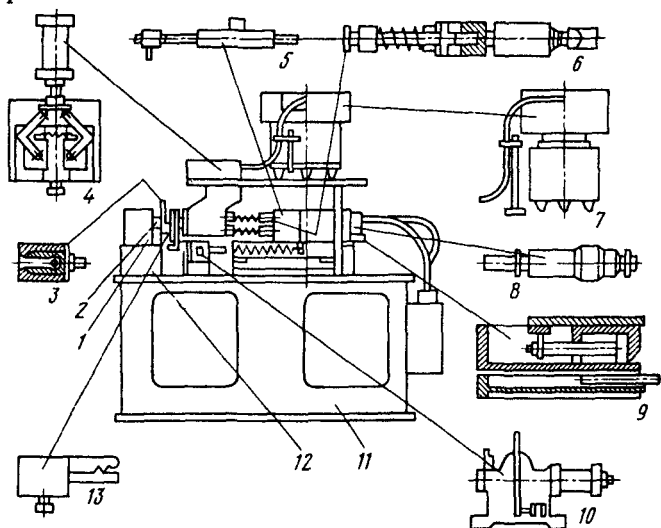


Рис. 5.26. Компоновка полуавтомата для завертывания шпилек из агрегатных модулей:

1 — собираемое изделие; 2 — шпилька; 3 — патрон; 4 — устройство ориентирования шпилек; 5 — устройство выключения патронов; 6 — шпиндель; 7 — вибробункер; 8 — гайковерт; 9 — силовой стол; 10 — устройство поворота руки; 11 — станина; 12 — базирующее устройство; 13 — захват

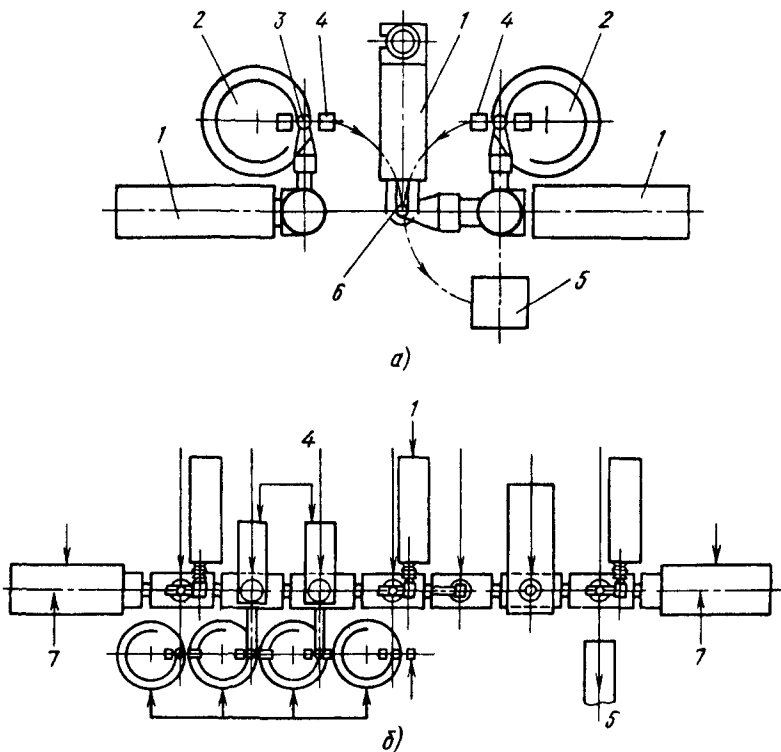


Рис. 5.27. Компоновка сборочного автомата (а) и линии (б) из агрегатных модулей

В зависимости от конфигурации собираемых деталей, числа и размеров шпилек, заданной производительности могут быть скомпонованы следующие станки: с ручной установкой базовой детали, ручным наживлением шпилек и их автоматическим завинчиванием; с автоматической подачей шпилек, их ориентацией по резьбе и автоматическим завинчиванием. На базе агрегатных модулей komponуют сборочные автоматы (рис. 5.27, а), из которых затем как из типовых элементов komponуют автоматическую линию (рис. 5.27, б). Захваты 3 сборочной головки 1 (рис. 5.27, а) берут детали 4 из лотка 2 бункера и переносят в зону 6 сборки. Затем собранная сборочная единица другим захватом переносится и укладывается в тару. Спутники автоматической линии, скомпонованной из данных автоматов, перемещаются транспортной системой 7 с позиции на позицию (рис. 5.27, б), а сборка выполняется головками 1. Изделия передаются на приемное устройство 5.

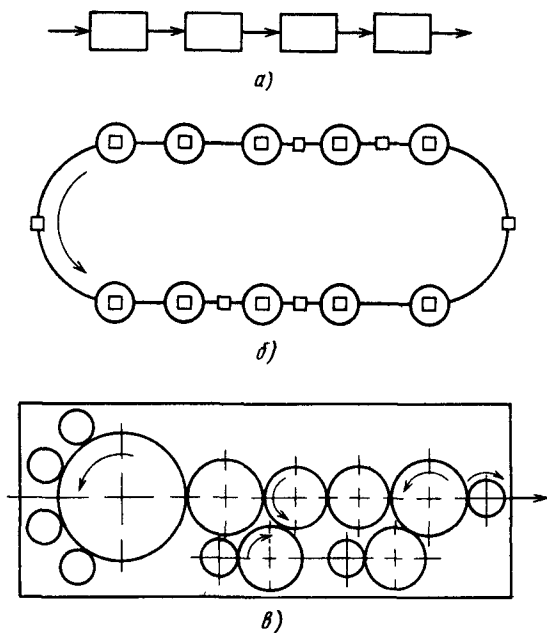


Рис. 5.28. Компоновочные схемы автоматических линий:
 а — прямолинейной, б — замкнутой, в — роторной

Автоматические линии сборки. Наибольшую производительность сборки изделий, состоящих из значительного количества деталей, обеспечивают АЛ, которые в зависимости от компоновки могут быть: прямолинейными (рис. 5.28, а), замкнутыми (рис. 5.28, б) с последовательным, параллельным и параллельно-последовательным выполнением сборочных операций. По характеру непрерывности сборочные АЛ подразделяют на линии дискретного действия с определенным тактом их работы, непрерывного действия (роторные линии) (рис. 28, в) и линии со свободным тактом их работы — несинхронные линии.

5.10. Гибкие производственные системы сборки

Составной частью гибкого сборочного производства является ГПМ. Последний служит для сборки изделий различной номенклатуры, может встраиваться в ГПС и функционировать в автоматическом режиме. В качестве основного технологического оборудования ГПС

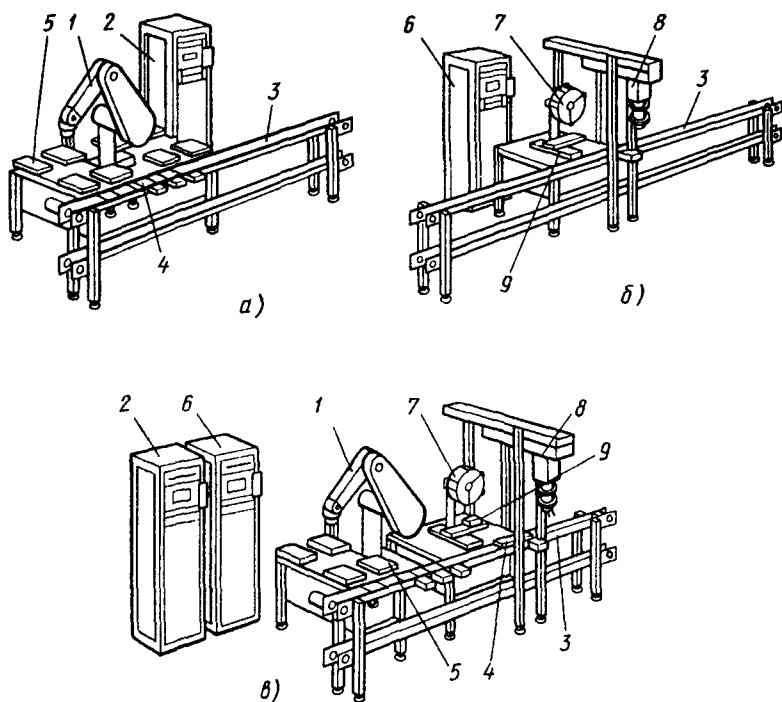


Рис. 5.29. ГПМ сборки на основе:

а — ПР; б — гибкой сборочной машины; в — ПР и гибкой сборочной машины

сборки используют программируемые сборочные станки или ПР. Помимо основного оборудования ГПМ имеет периферийные устройства-накопители, устройства загрузки-выгрузки, бункерно-магазинные устройства, устройства ориентации деталей и сборочных единиц, а также технологическую оснастку и САК.

На рис. 5.29 показаны ГПМ сборки изделий массой до 1 кг с габаритными размерами не более 120×120×120 мм и числом элементов в изделии не более десяти.

Основной компонент ГПМ (рис. 5.29, а) — манипулятор 1, управляемый центральным процессором, выполненным на основе ЭВМ "Электроника-60", расположенной в стойке 2. Манипулятор обладает шестью степенями свободы и оснащен сменными захватами, сборочными инструментами и магазином для них; его грузоподъемность 2,5 кг, точность позиционирования $\pm 0,1$ мм. Манипулятор обслуживает входящие в состав ГПМ двухъярусный двухленточный конвейер 3,

перемещающий спутники 4 с деталями, а также кассеты 5 с компонентами, расположенными на пневматических поворотных платформах.

На рис. 5.29, б показан ГПМ на основе программируемой сборочной машины, которая размещена в стойке 6. Сборочная машина оснащена многоинструментной сборочной головкой 7 с электроприводом, манипулятором 8 (грузоподъемность 10 кг), двухкоординатным столом 9, имеющим дискретно или непрерывно перемещающуюся платформу. Манипулятор обслуживает рабочую зону машины и конвейер 3.

В состав ГПМ (рис. 5.29, в) входят: манипулятор 1, выполняющий часть сборочных операций, и сборочная машина, объединенные транспортным конвейером 3 с несинхронным ритмом. Этот ГПМ имеет наибольшие технологические возможности и может выполнить следующие операции: прием, позиционирование и фиксацию спутников, поступающих на конвейер; базирование ориентированных базовых компонентов на спутниках; установку присоединяемых элементов на базовые; сопряжение деталей; закрепление сопряжений деформированием материала или склеиванием; нанесение смазочных материалов на компоненты; контроль сил и моментов при сопряжении и закреплении, результатов сборки; расфиксацию и съем со спутников бракованных и годных изделий и отдельную их укладку.

ГПМ могут быть с линейным, параллельным, круговым и объемным расположением ПР. Управление ГПМ может быть жестким и адаптивным.

При встраивании рассматриваемых ГПМ в ГПС их соединяют параллельно, последовательно или параллельно-последовательно посредством межмодульного конвейера.

РТК сборки строится по модульному принципу. В качестве модулей, из которых komponуют РТК, используют: ПР; модули их крепления; загрузочные устройства (шиберные, кассетные, вибробункера, координатные столы и т.д.); накопители; блоки синхронизации системы управления, контроля, блокировки; захваты (вакуумные, механические, магнитные, комбинированные, специальные и т.д.); инструмент для оснащения руки ПР с целью выполнения определенных технологических операций (затачивания, сварки, пайки и т.д.); устройства технологического оснащения (зажимные устройства, устройства для развальцовки, смазывания клеем, термованны и т.д.). Путем целесообразного комбинирования указанных унифицированных модулей можно построить различные по назначению РТК сборки.

В общем случае при компоновке из данных модулей можно получить четыре типа базовых структур (компоновок) РТК.

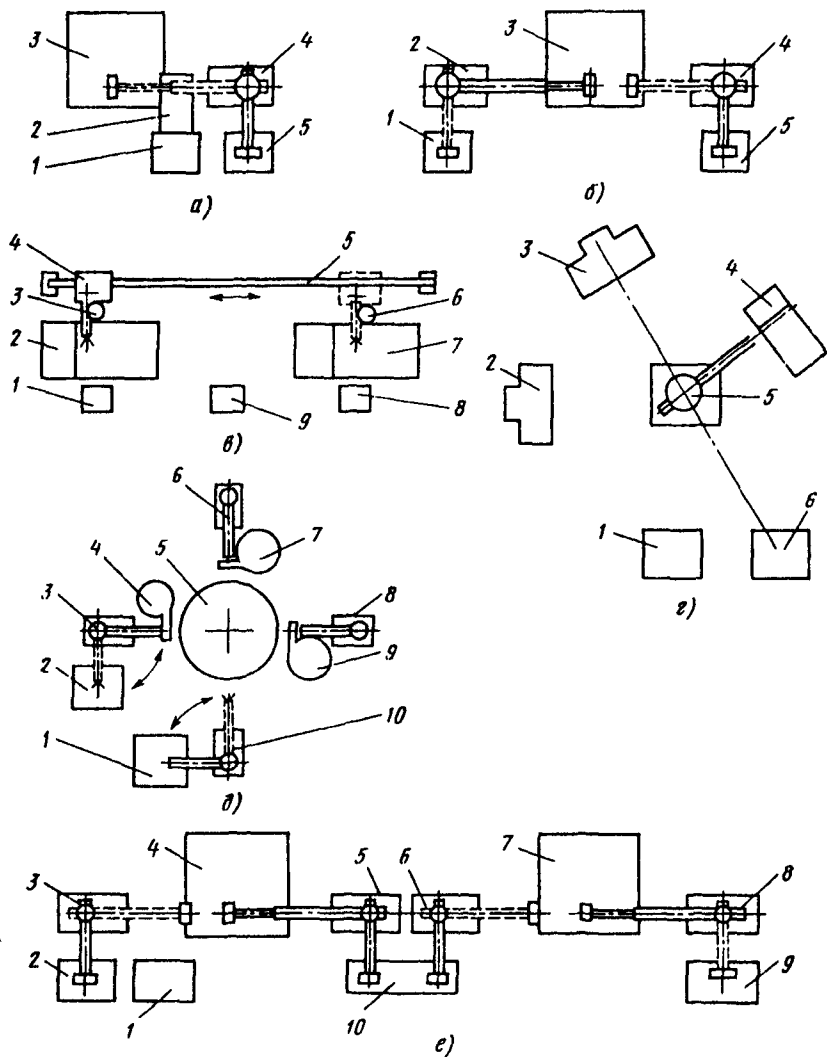


Рис. 5.30. Компонувка РТК

1. В РТК первого типа (рис. 5 30, а) один ПР 4 обслуживает одну единицу технологического оборудования 3 или одно рабочее место. Для подачи деталей в зону захвата ПР используется загрузочное устройство 5, а для разгрузки готового изделия-склиз 2 и разгрузочное устройство 1.

Возможна компоновка РТК данного типа с двумя ПР (рис. 5.30, б) 2 и 4. В данном случае эффективность РТК повышается вдвое. Такие РТК используются в мелко- и среднесерийном производстве для реализации сборки по групповой технологии.

2. РТК второго типа (рис. 5.30, в) имеет один ПР 4, обслуживающий несколько единиц технологического оборудования 2 и 7 или несколько рабочих мест. ПР перемещается по монорельсу 5. В качестве загрузочных устройств используются вибробункера 3 и 6. Готовые изделия разгружаются устройствами 1 и 8 с лотками. РТК управляется групповой системой управления 9.

Используют РТК данного типа с круговой компоновкой (рис. 5.30, г). ПР 5 установлен в центре обслуживания технологического оборудования 2—4, загрузка и разгрузка выполняются в одной позиции устройством 1. РТК управляется системой 6 группового управления.

РТК такого типа целесообразно использовать на длительных (несколько минут) операциях сборки для обслуживания двух и более рабочих мест. По составу РТК близки к технологическим линиям, так как в них входят несколько единиц технологического оборудования, обслуживаемого одним ПР. Их использование в групповых поточных линиях с широкой номенклатурой выпускаемых изделий в условиях среднего и крупносерийного производства нерационально вследствие жесткой связи оборудования. Кроме этого, РТК не имеют системы перiorientации деталей (крестовые, промежуточные столы и т.д.) при переходе от одной операции сборки к другой. Эффективность таких РТК по сравнению с РТК первой группы выше благодаря большему числу единиц обслуживаемого оборудования.

3. В РТК третьего типа несколько ПР (рис. 5.30, д) 3, 6 и 8 одновременно обслуживают одну единицу 5 технологического оборудования или одно рабочее место. Базовую деталь подает ПР 10 и загрузочное устройство 1. Сборочные единицы для выполнения очередной операции сборки подают загрузочные устройства 4, 7 и 9. Разгрузку выполняет ПР 3 и устройство 2.

4. В РТК четвертого типа ПР (рис. 5.30, е) 3, 5 и 8 одновременно обслуживают несколько единиц технологического оборудования 4 и 7. Этот вариант компоновки выгоден тем, что ориентация деталей происходит только в исходном положении загрузочного устройства 2, а дальнейшая передача осуществляется посредством основания ПР 6 и передающих устройств 10. Разгрузочное устройство 9 выгружает готовые изделия. РТК управляется системой 1 группового управления.

В ГАЛ сборки технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций сборки. ГАЛ используются для сборки изделий ограниченной номенклатуры по

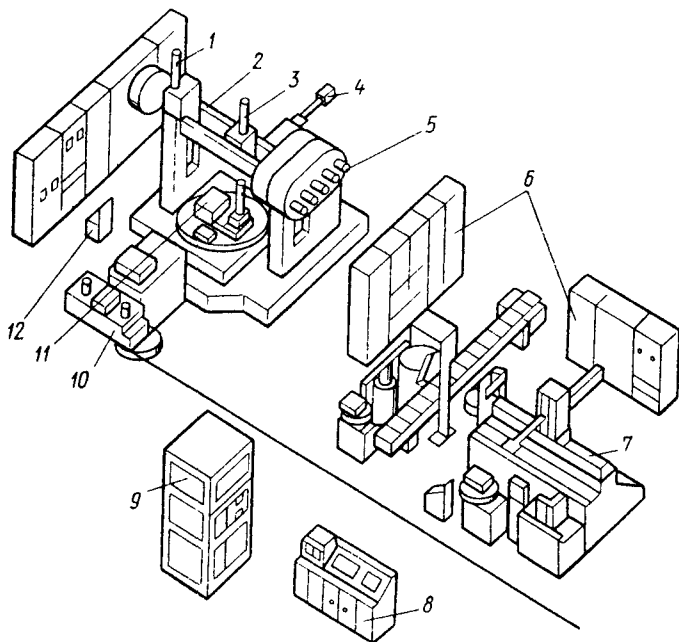


Рис. 5.31. Компоновка ГАУ сборки

жесткому заранее установленному маршруту. При этом сборка нескольких изделий может выполняться частью рабочих позиций ГАУ.

Наиболее распространенным видом ГПС, в которой возможно изменение последовательности использования оборудования, является ГАУ. На рис. 5.31 приведена компоновка ГАУ сборки шпиндельного узла и коробки скоростей, состоящих соответственно из 32 и 37 деталей. Главным компонентом ГАУ является сборочная машина, содержащая два ПР 1 и 3, вертикально установленных над поворотным столом 11. Один из ПР выполняет запрессовку подшипников, другой — завинчивание гаек, а ПР 4 устанавливает детали в горизонтальное положение. Каждый из ПР имеет пять программируемых степеней подвижности и оснащен сменными захватами, в ПР 1 и 3 их 20 и 10 шт., а в ПР 4 — 6 шт. Инструменты расположены в магазине 5. Кроме сборки прессованием и выполнения болтового соединения может осуществляться сверление, лазерная сварка.

Автоматизированная транспортно-складская система (АТСС) содержит транспортную тележку 10, которая подает покупные изделия со склада 7 и кассеты 12 со склада 9 на сборочную машину 2.

Система автоматического управления ГАУ размещена в стойке 6 и соединена линиями передачи информации с основным и вспомогательным оборудованием и главным пультом 8 управления ГАУ.

Структурными единицами интегрированного сборочного производства являются ГАУ и ГАЗ.

В зависимости от расположения входящих в ГПС сборки подсистем, технологического оборудования каждой подсистемы, характера движения материальных потоков (как внутри подсистем, так и между ними) различают следующие компоновки (рис. 5.32) ГПС: последовательную (линейную, круговую, зигзагообразную); сходящуюся (расходящуюся); ветвящуюся; с обратными связями.

В ГПС с линейной структурой (рис. 5.32, а) оборудование (сборочные машины, ПР) имеет двустороннее расположение. Это дает возможность быстро осуществлять переналадку путем изменения числа рабочих позиций, смены технологической оснастки. Достигается также удобство визуального наблюдения за работой оборудования, безопасность работы обслуживающего персонала. Длительность выполнения операций сборки отдельными модулями должна быть примерно одинакова. Одновременное выполнение на позициях ГПС сборочных операций разного характера обеспечивает высокую производительность.

ГПС с последовательной круговой структурой используется в основном при сборке простых изделий, состоящих из небольшого числа деталей, так как увеличение числа позиций требует дополнительных производственных площадей из-за наличия неиспользуемого пространства, затрудняется обслуживание оборудования и его ремонт.

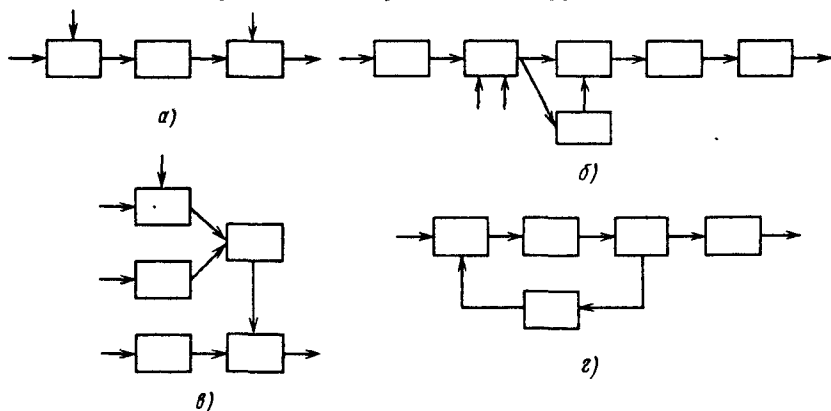


Рис. 5.32. Структуры ГПС сборки:

а — последовательная; б — ветвящаяся; в — сходящаяся, з — с обратной связью

Для передачи базовой детали с одной позиции на другую чаще всего применяют поворотные столы и вспомогательные ПР.

ГПС с последовательной зигзагообразной структурой обладают преимуществами линейных ГПС и легко встраиваются в границы высвобождаемых для ГПС площадей. В таких ГПС применяют либо горизонтально-замкнутые транспортные системы, либо ПР.

Многопозиционные ГПС со сходящейся (рис. 5.32, б) и ветвящейся (рис. 5.32, в) структурами используют при сборке изделий, имеющей различную длительность выполнения отдельных операций. Эти структуры наиболее распространены, так как операции сборки могут выполняться параллельно-последовательно, чем обеспечивается наибольшая эффективность сборки сложных изделий.

В различных компоновках ГПС бывает произвольное, функциональное или групповое расположение основного оборудования. В первом случае оборудование располагают в соответствии с технологическим маршрутом сборки основной группы изделий, однако в этом случае усложняются и удлиняются транспортные маршруты. При функциональном построении ГПС похожие сборочные процессы выполняют одинаковые модули, что дает возможность осуществлять резервирование, хотя и несколько ограничивает производительность ГПС. В ряде случаев, например, при выполнении сборочных заказов данная структура выгоднее, чем произвольная. При групповой структуре ГПС каждую группу изделий собирает соответствующее оборудование. Возможно постепенное наращивание мощности ГПС, так как каждая единица оборудования может работать автономно.

В ГПС сборочного производства предприятия (ГПСсп) (рис. 5.33) входят: автоматизированная система управления сборочным производством предприятия (АСУсп); база данных сборочного производства предприятия (БДС); автоматизированная система научных исследований сборочного производства предприятия (АСНИсп); система автоматизированного проектирования собираемых изделий (САПРси); автоматизированная система технологической подготовки сборочного производства предприятия (АСТПсп); гибкий технологический комплекс сборочного производства предприятия (ГТКсп). Последний представляет собой интегрированную систему, объединяющую все ГПС сборки предприятия на уровне цеха (ГТКц), участка (ГТКу), линии (ГТКл), предназначенные для сборки изделий и их элементов по всему технологическому циклу сборочного производства, синхронность работы которых обеспечивается системой управления ГТКсп. В зависимости от мощности предприятия в ГПСсп может входить один или несколько ГАЦ сборки (ГАЦс), один или нескольких ГАУ сборки (ГАУс), одна или несколько ГАЛ сборки (ГАЛс). ГПСсп строят как иерархию различных производственных единиц, имеющих

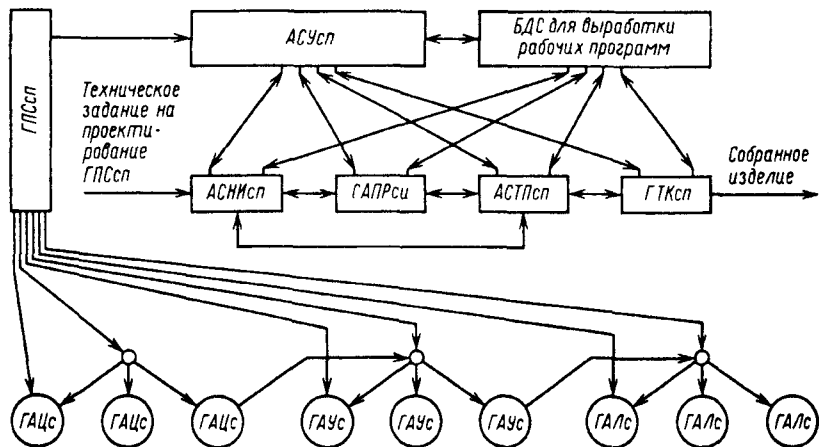


Рис. 5.33. Структура ГПС сборочного предприятия (ГПСсп)

разные уровни управления. Объединение производственных единиц в технологическую систему более высокого уровня осуществляется посредством системы управления, обеспечивающей совместное функционирование производственных единиц в соответствии с командами, полученными из системы управления более высокого уровня. Таким образом, система управления ГПСсп представляет собой многоуровневую систему программного управления, реализуемую комплексом ЭВМ, снабженных набором соответствующих управляющих программ. Объединение ЭВМ различных уровней в единый управляющий комплекс осуществляется путем их взаимного сопряжения линиями передачи данных, по которым проходит обмен информацией между ЭВМ одноименного и любого другого уровня.

Управление ГПСсп (рис. 5.34) производится АСУсп, которая получает команды от АСУП. Управление ГТКсп, объединяющим три ГАЦс, осуществляется системой управления ГТКсп. Управление каждым ГАЦс производится соответствующей системой управления ГТКсп. ГАЦс состоит из двух ГАУс, а участок ГАУс I — из двух ГАЛс. Управление участками осуществляется соответствующими системами управления ГТКсу, а линиями ГТКсл.

Подача собираемых компонентов (деталей, комплектующих изделий, узлов) и оснастки (инструмента, приспособлений) первоначально осуществляется во внешнюю систему б транспортирования, где они перемещаются транспортными роботами 7. Из системы транспортирования б собираемые компоненты и оснастка подаются или на автоматизированные склады цехов и участков, а затем на внутреннюю

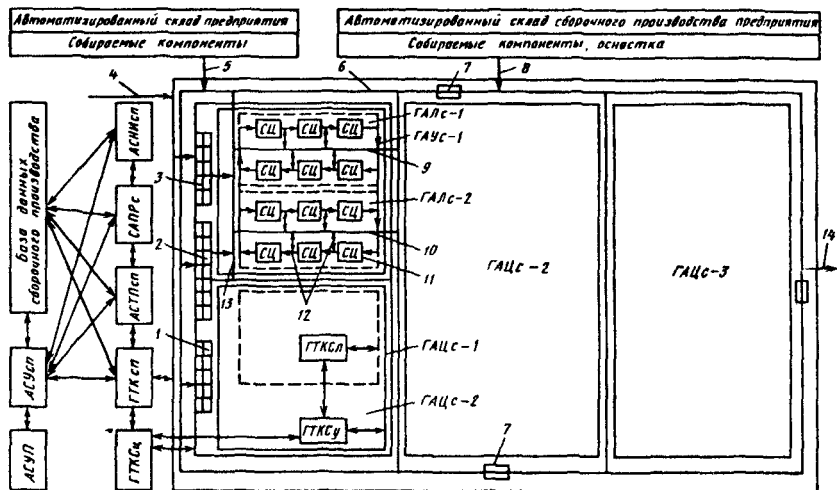


Рис. 5.34. Схема ГПСсп:

1, 2, 3 — автоматизированные склады собираемых компонентов и оснастки соответственно ГАУс-1, ГАУс-2, ГАЦ-1; 4 — подача собираемых компонентов из других специализированных производств (механическая обработка, гальванопокрытие и т.д.); 5 — подача собираемых компонентов с автоматизированного склада предприятия; 6 — внешняя система транспортирования; 7 — транспортный робот; 8 — подача собираемых компонентов и оснастки; 9, 10 — транспортные системы соответственно ГАЛс-1 и ГАЛс-2; 11 — сборочный центр; 12 — межоперационная система транспортирования; 13 — внутренняя система транспортирования; 14 — передача собираемых изделий в другие специализированные производства

систему транспортирования цеха (участка), или сразу на внутреннюю систему транспортирования цеха (участка). С последней собираемые системы и оснастка поступают на транспортные системы ГАЛс-1, ГАЛс-2 и т.д. С транспортных систем линий 9 и 10 собираемые комплекты и оснастка могут передаваться в любые ячейки сборки и возвращаться обратно посредством межоперационных систем 12 транспортирования. При этом собираемый (собранный) объект (узел, изделие) после прохождения всех или части сборочных центров (СЦ) линии ГАЛс-1 может быть передан с помощью следующих систем: межоперационной системы 12 транспортирования на ГАЛс-2 для прохождения сборки, а затем на ГАЛс-3 и т.д.; внутренней системы транспортирования 13 на любой ГАУс и линию ГАЛс-1 системы 6 на любой участок или линию ГАЦс-2 или ГАЦс-3 или в другое специализированное производство (14).

5.11. Экономическая эффективность автоматической сборки

Экономическую целесообразность использования средств автоматизации сборки определяют сопоставлением проектируемого варианта с аналогом или поэтапным сравнением между собой нескольких проектируемых вариантов. Первый этап расчета выполняют на стадии составления технического задания. На основании результатов расчета решают вопрос о последующих проектных разработках. Второй этап расчета выполняют на стадии разработки технического проекта и вносят при необходимости соответствующие коррективы.

При проектировании нового технологического процесса автоматической сборки в качестве базы для сравнения выбирают наиболее совершенную отечественную или зарубежную технологию сборки данного изделия. При усовершенствовании действующих технологических процессов в качестве базы для сравнения принимают процесс, действующий на данном предприятии.

Годовой экономический эффект от внедрения автоматической сборки $\mathcal{E} = [(C_1 + k_n K_1)(N_1/N_2)] - (C_2 + k_n K_2)$, где C_1 и C_2 — себестоимость годового выпуска (сборки) изделий соответственно по базовой и новой технологии; $k_n = 0,15$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K_1 и K_2 — капитальные вложения по этим технологиям; N_1 и N_2 — годовой выпуск изделий по базовой и новой технологии.

При постоянной программе выпуска $N_1 \mathcal{E} = [(C_1' + k_n K_1') - (C_2' + k_n K_2')] N_2$, где C_1' и C_2' — себестоимость сборки одного изделия (узла) соответственно по базовой и новой технологии; K_1' и K_2' — удельные капитальные вложения соответственно по базовой и новой технологии на одно изделие.

Если новая технология автоматической сборки обеспечивает повышение качества изделия (например, увеличение срока службы), то $\mathcal{E} = [(C_1' + k_n K_1') \frac{(1/T_1) + k_n}{(1/T_2) + K_m} - (C_2' + k_n K_2')]$, где T_1 и T_2 — сроки службы изделий, обеспечиваемые соответственно по базовой и новой технологии.

Если новый технологический процесс не изменяет капитальных вложений по сравнению с базовой технологией, то экономичность

варианта оценивают по годовой экономии на снижение себестоимости изделий, изготовляемых по новой технологии: $\mathcal{E}' = (C_1' - C_2')N_2$.

Окупаемость (год) дополнительных капитальных вложений $O = (K_2 - K_1N_2/N_1)/(C_1' - C_2')N_2$.

Полученный срок окупаемости сопоставляют с нормативным: $O_n = 6,6$ года.

Эффективность новой технологии автоматизированной или автоматической сборки оценивают также по высвобождаемым площадям, рабочей силе, снижению расхода энергии и другим технико-экономическим показателям.

5.12. Проектирование автоматизированных процессов изготовления деталей

В качестве средств автоматизации процессов изготовления деталей используют оборудование с ЧПУ, АЛ, РТК, ГПС. Применение тех или иных средств определяется программой выпуска, номенклатурой и конструктивными особенностями деталей.

Основным оборудованием для механической обработки различных по своему служебному назначению деталей в условиях крупносерийного и массового производства являются АЛ или состоящие из них системы. В условиях крупносерийного и массового производства АЛ выполняют от одной до десяти различных деталей. Переналадка (ручная или автоматическая) реализуется на специальных переналаживаемых АЛ для групповой обработки, предназначенных для изготовления двух и более заранее известных, аналогичных по конструкции и технологии обработки и близких по размерам деталей.

Технологический процесс обработки заготовок на АЛ должен удовлетворять не только обычным технико-экономическим и техническим требованиям, но и условиям, вытекающим из специфики автоматизированного производства. При обработке на синхронных АЛ нужно обеспечить приблизительно равную или кратную длительность выполнения отдельных операций. Это достигается соответствующими корректировками режимов резания. Если машинное время на одной или нескольких наиболее длительных (лимитирующих) операциях значительно превышает машинное время на остальных операциях, то часто приходится разделять лимитирующую операцию на несколько операций, выполняемых на дополнительных позициях.

Первые подготовительные операции, на которых обрабатываются базовые поверхности, следует выполнять не на АЛ, а на отдельных станках. Это вызвано тем, что подобные операции трудно автоматизи-

зировать, так как заготовку устанавливают на необработанные поверхности, а последующая установка заготовок в АЛ на чистовые базы требует другой ориентации заготовки и других приспособлений. При необходимости вести обработку от черновых баз на всех операциях АЛ используют спутники. На спутнике заготовка закрепляется один раз. Обработка черновых поверхностей вызывает повышенное изнашивание инструмента и требует более частых подналадок, что нежелательно на АЛ.

Проектирование технологических процессов обработки заготовок деталей на АЛ начинают с анализа конструкции детали. Деталь должна иметь по возможности простую форму, что позволяет выполнять обработку несложными инструментами при минимальном числе рабочих ходов, а заготовка — минимальные припуски на обработку и стабильные размеры. Поверхности, используемые для транспортирования заготовки, должны обеспечивать ее устойчивое положение при перемещении без потери ориентировки, технологические базы должны быть такими, чтобы обеспечивалось надежное базирование. Конструкция детали должна быть достаточно жесткой для обеспечения заданной точности обработки при оптимальных режимах резания и позволять обработку с минимальным числом поворотов заготовки в процессе ее выполнения. Межосевые расстояния отверстий, лежащих в одной плоскости, должны позволять обработку инструментами, закрепленными в одной шпиндельной головке. В качестве технологических баз при обработке на АЛ корпусных деталей часто используют плоскость и два базовых отверстия. При разработке технологического процесса следует избегать смены баз.

Технологический процесс разрабатывают поэтапно. На первом этапе для обработки каждой поверхности выбирают соответствующий метод и определяют необходимое число переходов в зависимости от требуемых точности и качества поверхности. Эту информацию используют для определения необходимых силы и мощности на резание. Затем устанавливают последовательность всех переходов с учетом требования минимальности числа измерений положения заготовки. На этом этапе принимают решения о целесообразности выполнения некоторых операций на другой линии. В технологическом процессе следует предусматривать переходы для контроля и очистки заготовки от стружки. При обработке точных поверхностей между черновыми и чистовыми операциями целесообразно осуществлять операции по обработке других поверхностей. Благодаря такой последовательности операций заготовка успевает остынуть после черновой обработки перед чистовой.

На последнем этапе проектирования окончательно группируют переходы по станкам, шпинделям (агрегатных станков) и уточняют

режимы резания таким образом, чтобы число станков было минимальным. При этом учитывают возможности нормализованных узлов или станков, из которых будет создаваться АЛ, удобство ее обслуживания. Уточняют режимы резания с учетом заданной производительности АЛ. Следует иметь в виду, что изменять технологический процесс и режимы резания на действующий АЛ без ее переделки невозможно.

Ритм АЛ (шт/с, шт/мин) — число изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени: $R = (Nk_T)/\Phi$, где N — годовая программа выпуска, шт.; $k_T = 0,7...0,8$ — коэффициент технического использования; Φ — фонд времени работы АЛ.

При расчетах режимов резания необходимо знать основное время, допускаемое на АЛ при заданной программе выпуска: $t_0 = T_p - t_b = (\Phi k_T/N) - t_b$, где T_p — расчетный такт выпуска, t_b — вспомогательное время (для предварительных расчетов $t_b = 0,15...0,5$ мин в зависимости от сложности предлагаемого цикла работы АЛ, длины хода конвейера и др.).

Сравнив t_0 наиболее продолжительного перехода с рассчитанным по последнему выражению, можно оценить правильность выбранных режимов резания. Если t_0 этого перехода меньше t_0 , определенного из этого выражения, то параметры резания на всех станках АЛ следует снизить в первую очередь путем уменьшения скорости резания, так как она в большей степени, чем подача, влияет на стойкость режущего инструмента. Режимы назначают для стойкости 4 или 8 ч, т.е. с расчетом замены изношенного инструмента в обеденный перерыв или в начале смены.

В связи с сокращением срока выпуска изделий в ряде отраслей промышленности АЛ, рассчитанные на выпуск одной детали постоянной конструкции, имеют срок окупаемости около десяти лет и более и уже не могут быть полностью использованы. Поэтому было разработано оборудование нового вида — ГАЛ, которые могут переналаживаться на обработку деталей модификаций, неизвестных при проектировании. Оборудованием, применяемым в ГАЛ, а также в качестве самостоятельных средств автоматизации средне- и крупносерийного производства, являются станки со сменными шпиндельными коробками (СШК).

В среднесерийном производстве предъявляются специфические требования к металлообрабатывающему оборудованию. Обычные АЛ в среднесерийном производстве нерентабельны вследствие малого коэффициента загрузки, а использование одношпиндельных многоцелевых станков с ЧПУ невыгодно, так как для изготовления больших партий деталей требуется значительное количество этого дорогостоя-

Рис. 5.35. Компоновка ГАЛ со СШК

щего оборудования. Поэтому производительность повышают благодаря использованию СШК. В оборудовании со СШК заготовка остается неподвижной во времени всего цикла обработки, а инструмент, установленный в СШК, подается к заготовке в последовательности, соответствующей ходу технологического процесса обработки, производительность которого определяется суммой затрат времени на выполнение всех операций. Число наименований деталей, изготавливаемых на ГАЛ со СШК, зависит от программы их выпуска и трудоемкости обработки и может достигать в среднем 10—12 шт.

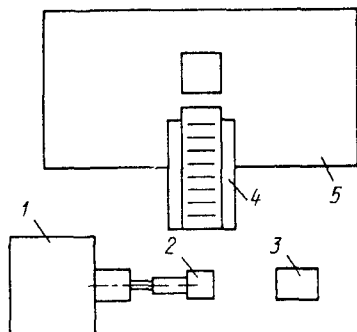
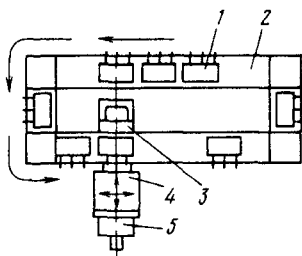
При небольшой трудоемкости обработки на одной ГАЛ можно изготавливать детали до 30, а при большой трудоемкости — до двух наименований. В среднесерийном производстве с программой выпуска 5000—30 000 шт./год обработку экономически целесообразно выполнять на агрегатном оборудовании со СШК, что увеличивает производительность труда в 5—10 раз по сравнению с обработкой на станках с ЧПУ. В ряде случаев для большей гибкости оборудования СШК изготавливают с раздвижными шпинделями.

Существуют различные компоновки ГАЛ. Например, в ГАЛ со СШК, транспортируемыми по нижней плоскости (рис. 5.35), движение подачи и установочные движения получает заготовка 4, закрепленная на крестовом столе 5. Комплект СШК 1 располагается на роликовом конвейере 2 непрерывного действия в порядке технологического маршрута обработки. На силовом узле 3 входной вал СШК через автоматическую муфту входит в зацепление с приводом главного движения. Во время обработки СШК остается неподвижной.

Необходимым элементом перехода от локальной автоматизации к ГПС являются РТК (рис. 5.36). Организационно РТК могут функционировать отдельно, как самостоятельный вид оборудования, или могут быть объединены в роботизированные технологические линии (РТЛ) и роботизированные технологические участки (РТУ).

Рис. 5.36. РТК фрезерной обработки заготовок деталей типа планок:

1 — устройство поштучной выдачи заготовок, 2 — ПР, 3 — пульт управления, 4 — зажимное приспособление, 5 — горизонтально-фрезерный станок мод 6М80



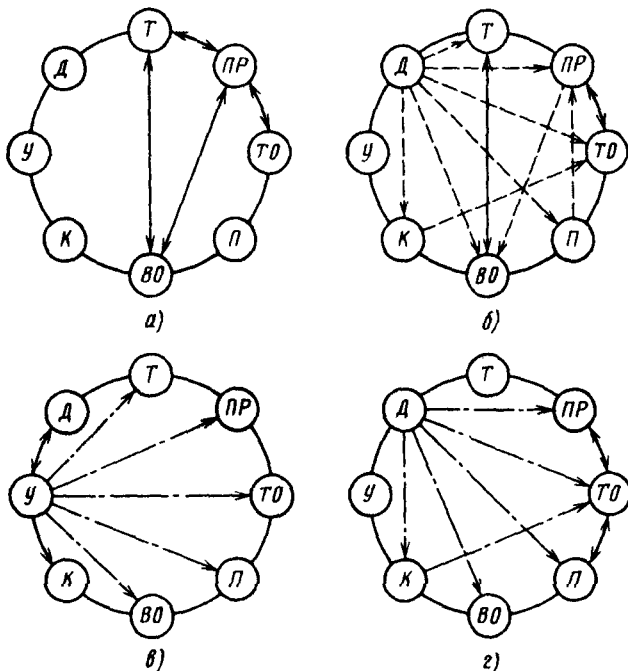


Рис. 5.37. Внутренние связи между основными составляющими производственного процесса РТК:

а — конструктивные, *б* — технологические, *в* — планировочные, *г* — информационные, *ГО* — технологическое оборудование, *ПР* — промышленный робот, *Д* — деталь, *П* — приспособление и оснастка, *ВО* — вспомогательное оборудование (тара, магазины, транспорт), *К* — средства контроля, *У* — средства управления, *Т* — входные и выходные транспортные связи РТК

Структура РТК и степень участия человека в производственном процессе зависят от уровня автоматизации, избираемого для данных конкретных условий, и характера связей с внешними и смежными производственными подразделениями. Состав РТК определяется характером выполняемого технологического процесса и формируется на основе следующих данных: числа изготавливаемых деталей; заданной годовой программы выпуска; состава технологического оборудования; организации потока материалов (транспортирование, промежуточное хранение деталей и заготовок); числа подразделений обслуживания оборудования. Конструктивные, технологические, планировочные, информационные и другие связи (рис. 5.37) как внутри РТК, так и между ними определяют характер выполняемого процесса. РТК

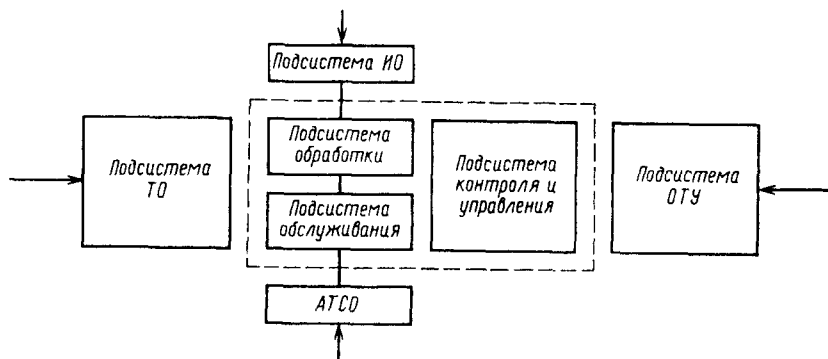


Рис. 5.38. Структурная схема РТК

можно условно подразделить на три основные подсистемы: 1) обработки, 2) обслуживания, 3) контроля и управления (рис. 5.38). Подсистема обработки формируется на основе технологического оборудования, модернизированного для взаимодействия с ПР. Подсистема обслуживания формируется на основе устройств для размещения заготовок деталей на входе в РТК межоперационных транспортирующих устройств и накопителей, устройств приема детали, а также ПР. Подсистема контроля и управления состоит из комплекса программ, средств контроля, измерений, регулирования вычислений, логического управления, регистрации и аварийной защиты. Эта подсистема оснащена датчиками контроля наличия, ориентации и точности расположения изготавливаемых изделий, параметров выполняемого технологического процесса, правильности срабатывания рабочих органов оборудования, приспособлений режущего инструмента, вспомогательных устройств и аварийной защиты. Сложные РТК помимо указанных подсистем могут иметь дополнительные — систему инструментального обеспечения (СИО) технического обслуживания (ТО) и организационно-технического управления (ОТУ). В простых РТК используются, как правило, автономные устройства управления ПР и технологическим оборудованием, а в сложных — УВК.

Автоматизацию механической обработки с помощью РТК осуществляют как путем создания последних на базе имеющегося на предприятии оборудования, так и путем оснащения производства серийно выпускаемыми РТК. Создание РТК на базе имеющегося оборудования требует модернизации станков, а также соответствующей организации хранения и транспортирования деталей.

При определении номенклатуры деталей, изготовление которых целесообразно на РТК, следует учитывать ряд факторов: конструк-

цию детали (геометрическую форму и взаимное расположение ее поверхностей); технические требования, предъявляемые к детали; вид, состояние поставки, габариты и массу заготовок. Заготовки, подлежащие обработке на РТК, должны отвечать следующим требованиям: иметь однородные по форме и расположению поверхности для базирования и захвата, позволяющие устанавливать их без дополнительной выверки на станок с помощью универсальной технологической оснастки; иметь явно выраженные поверхности, которые можно использовать для транспортирования и складирования заготовок около станков в ориентированном виде, используя для этого стандартизированную вспомогательную оснастку (поддоны, ложементы и т.д.). Конструкции деталей должны быть такими, чтобы была возможна унификация технологических процессов и типов технологического оборудования в целях использования группового метода их изготовления. Для изготовления на РТК рекомендуются следующие детали: гладкие и ступенчатые валы (прямоосные и эксцентриковые) диаметром до 160 мм и длиной до 2000 мм; диски, фланцы, кольца, втулки, гильзы диаметром до 400 мм и длиной до 250 мм; плоские и объемные детали простейшей формы длиной и шириной до 1000 мм.

В условиях среднесерийного производства использование РТК целесообразно только на базе группового метода обработки. Для его реализации необходимо: определить на основе соответствующих критериев номенклатуру деталей-представителей; разработать типовые технологические процессы изготовления указанных деталей; выбрать технологическое оборудование, обеспечивающее механическую обработку и отвечающее уровню автоматизации для встраивания РТК.

При разработке технологического процесса обработки в условиях РТК нужно обеспечить: максимально возможную концентрацию операций на станках с ЧПУ, позволяющую сократить число перестановок заготовки в процессе обработки, повысить точность последней и сократить время производственного цикла; использование технологической оснастки, позволяющей при быстрой и легкой переналадке получить точное базирование и надежное крепление заготовок широкого диапазона размеров; тщательную подготовку технологических баз, которая может выполняться на РТК или вне его перед поступлением заготовки на комплекс. На РТК следует выполнять технологические операции, время выполнения которых не превышает нормативного периода стойкости режущего инструмента. К заготовкам, обрабатываемым на РТК, предъявляют повышенные требования. Рекомендуется специализация РТК по двум группам выполняемых операций: 1) РТК для черновых и получистовых операций; 2) РТК для финишных операций, на которых достигается требуемая точность

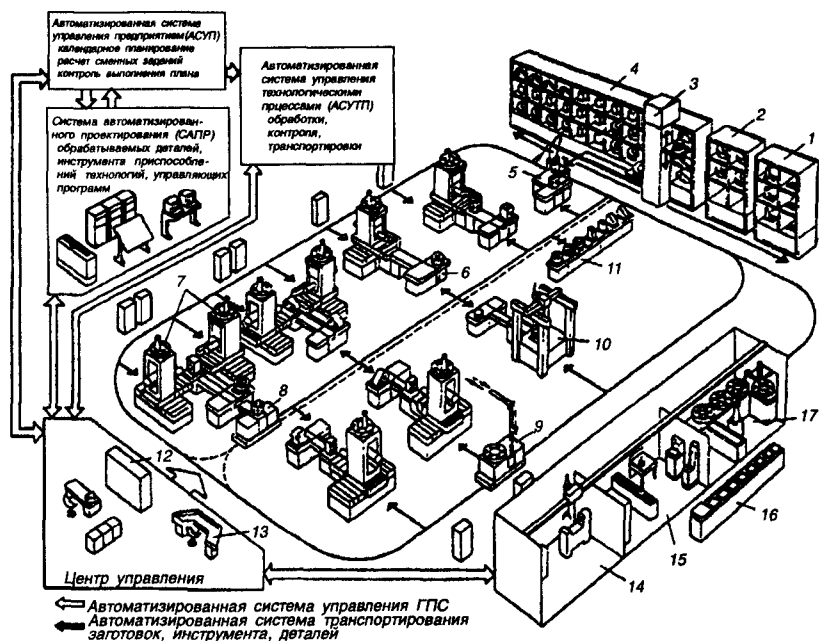


Рис. 5.39. Структурно-компоновочная схема ГПС механообработки:

1 — склад приспособлений-спутников; 2 — склад инструментальных магазинов; 3 — робот-штабелер; 4 — склад заготовок и деталей; 5 — монтажный стол; 6 — накопители с автоматической загрузкой; 7 — станки; 8, 9 — самоходные транспортные робокары; 10 — измерительная машина; 11 — пункт оперативного накопления; 12 — ЭВМ; 13 — пульт оператора; 14 — отделение заточки режущего инструмента; 15 — отделение комплектации и настройки инструмента; 16 — отделение сборки приспособлений спутников; 17 — отделение комплектации магазинов инструментов

параметров детали. Технологическое оборудование РТК следует выбирать так, чтобы положение оси заготовки при ее транспортировании и обработке было постоянным (вертикальным или горизонтальным).

ГПС механической обработки (рис. 5.39) классифицируют по ряду признаков: организационному, комплексности изготовления изделий, виду обработки, разновидности изготавливаемых изделий, уровню автоматизации.

По организационным признакам ГПС подразделяют (рис. 5.40) на ГАЛ, ГАУ, ГАЦ.

Предметные ГАУ — системы машин, на которых полностью изготавливается определенная группа изделий (например, валы, втулки, планки, корпуса) или две и более групп изделий (например, типа тел вращения и пластины). Узловые ГАУ — системы машин, продуктом

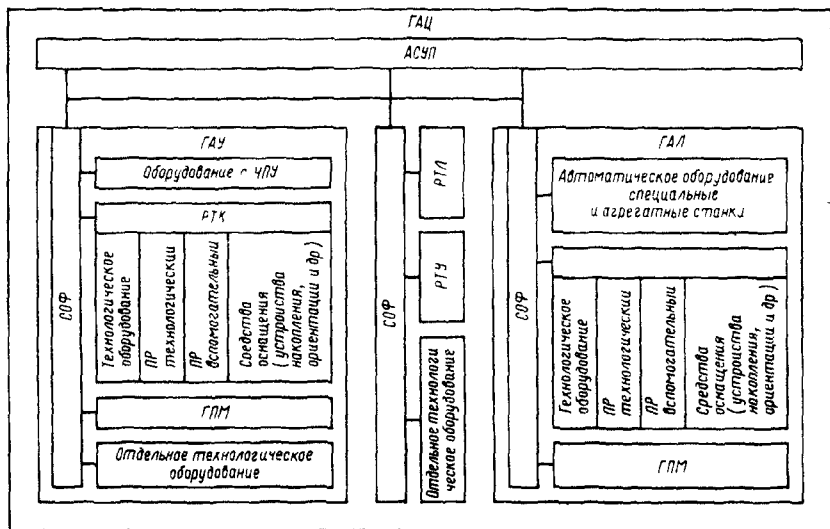


Рис. 5.40. Организационная структура ГПС

производства которых являются комплекты деталей и узлы определенных типоразмеров. Комплекты деталей дополняются со склада недостающими покупными деталями. Затем они ритмично поступают на ГАУ. Операционные ГАУ служат для выполнения однородных технологических операций, которые являются частью комплексного технологического процесса изготовления определенной группы изделий. Эти ГАУ оснащают высокопроизводительным специализированным оборудованием. Операционные ГАУ входят в состав предметных, а последние — в узловые. В состав ГАУ и ГАЛ могут входить РТК. Классификация ГАУ по назначению показана на рис. 5.41.

ГПС различают по уровню автоматизации, т.е. способности выполнять в автоматическом режиме определенные функции (табл. 5.1). Этот уровень определяется уровнем автоматизации основного технологического оборудования — ГПМ, из которых komponуется ГПС, транспортно-накопительной системы, организации производства. Чем выше уровень автоматизации ГПС, тем выше ее стоимость. Уровень автоматизации ГПС как комплексное понятие определяется показателем, равным отношению времени автоматической работы оборудования к общему фонду времени его использования. Уровень автоматизации оборудования (ГПМ, многооперационных станков и других машин) может быть выражен коэффициентом использования оборудования $K_{иуп}$ при работе по управляющей программе (УП), т.е. в автоматическом цикле при обработке партии одинаковых деталей:

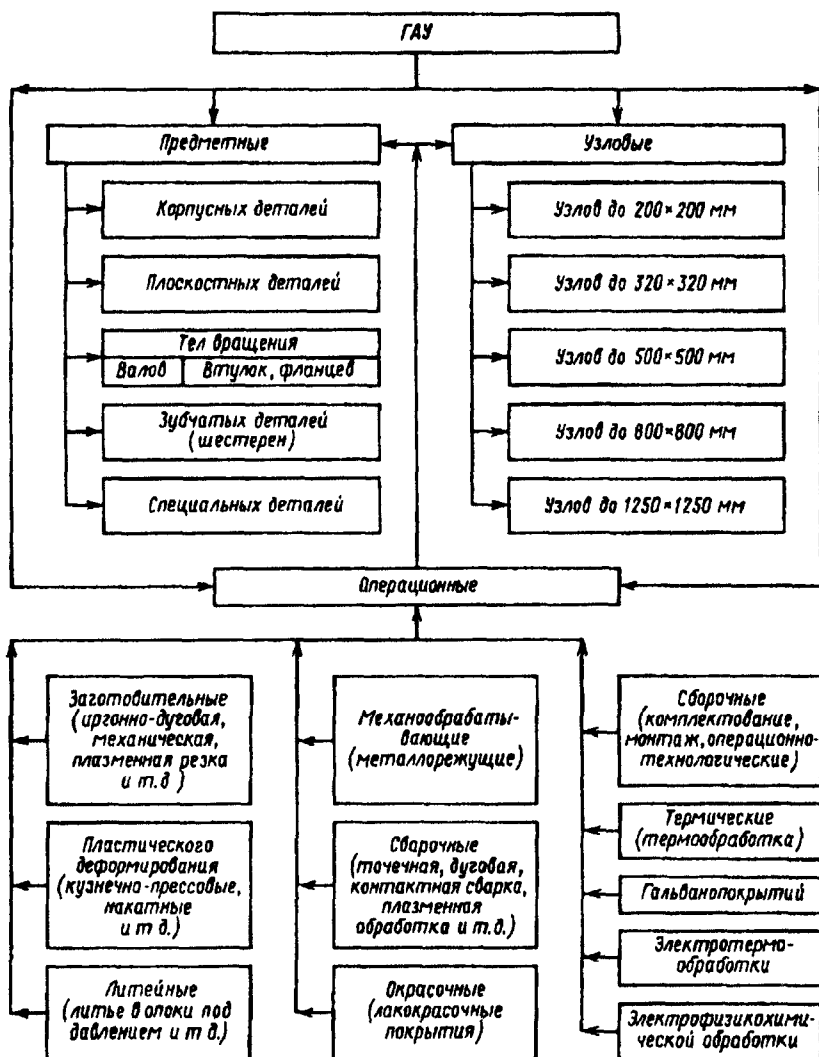


Рис. 5.41. Классификация ГАУ по назначению

5.1. Уровни автоматизации различных функций в ГПС

Выполняемые функции	Уровень автоматизации		
	1	2	3
Накопление материалов, заготовок, изделий	+	+	+
Накопление оснастки, инструмента	+	+	+
Транспортирование материалов, заготовок и изделий по маршруту склад — рабочее место — рабочее место — склад	+	+	+
Транспортирование оснастки и инструмента по маршруту склад — рабочее место — склад	+	+	+
Управление технологическими процессами	+	+	+
Управление производственными процессами (планирование, диспетчирование и т.д.)	(+)	(+)	(+)
Защита от аварийных ситуаций	+	+	+
Смена управляющих программ	(+)	+	+
Загрузка — разгрузка материалов, заготовок и изделий	—	+	+
Подача вспомогательного материала к рабочим местам	—	+	+
Удаление отходов производства от рабочих мест	—	+	+
Установка и закрепление заготовок в приспособлениях-спутниках	—	—	(+)
Контроль качества изготовления	—	—	+
Технологическая подготовка производства	—	—	(+)
Проектирование изделий	—	—	(+)

Примечание. Знак "+" означает автоматическое выполнение функции, знак "—" — неавтоматическое, знак "(+)" — автоматизированное

$$K_{иу\pi} = \left[\sum_{i=1}^n (t_{у\pi} + t_{т}) \right] / \sum_{i=1}^n t_{шк}, \text{ где } n \text{ — число деталей в партии; } t_{у\pi} \text{ —}$$

время работы по УП при изготовлении одной детали, мин; $t_{т}$ — время транспортирования заготовки из позиции загрузки в позицию обработки, несовмещенное с временем обработки, мин.

Комплексную оценку уровня автоматизации ГПС и организации производства на ней, в том числе функционирования транспортно-накопительной системы, можно выполнить с помощью коэффициента использования годового фонда времени работы ГПС $K_{гф} =$

$$= \left[\left(\frac{\sum_{i=1}^m \Phi_{\phi_i}}{m} \right) / \Phi_{э} \right], \text{ где } m \text{ — число единиц технологического оборудования в ГПС; } \Phi_{\phi_i} \text{ — фактическое время работы оборудования ГПС по}$$

УП в течение года; Φ_3 — эффективный годовой фонд времени работы ГПС.

Гибкость ГПС определяется степенью переналадки оборудования и организацией производства. В условиях ГПС при переходе на обработку с одной партии деталей на другую выполняется, как правило, автоматизированная (автоматическая) переналадка. Количественно гибкость ГПС оценивают косвенным образом — $T_{п.зл}$, отнесенным

к $\sum_{i=1}^n t_{шк} T_{п.зи}$ включает: ознакомление с чертежом, вызов УП, обработку пробной детали, внесение коррекции в УП, ввод программы контроля детали в систему управления станком. Чем меньше в равных условиях производства доля $T_{п.зл}$, тем выше гибкость ГПС.

Проектирование технологических процессов механической обработки деталей выполняют при создании ГПС с целью получения исходных данных для ее разработки и при технологической подготовке для уже функционирующей ГПС. В первом случае проектируют технологические процессы типовых деталей — представителей групп. При этом допускается варьирование состава основного технологического оборудования. Разрабатывают сквозную маршрутную технологию с учетом операций, выполняемых вне ГПС, комплексный маршрутно-операционный технологический процесс изготовления изделия в ГПС, включающий основные и вспомогательные операции, в том числе наладку и переналадку оборудования.

Во втором случае выполняют многовариантное проектирование технологии, так как для изготовления каждого изделия может быть несколько вариантов технологических процессов, различных по составу и содержанию операций и установов. При составлении сменно-суточного задания на основе анализа вариантов технологии для всей совокупности деталей можно оптимизировать производственный процесс по минимальным затратам времени и средств на переналадки. Последовательность проектирования технологического процесса для ГПС показана на рис. 5.42. Принципы модульно-групповой технологии, многовариантность технологического процесса, оптимизация вариантов для совокупности деталей, входящих в сменно-суточное задание, существенно изменяют состав и решение задач проектирования технологии.

Метод модульной технологии основан на представлении технологических процессов изготовления деталей в виде совокупности унифицированных технологических решений, каждое из которых обеспечивает получение определенного конструктивного элемента детали. Этот метод позволяет синтезировать технологический процесс из совокупности заранее сформированных конструкторско-технологичес-

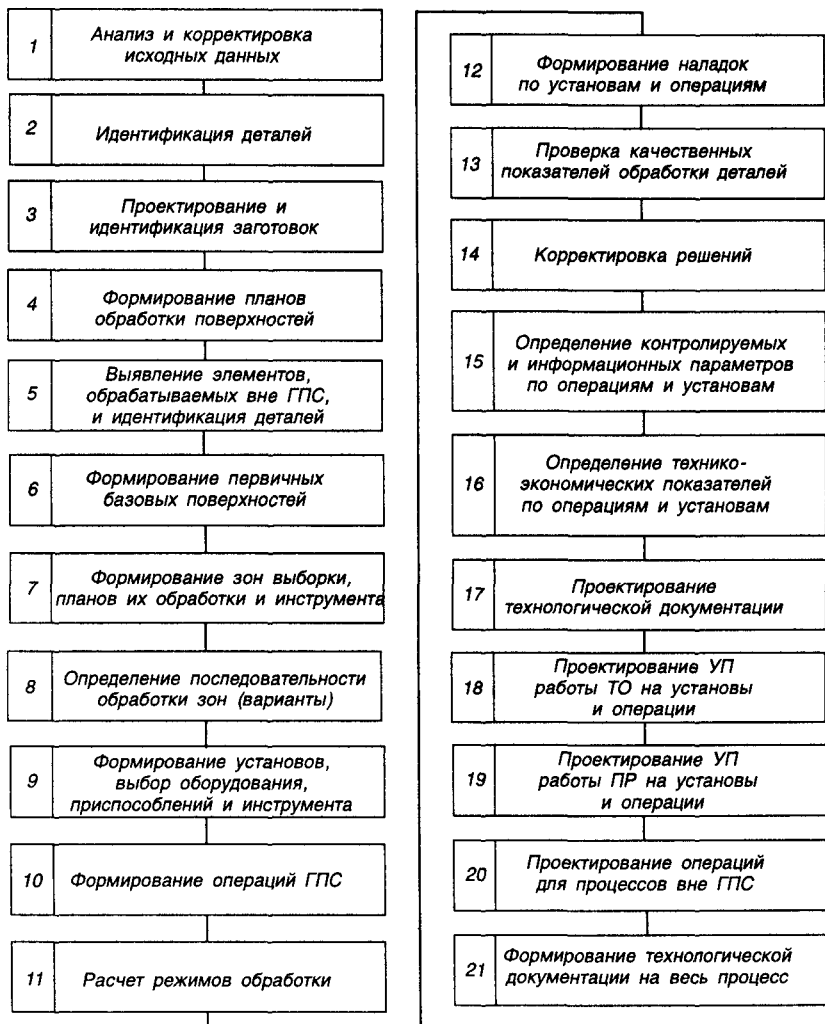
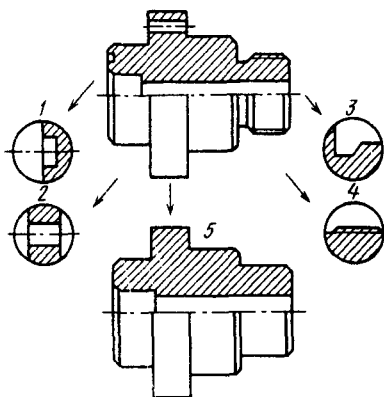


Рис. 5.42. Последовательность проектирования технологических процессов ГПС

ких решений. Основой реализации указанного метода является предварительное группирование деталей при создании ГПС, наличие библиотек типовых циклов обработки для станков с ЧПУ, унификация и стандартизация конструкторских элементов, представление УП для оборудования с ЧПУ в виде совокупности подпрограмм для отдельных инструментальных переходов.

Рис. 5.43. Конструктивные элементы детали:
 1 — торцовая канавка, 2 — группа отверстий
 во фланце; 3 — зарезьбовая канавка, 4 —
 резьба, 5 — элемент основной формы



Декомпозиция технологических процессов на инструментальные переходы, их последующая типизация и унификация, определение взаимосвязи между параметрами конструктивных элементов и их технологией дает возможность определить конструкторско-технологические решения, составными частями которых будут являться конструктивное описание элемента и технология его изготовления. Деталь, которую необходимо изготовить, представляют в виде отдельных конструктивных элементов (рис. 5.43). Исходя из назначения детали определяют ее основную геометрическую форму (контур или обвод). Затем вводят дополнительные элементы: взаимодействующие с другими деталями (отверстия, пазы, канавки для уплотнения, резьбы); повышающие технологичность детали (гантели, канавки для выхода режущего инструмента); сокращающие массу конструкции (окна, пазы, карманы). Основную форму дополнительные элементы расчленяют на элементарные поверхности. Каждая из них описывается определенными геометрическими параметрами и характеризуется определенными технологическими требованиями (точность, параметр шероховатости и т.д.).

Существует режущий инструмент (или несколько инструментов) для обработки наибольшего числа элементарных поверхностей, образующих основную форму детали (проходные токарные резцы, концевые и торцевые фрезы и т.д.). Такой инструмент называют основным, а обрабатываемую им поверхность — основной. Остальные поверхности образуют дополнительные технологические элементы, для обработки которых используется специальный инструмент (канавочные, резьбовые резцы, фасонные фрезы и специальные фрезы и т.д.). Формирование дополнительных элементов, как правило, осуществляется после обработки основной поверхности. Конструкторско-технологические решения, таким образом, устанавливают взаимосвязь между геометрическими границами зоны обработки, свойствами обрабатываемого материала, требованиями к точности и шероховатости элементарных поверхностей, применяемому инструменту и траектории его перемещения.

Если отсутствует однозначное соответствие между этими составляющими, конструкторско-технологическое решение может быть представлено как совокупность планов и схем обработки, а также алгоритма выбора одной из них. Это реализуется посредством САПР ТП. Для каждого конструкторско-технологического решения разрабатывают программно-математическое обеспечение — программный технологический модуль (ПТМ), посредством которого решается задача выбора плана обработки и формируется УП для станка с ЧПУ. Указанные ПТМ объединяются в библиотеку, которая используется при структурном синтезе операций. Принцип модульной технологии позволяет формализовать и сократить срок проектирования технологии для определенной совокупности деталей. В сочетании с методом групповой технологии этот принцип облегчает получение альтернативных вариантов технологического процесса при формировании сменно-суточного задания.

Для широкономенклатурных ГПС наиболее эффективна система сквозного конструкторско-технологического проектирования (САПР-КТП) технологических процессов.

Задачи на этапах 4—5 решаются в интерактивном режиме (см. рис. 5.42). После этого составляется промежуточный чертеж детали, из которого изъяты элементы, не обрабатываемые в ГПС. На этапах 6—9 формируются схемы установов для альтернативных вариантов технологических процессов. На этапах 11—16 выполняется детальная проработка каждой операции. При проектировании операций уточняются требования к размерам заготовок, которые должны точно ориентироваться в промежуточных накопителях, кассетах, в захвате ПР и позиционных приспособлениях. На заключительном этапе проектирования формируются документация и УП для основных, вспомогательных операций, а также операций автоматической переналадки, управляемых системами ЧПУ. При разработке УП для ГПМ используют специализированную САП, входящую в структуру САПР-КТП. Важное значение имеют карты наладок для операции, расчетно-технологические карты, эскизы установов, циклограммы работы оборудования ГПС. Маршрутные и операционные карты имеют в основном справочное значение для АСУП, а также для операций,

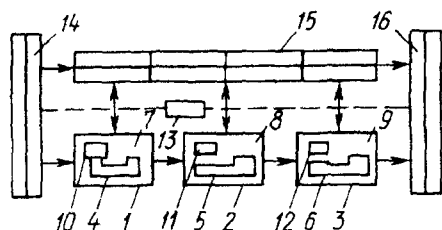


Рис. 5.44. Схема ГПС, построенной по принципу технологической специализации:

1—3 — ГПМ, 4—6 — взаимозаменяемое оборудование, 7—9 — накопители, 10—12 — роботы (манипуляторы), 13 — автоматизированная транспортная система, 14—16 — склады, стрелки — материальные потоки

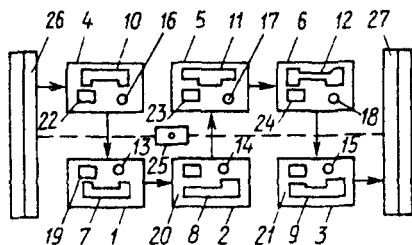


Рис. 5.45. Схема ГПС, построенной по принципу предметной специализации: 1-6 — ГПМ, 7-12 — оборудование, 13-18 — накопители, 19-24 — роботы (манипуляторы), 25-27 — АТНС, стрелки — материалы потоки

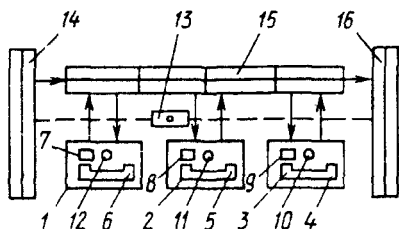


Рис. 5.46. Схема ГПС, построенной по принципу подетальной специализации: 1-3 — ГПМ, 4-6 — оборудование, 7-9 — роботы (манипуляторы), 10-12 — накопители, 13-16 — АТНС, стрелки — материалы потоки

которые выполняются вне ГПС. Окончательный вариант технологического процесса определяется при составлении сменно-суточного задания для ГПС.

ГПС строят по принципу специализации: технологической, предметной, подетальной. В основу функционирования ГПС, построенных по технологическому принципу (рис. 5.44), положен принцип "верни на место". Поэтому центральным элементом ГПС является автоматизированный межоперационный склад, через который изготовляемые детали транспортируются от одного технологического модуля к другому. Последние укрупняются группами взаимозаменяющего оборудования (многоцелевых станков). Преимущества такой схемы следующие: более полная загрузка оборудования благодаря концентрации всего объема обработки в технологическом модуле ГПС; возможность изменения номенклатуры деталей без перепланировки ГПС. Недостатки следующие: длинные и сложные технологические маршруты обработки заготовок; многократное их транспортирование между оборудованием и складом; необходимость заделов заготовок, инструмента и приспособлений для обеспечения бесперебойной работы ГПС на протяжении определенного времени (смена, сутки, недели и т.д.), для чего должны быть увеличены вместимость склада и объем незавершенного производства.

Предметная специализация ГПС (рис. 5.45) устраняет указанные недостатки, так как осуществляется обработка заготовок комплектов деталей для одного или нескольких однородных изделий. При этом технологические модули ГПС комплектуют из взаимодополняющего оборудования, располагающегося по маршруту изготовления комплектов деталей. В таких ГПС уменьшается объем транспортных и складских работ. Однако наличие взаимодополняющих единиц оборудова-

ния снижает способность ГПС к перестройке на выпуск изделий других наименований. Требуются значительные затраты на перепланировку оборудования. Подетальная специализация ГПС обладает преимуществами двух рассмотренных схем (рис. 5.46). Такие ГПС работают по групповой технологии, их модули располагаются согласно маршруту изготовления деталей и обладают универсальностью, аналогичной модулям ГПС, которая построена по технологическому принципу.

5.13. Последовательность проектирования ГПС механической обработки

Проектирование ГПС начинают с анализа заявки заказчика, которая должна содержать все необходимые исходные данные для выполнения работ. Должны быть сформулированы все задачи, для решения которых разрабатывается ГПС. Целесообразность проведения проектных работ определяется на основании предварительных технико-экономических расчетов, определяющих возможность повышения производительности, качества продукции и достижения экономической эффективности. Предусматриваются несколько этапов разработки ГПС (рис. 5.47). В техническом задании заказчик указывает

основное назначение ГПС, ее технические характеристики, основные стадии и этапы разработки конструкторской документации.

Техническое предложение на ГПС содержит технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации ГПС на основе сравнительного анализа возможных проектных вариантов. Эскизный проект ГПС является комплексом конструкторских документов, содержащим сведения о принципе ее работы, основных составляющих частях, параметрах, характеристиках, определяющих назначение ГПС.

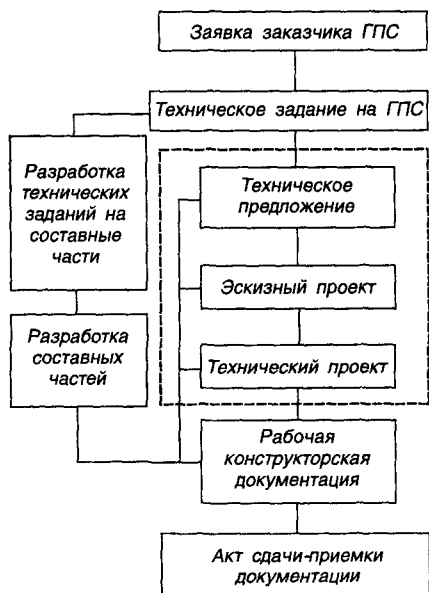


Рис. 5.47. Этапы разработки ГПС

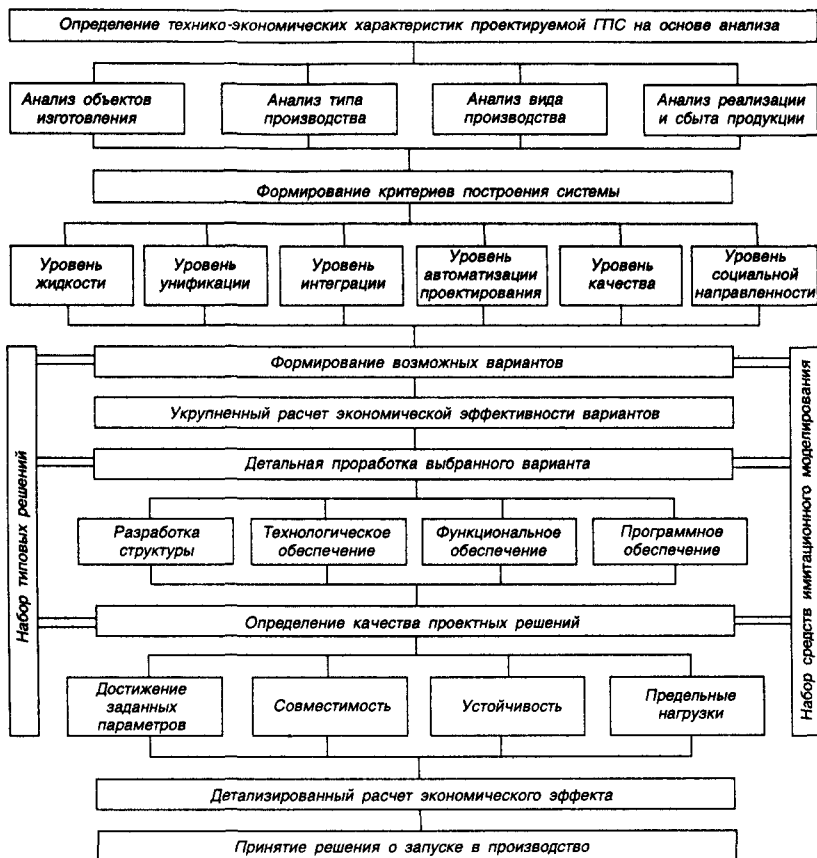


Рис. 5.48. Схема проектирования ГПС

Технический проект ГПС представляет собой комплект конструкторской документации, содержащий окончательные технические решения, которые дают полное представление об устройстве ГПС, и все исходные материалы для разработки рабочей документации.

Рабочий проект ГПС — комплект чертежно-технической документации, содержащий все необходимые сведения для подготовки производства и последующей эксплуатации ГПС.

На рис. 5.48 показана схема проектирования ГПС. Проектирование начинают с анализа объектов производства, его типа и вида. Исходя из критериев функционирования системы разрабатывают проектные варианты, из которых на основе расчета экономической

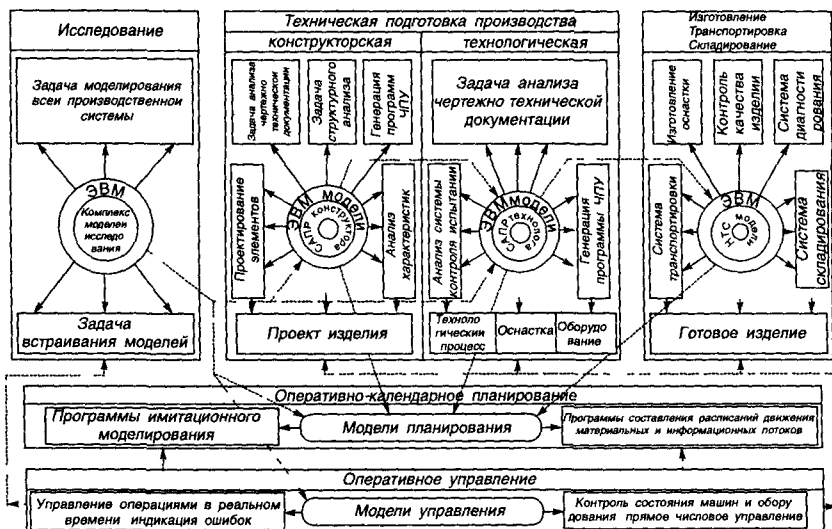


Рис. 5.49. Структурная схема общесистемного проектирования ГПС

эффективности выбирают наиболее рациональный для дальнейшей детальной разработки.

В настоящее время существуют два метода проектирования ГПС — общесистемный и пошаговый. Они базируются на различных принципах.

Общесистемный метод предусматривает разработку на ранней стадии полного комплекса характеристик и показателей гибкого производства, общесистемных исследований, включающих все организационные и социально-экономические расчеты. При проектировании широко используют имитационное моделирование. Этот метод (рис. 5.49) характеризуется высокой точностью и надежностью решения задач проектирования, обеспечивает непрерывность производственного процесса, высокую степень гибкости, требуемый выпуск и качество продукции. В его основе лежит декомпозиция системы. Вначале формируют модель, отражающую конечное состояние проектируемой системы. Основой модели служат программа и номенклатура выпускаемой продукции, а также свойства всей системы (гибкость, стабильность выпуска продукции). Эту модель оптимизируют по всей совокупности внешних и внутренних материальных и информационных потоков. После построения модели разрабатывают систему критериев, в качестве которых используют: уровень гибкости, качес-

тво выполнения проектных работ, обеспечение качества продукции, экономическую эффективность и т.д. Затем декомпозируют систему на компоненты. Условием разделения на подсистемы является указание для каждой части параметров совместимости.

Этот процесс осуществляют в техническом, организационном и социальном плане. Число параметров совместимости определяют имитационным моделированием, устанавливающим степень влияния данного параметра на общую совместимость компонентов системы. Результатом общесистемного проектирования является проект с разработанными подсистемами производства, управления, проектирования и контроля, организационной частью, технико-экономической эффективностью. Недостаток общесистемного метода проектирования ГПС — невозможность ее проектирования в условиях реконструкции действующего предприятия. В настоящее время строительство новых предприятий ограничено и особое внимание уделяется модернизации технического оснащения действующих предприятий. Внедрение общесистемного проектирования требует остановки предприятия на длительный срок.

Пошаговое проектирование ГПС представляет собой последовательное приближение к комплексной автоматизации. Шагом здесь является введение в эксплуатацию очередной подсистемы. Пошаговое проектирование может быть в трех вариантах: структурное, подсистемное, позадачное.

Структурное предусматривает создание единичных подразделений, например, ГПМ, ГАЛ с высшим (когда это нужно) уровнем автоматизации без связи между собой. Для каждой структурной единицы разрабатывают индивидуальные системы обеспечения, поддержки (САПР, автоматизированную систему обеспечения качества АСОК). При необходимом уровне интеграции отдельных структурных элементов разрабатывают средства связи между ними и функциональные подсистемы общего назначения. Подсистемный вариант пошагового проектирования предполагает разработку САПР, АСОК, АСУТП для создаваемой ГПС, которые частично используют в неавтоматизированном производстве. Автоматизированное основное оборудование внедряют параллельно. Обобщением первых двух методов является позадачная модернизация, которая обеспечивает системный подход к созданию ГПС и интеграцию повторяющихся однотипных работ. Она позволяет использовать многокритериальную систему оценок общесистемного метода, но в упрощенном виде.

На рис. 5.50 показаны шаги, отражающие задачи проектирования ГПС. Пошаговое проектирование позволяет внедрять результаты проектирования отдельно на каждом этапе. Задача каждого шага отражает законченную часть проекта ГПС. Реализация метода сопро-

ГПС							
Шаг 1	Формирование массивов информации исходных данных						
	отбор номенклатуры, анализ конструктивно-технологических признаков деталей, объемы производства, технологические процессы, режимы работы оборудования и т д						
Шаг 2	Основные характеристики производственной структуры						
	Определение оперативного времени	Определение групповой технологии	Номенклатура оборудования	Число групп оборудования	Число единиц оборудования	Структура гибкого производства	Коэффициент загрузки обо- рудования, площадей
Шаг 3	Основные характеристики производственных процессов						
	Рациональное проектирование распределения фонда времени работы оборудования		Рациональное проектирование режимов работы оборудования		Рациональное проектирование качества производственного процесса		
Шаг 4	Планирование организации и функционирования ГПС						
	Задачи пространственного построения производственного процесса рациональное решение вопросов специализации и концентрации, создание участков поддетальной и поддетально-групповой специализации, организация многономенклатурных АЛ, формирование подразделений ГПС				Оперативно-календарное планирование и управления разработка месячных поддетально пооперационных календарных планов-графиков, построение оперативных пятидневных календарных планов-графиков, составление оперативных сменно-суточных заданий и т д		
Шаг 5	Организация работы ГПС при наличии функциональных подсистем						
	АТСС	АСИО	САК	АСУО	АСУТП	АСНИ	САПР

Рис. 5.50. Структурная схема пошагового проектирования ГПС

вождается оптимизационными расчетами, вызванными необходимостью создания ГПС, что учитывается в задачах каждого шага. Критерии оптимизационных расчетов следующие: себестоимость, капитальные затраты, качество, эффективность.

Исходными данными 1-го шага являются характеристики изготавливаемого изделия $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, где $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ — массив информации об исходных данных. На основе этого массива в результате математических преобразований формируются характеристики производственной структуры ГПС. Шаг 2-й: $Y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$, где $\{y_1, y_2, y_3, \dots, y_n\}$ — множество показателей, характеризующих структуру. На 3-м шаге осуществляется системный анализ проектных вариантов, отражающих характеристики производственного процесса; 4-й шаг отражает решение вопросов организации и функционирования

ния ГПС; на 5-м шаге выполняется интегрирование и анализ результатов 4-го шага с целью сокращения избыточных вариантов.

Группирование деталей. Пусть задано множество деталей D . В этом случае любая деталь d_i из данного множества описывается некоторым множеством наборов признаков P_i , $i = [1, \bar{m}]$, где \bar{m} — число признаков. К числу таких признаков относят: обозначение чертежей; наименование деталей; геометрическую форму; марку материала, габаритные размеры; массу детали; вид заготовки, термообработки, покрытия; наивысший квалитет поверхности, параметр ее шероховатости; годовую программу выпуска; оперативное время. В результате группирования образуются для каждого технологического предела группы G деталей, характеризующихся общностью признаков P_i : $G \cup P_i (i \in [1, \bar{m}])$. Группой G называют совокупность деталей, характеризуемых общностью оборудования C при обработке, оснастки O , наладки H всего технологического процесса или его отдельных операций: $G = \langle C, O, H \rangle$. Создание унифицированных технологических процессов основывается на различных сходных признаках: по конструктивно-технологическому сходству (валы, втулки, шестерни и т.д.); по элементарным поверхностям, которым соответствуют элементарные технологические процессы; по преобладающим видам обработки, сходству технологического оснащения, общности наладки оборудования и т.д.

При группировании деталей по видам обработки различают три характерных случая.

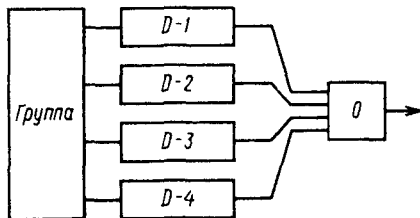
1. Групповую обработку (заготовительную, отделочную и т.д.) проходит одна группа (рис. 5.51). Заготовки с незаконченным циклом обработки обрабатываются на одной групповой операции, а на остальных операциях они входят в другие группы заготовок.

2. Детали D_i групп I и II имеют общий групповой многооперационный технологический процесс, выполняемый на разнотипном оборудовании. Заготовки всех деталей группы проходят последовательно обработку либо через операции группового процесса (рис. 5.52, а), либо через отдельные операции, необходимые для их обработки (рис. 5.52, б).

3. На одной или нескольких операциях обрабатываются заготовки деталей нескольких групп,

Рис. 5.51. Схема групповой обработки деталей одной группы:

$D-1, D-2, D-3, D-4$ — детали, O — общая операция



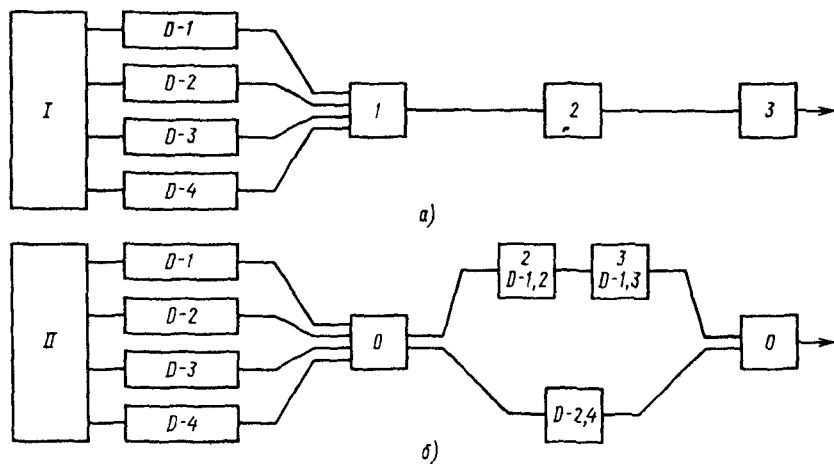


Рис. 5.52. Последовательная обработка деталей:

I, II — группы деталей; *D-1, D-2, D-3, D-4* — детали; *1, 2, 3* — номера операций; *O* — общая операция

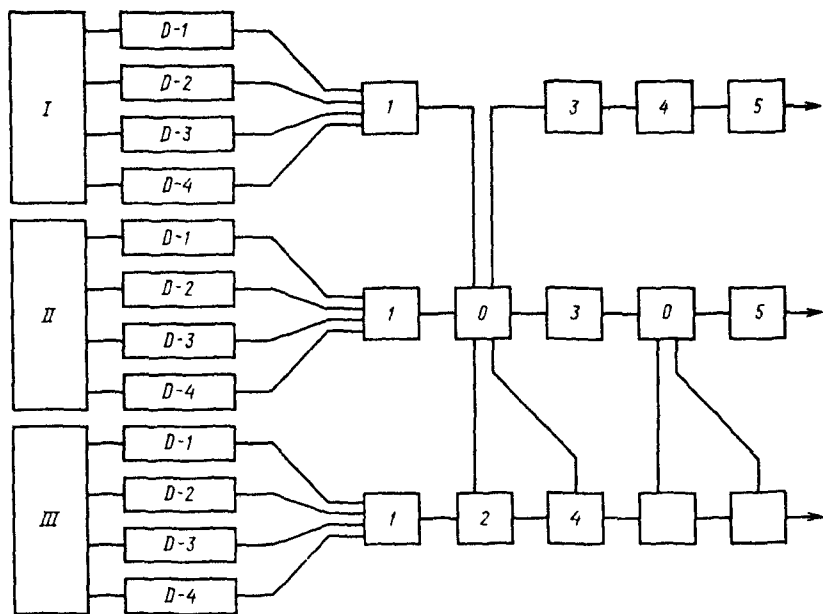


Рис. 5.53. Последовательно-параллельная обработка деталей:

I, II, III — группы детали, *D-1, D-2, D-3, D-4* — детали, *1, 2, ..., 5* — номера операций, *O* — общая операция

каждая из которых имеет маршрут обработки на разнотипном оборудовании (рис. 5.53).

Во втором и третьем случаях обработка выполняется на оборудовании, расположенном в порядке последовательности операций с применением на каждой операции групповых приспособлений и инструментальной оснастки.

При построении групповых технологических процессов за основу берут комплексную деталь. Групповой оснасткой является совокупность приспособлений и инструментов, обеспечивающая обработку всех заготовок деталей данной группы с несколькими переналадками. Технологический процесс, составленный для комплексной детали, может быть использован при изготовлении любой другой детали данной группы. На рис. 5.54 буквой А обозначена комплексная деталь, состоящая из ряда элементарных поверхностей (1—18), буквами Б, В, Г и т.д. — ряд деталей, образованных конкретными элементар-

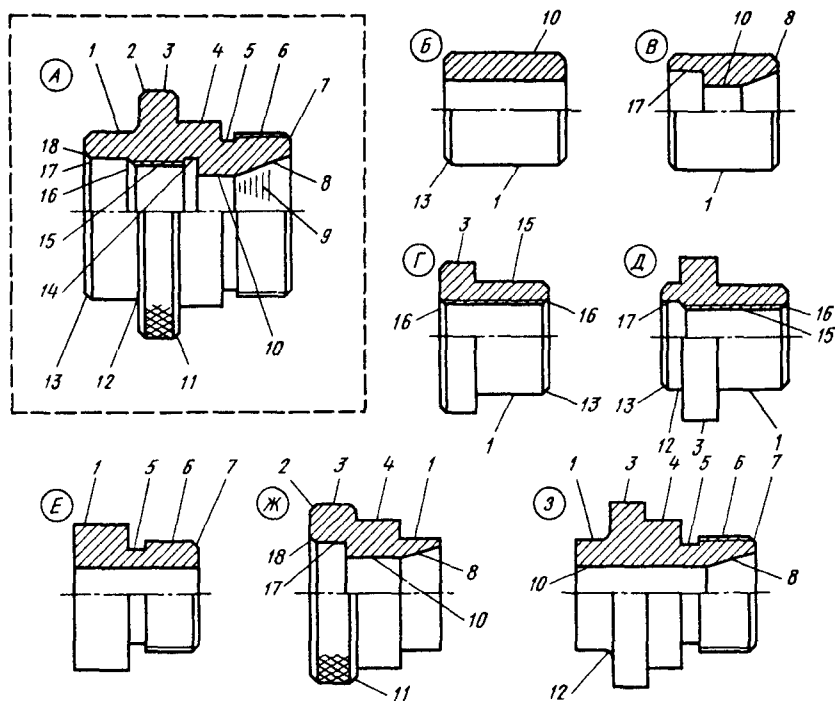


Рис. 5.54. Схема образования комплексной детали

ными поверхностями в различной их комбинации. Между элементарными поверхностями и деталями группы устанавливают соответствие с помощью матрицы $[L] = (l_{ij})$, где $l_{ij} = 1$, если i -я деталь содержит j -ю элементарную поверхность; в противном случае $l_{ij} = 0$.

Матрица имеет вид таблицы решений (табл. 5.2). Комплексной детали A ставится в соответствие строка матрицы $[L]$, состоящая из m -элементов, где m — число элементарных поверхностей, определяющих расчленение деталей на группы. В данном случае строка записывается в виде $a = (1, 1, \dots, 1)$ — 18 позиций. Если с единичными элементами строки связать логические функции, описывающие свойства поверхностей и отношения между ними, то получается математическая модель группы деталей, которую удобно применять при решении задач технологии на ЭВМ. При адресации новой детали 3 к группе необходимо проверить, все ли элементарные поверхности детали 3 имеются в комплексной. Для этого используется вектор-строка \underline{a} и вектор-строка \underline{t} , описывающая конкретную деталь, и логическая функция $r = (\underline{a} \oplus \underline{t}) \wedge \underline{t}$, где \oplus — операция подрядного сложения; \wedge — операция логического умножения. Правило логического сложения и умножения:

$$\left| \begin{array}{l} 0 + 0 = 0 \\ 0 + 1 = 1 \\ 1 + 0 = 1 \\ 1 + 1 = 1 \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{l} 0 \wedge 0 = 0 \\ 0 \wedge 1 = 0 \\ 1 \wedge 0 = 0 \\ 1 \wedge 1 = 1 \end{array} \right|$$

По значению функции r определяют, имеет ли деталь хотя бы одну поверхность, не включенную в комплексную деталь. Если $r = 0$, то такой поверхности нет. Если $r \neq 0$, то такие поверхности есть.

Пример. Определить, входит ли деталь D в группу?

Вектор-строка запишется $\underline{t} = \underline{d} = (1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1)$ Логическая сумма векторов $\underline{a} \oplus \underline{d}$

$$\begin{array}{l} \underline{a} = (1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1) \\ \oplus \\ \underline{d} = (1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0) \\ \hline \Sigma = 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1 \end{array}$$

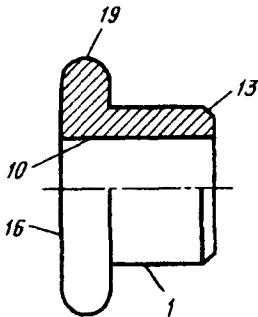
После операции логического умножения суммы Σ на вектор $\underline{t} = \underline{d}$, где $\underline{d} = 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0$, получают вектор $\underline{r} = (0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0)$

Например, берется новая деталь T (рис 5.55), имеющая торовую поверхность 19. Нужно проверить, можно ли включить ее в группу. Строка t для этой детали будет

5.2. Таблица решений матрицы соответствия

Деталь	№ поверхности																		Σ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
<i>Б</i>	1									1			1						3
<i>В</i>	1							1		1			1				1		5
<i>Г</i>	1	1	1										1		1	1			6
<i>Д</i>	1		1	1									1		1	1	1		7
<i>Е</i>	1					1	1	1			1								5
<i>Ж</i>	1	1	1	1					1		1	1					1	1	9
Комплексная деталь																			
<i>А</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Деталь, адресуемая к группе																			
<i>З</i>	1		1	1	1	1	1	1		1			1						9
<i>К</i>	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5

Рис. 5.55. Деталь для включения в группу



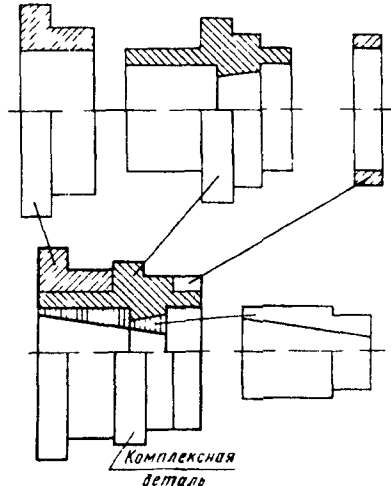
содержать $m + 1$ цифр, так как в ее состав включена дополнительная торговая поверхность, наличие которой определено единичей в последнем разряде Вектор $t = (1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1)$

Строка \underline{a} комплексной детали A увеличивается на 0 (нулевой разряд) Логическое выражение после подстановки туда значений \underline{a} и \underline{t} будет следующее

$$\begin{array}{r} \underline{a} = 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1 \\ \underline{t} = 1\ 0\ \dots\dots\dots 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ \dots\ 0\ 1 \\ \hline \Sigma = 0\ 1\ \dots\dots\dots 1\ 0\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \underline{\hat{t}} = 1\ 0\ \dots\dots\dots 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ \dots\ 0\ 1 \\ \hline \underline{r} = 0\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots 0\ 1 \end{array}$$

Деталь не может быть включена в группу, так как функция $\underline{r} \neq 0$ Если $\underline{r} = 0$, то деталь имеет элементарные поверхности, включенные в состав комплексной детали В этом случае деталь адресруется к группе

С элементами строки \underline{a} и матрицы [L] можно, во-первых, связать функции оценки времени обработки элементарной поверхности на конкретном оборудовании и, во-вторых, на основе анализа матрицы определить целесообразность включения той или иной элементарной поверхности в комплексную деталь и ее в данную группу Первая



задача решается на основе показателя Σ_1 , а вторая — с использованием показателя Σ_2 (см рис 5 54) Например, если рассматривать партию деталей вида k_1 , то включение элементарной поверхности 9 по вертикали 9 дает $\Sigma_1 = 1$ Тогда включение детали в данную группу нецелесообразно, так как такая поверхность встречается только у этой детали Предположим, что имеются большие временные потери при обработке детали B , партия которых велика, а $\Sigma_2 = 3$ наименьшая Тогда включать ее в данную группу нецелесообразно Конструирование комплексной детали можно выполнять методом наложения (рис 5 56) (заштрихованы детали, образующие комплексную деталь)

Рис. 5.56. Схема образования комплексной детали методом наложения

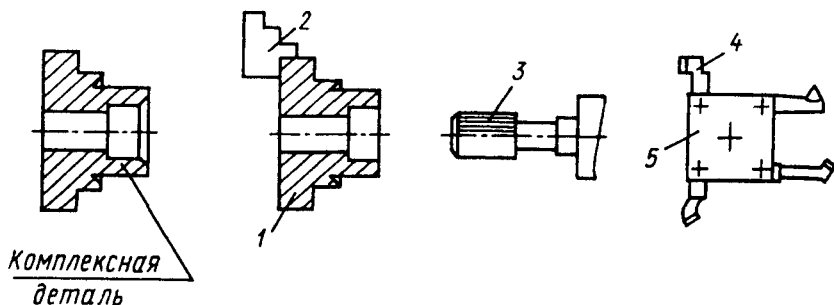


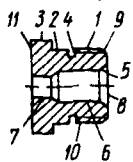
Рис. 5.57. Схема изготовления комплексной детали

На рис 5 57 показана комплексная деталь и схема ее изготовления. Заготовка 1 закреплена в трехкулачковом патроне 2, а режущий инструмент 4 — в четырехпозиционном резцедержателе 5. В заднюю бабку станка установлена качающаяся державка с разверткой 3.

Разработка групповых технологических процессов. Результаты группирования деталей являются основой для разработки группового операционного технологического процесса, который представляет собой совокупность групповых технологических операций, имеющих определенную последовательность и обеспечивающих обработку заготовок различных деталей группы (или нескольких групп) по общему технологическому маршруту. Для отдельных деталей групп возможен пропуск некоторых операций. Групповой операцией называют такую, которая является общей для группы различных деталей с определенной групповой оснасткой на данном оборудовании.

В табл. 5.3 показана последовательность построения групповой операции. Эта групповая операция представлена в виде матрицы (табл. 5.4) $[P] = (t_{ij})$, удобной для обработки на ЭВМ. Правило построения матрицы: $t_{ij} = 1$, если j -й переход операции выполняется; в противном случае $t_{ij} = 0$. С элементами матрицы $[P]$ можно связать функции, описывающие время выполнения перехода и время потерь t , если переход групповой операции для данной детали не выполняется. Первая функция связана с единичным, вторая — с нулевым элементом матрицы P .

5.3. Последовательность построения групповой операции



Деталь	Эскиз детали	Обточить поверхность 1	Обточить поверхность 2	Обточить поверхность 3	Обточить канавку 4
Б		x		x	
В		x	x	x	
Г		x	x	x	x
Д		x	x		
Е		x			x
Ж		x			




5.4. Матрица [P] переходов деталей одной группы

Обозначение детали	Обточить поверхность 1	Обточить поверхность 2	Обточить поверхность 3	Обточить поверхность 4	Центровать отверстие 5
Б	1	0	1	0	1
В	1	1	1	0	0
Г	1	1	1	1	0
Д	1	1	0	0	0
Е	1	0	0	1	0
Ж	1	0	0	0	1

Центро- вать от- верстие 5	Сверлить отверстие 6	Сверлить отверстие 7	Подрезать торец 8	Обточить фаску 9	Нарезать резьбу 10	Отрезать деталь 11
×		×	×			×
			×	×	×	×
			×	×	×	×
	×	×	×			×
			×			×
×	×	×	×			×

Сверлить отверстие 6	Сверлить отверстие 7	Подрезать торец 8	Обточить фаску 9	Нарезать резьбу 10	Отрезать деталь 11
0	1	1	0	0	1
0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1
1	1	1	0	0	1

**5.5. Построение группового технологического процесса
на основе комплексного маршрута**

Деталь	Операция							
	револьверная	токарная	фрезерная	фрезерная	сверлильная	сверлильная	резьбона-резная	складирова-ние
	+	+	+	-	-	+	+	+
	+	+		-	-	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	-	+

5.6. Матрица соответствия операций деталей группы

Деталь	Операция							
	револьверная	токарная	фрезерная	фрезерная	сверлильная	сверлильная	резьбона-резная	на склад
А	1	1	1	0	0	1	1	1
Б	1	1	0	0	0	1	1	1
В	1	1	1	1	1	1	0	1

Пример. Построение группового технологического процесса на основе комплексного маршрута для деталей *A, B, B* показано в табл. 5 5. Матрица этого процесса приведена в табл. 5 6. Последний параметр Σ_i служит для оценки времени выполнения операции при определении потребного количества оборудования на участке. Параметр Σ_j применяется при определении времени загрузки всего участка или линии

Группирование на базе деталей-представителей является основой для создания типовых и групповых технологических процессов.

Другой метод построения групповых технологических процессов основан на понятии детали-лидера. Технологию обработки можно представить в виде графа структурно-технологической схемы обработки на уровне операции (СТСО). Вершины графа — это операции обработки, а дуги — отношения предшествования технологических операций. Операции идентифицируются кодами основных технологических признаков группирования: видом выполняемой работы (оборудование) и схемы базирования заготовки на операции. Задача подбора номенклатуры сводится к задаче группирования графов (СТСО). Множество графов разбиваются на непересекающиеся базовые группы и дополнительные фонды деталей. Дополнительные фонды базовой группы образуют детали, которые могут входить в несколько базовых групп. Каждая базовая группа имеет деталь-лидер, остальные подграфы, входящие в эту группу, являются подграфами графа-лидера. Таким образом, для всех деталей формируется единый технологический маршрут.

На рис. 5.58, *a* приведен пример графов технологических процессов трех деталей *G1, G2, G3*. Считается, что граф *G3* является подграфом *G1* ($G1 \supset G3$), если множество вершин *G3* является подмножеством вершин *G1* и если при наличии пути в графе *G1* между вершинами *a* и *c* имеется путь между соответствующими вершинами в графе *G3*. Поэтому графы *G2, G3* являются подграфами *G1*, т.е. $G2 \subset G1$, $G3 \subset G1$. Такие детали определяют в группе, где лидером является граф *G1*. Формализацию группирования деталей осуществляют следующим образом. Детали вначале упорядочивают по степени убывания числа операций в технологических процессах. Затем, первую деталь назначают лидером первой группы и анализируют отношение графа *G2* второй детали к первой (*G1*). При этом возможны три случая: 1) если $G2 \subset G1$, то присоединяется вторая деталь к первой группе и осуществляется переход к следующей детали; 2) если $G2 \supset G1$, то вторая деталь присоединяется к первой и при этом становится лидером; 3) если $G1 \not\subset G2$; $G2 \not\subset G1$, то вторая деталь является лидером второй группы. Последующие детали проверяются на включение в подграф нескольких лидеров. Эта деталь включается в дополнительный фонд каждой базовой группы.

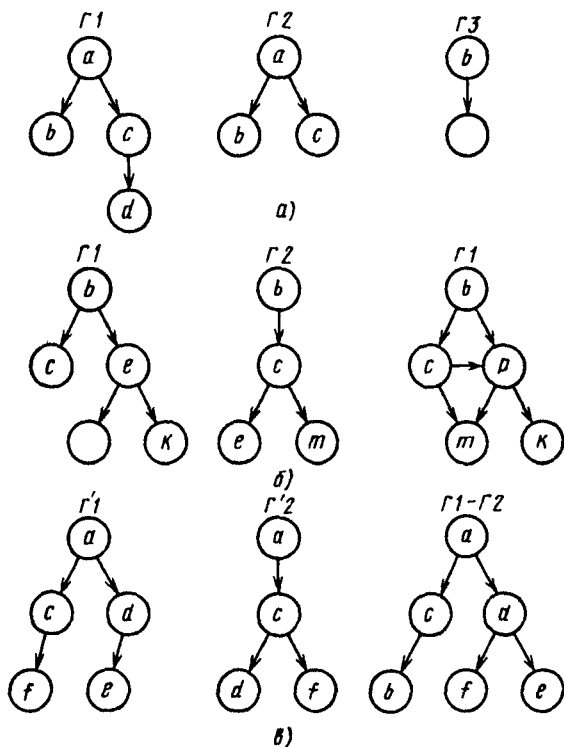


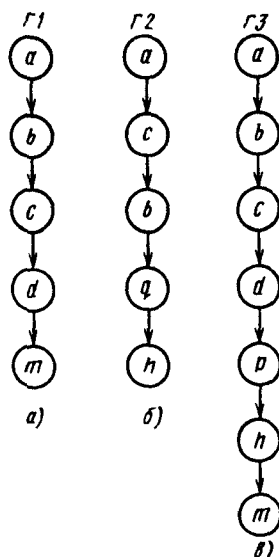
Рис. 5.58. Пример графов технологических процессов изготовления деталей

Примеры графов и два других случая их включения приведены на рис. 5.58, б и в, где показано объединение деталей с введением в граф-лидер дополнительных связей и объединение деталей с синтезом комплексного граф-лидера на основе введения дополнительных связей и вершин. В первом случае (рис. 5.58, б) имеются две группы графов $\Gamma 1 \not\supset \Gamma 2$, $\Gamma 2 \not\supset \Gamma 1$. При наложении дополнительных связей $c \rightarrow e$ и $c \rightarrow m$ в имеющийся граф $\Gamma 2$ получается граф $\Gamma 1'$ и деталь $\Gamma 1$ становится лидером объединенной группы с графом $\Gamma 1$. Во втором случае (рис. 5.58, в) показан граф-лидер ($\Gamma 1-\Gamma 2$) двух базовых групп. Эти группы различаются составом w_1 вершин, т.е. $w_1 \neq w_2$ и $w_2 \neq w_1$, поэтому они являются подграфами друг друга. При удалении вершины получают подграфы $\Gamma 1'$ и $\Gamma 2'$. В результате получается разбиение графов на базовые группы. Затем группы анализируют для

Рис. 5.59. Графы технологических процессов изготовления деталей

корректировки специализации участков и сокращения необходимого оборудования.

Предположим, имеются две детали A и B , технологические процессы изготовления которых можно соответственно представить в виде графов Γ_1 и Γ_2 (рис. 5.59, а, б). Узлами этих графов являются технологические операции, дуги характеризуют последовательность протекания технологического процесса. Унифицированный технологический процесс (УТП) Γ_3 , общий для двух деталей, определяется по формуле $\Gamma_3' = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$ (рис. 5.59, в). При этом возникает неопределенность в последовательности операций b и c . Эта неопределенность устраняется введением специальных условий отбора. Рассматривая граф Γ_3' , принадлежащий некоторой детали, можем объединить подобным образом эту деталь со следующей деталью Γ_3 , сформировать технологический процесс Γ_4' для трех деталей. Объединяя таким образом технологи-



ческие процессы, найдем УТП по формуле $\Gamma_n = \bigcup_{i=1}^n \Gamma_i$, отражающей УТП, учитывающей специфику цеха, завода и т.д.

5.14. Выбор вида, компоновки и числа автоматизированных станочных систем

В состав РТК (см. рис. 5.36) в первую очередь следует включать станки с ЧПУ и цикловым программным управлением и станки-полуавтоматы.

Компоновочные варианты РТК определяются решаемыми технологическими задачами, уровнем автоматизации, числом и типажом ПР, их техническими и функциональными характеристиками: индивидуальное (рис. 5.60, а—в) или групповое (рис. 5.60, г, д) обслуживание оборудования. Проектная производительность РТК

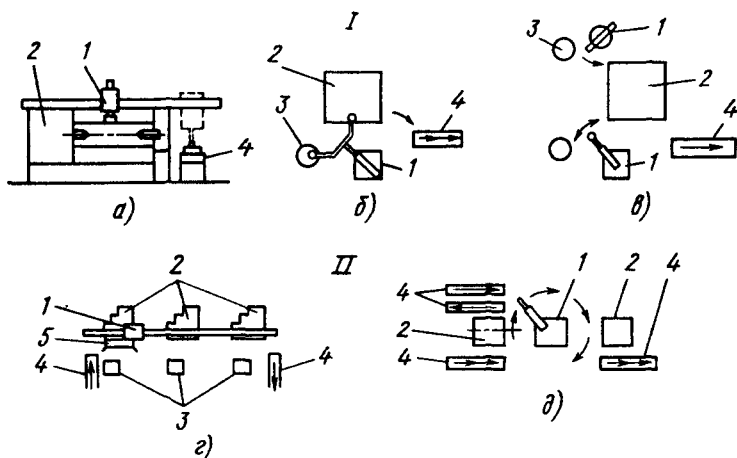


Рис. 5.60. Основные варианты компоновочных схем РТК:

I — индивидуальное обслуживание оборудования: *a* — ПР встроен в оборудование; *б* — ПР размещен рядом с оборудованием; *в* — несколько ПР размещены рядом с оборудованием; *II* — групповое обслуживание оборудования; *г* — линейное расположение оборудования; *д* — круговое расположение оборудования; 1 — ПР; 2 — основное технологическое оборудование; 3 — магазин с заготовками, деталями или инструментом; 4 — конвейер; 5 — вспомогательное устройство ПР

$$Q_{\Pi} = (n_{\Pi} / T_{\Pi}) \left(1 / \sum_{i=1}^m [(t_{\text{т.р}} + t_{\text{и}} + t_{\text{об}}) / (t_{\text{р}} + t_{\text{с}} - (t_{\text{т.р}} + t_{\text{и}} + t_{\text{об}}))] + t_{\text{пр}} / (t_{\text{р}} + t_{\text{с}} - t_{\text{пр}}) + t_{\text{в.о}} / (t_{\text{р}} + t_{\text{с}} - t_{\text{в.о}}) \right)$$

Здесь n_{Π} — число деталей, обрабатываемых за цикл; T_{Π} — время цикла; $i = 1, 2, \dots, m$ — количество основного оборудования в РТК; $t_{\text{т.р}}$ — время текущих ремонтов; $t_{\text{и}}$ — время смены и наладки инструмента; $t_{\text{об}}$ — время технического и организационного обслуживания оборудования; $t_{\text{р}}$ — время работы без перерывов в течение T_{Π} ; $t_{\text{с}} = t_{\text{о.о}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{в.о}}$ — время простоев, связанных со сменой и подналадкой инструмента, отказами устройств РТК; $t_{\text{о.о}}$ — потери времени из-за простоев основного оборудования; $t_{\text{пр}}$ — потери времени из-за простоев ПР; $t_{\text{в.о}}$ — потери времени из-за простоев вспомогательного оборудования.

Коэффициент технического использования РТК $k_T = t_p / (t_p + t_c) = 1 / (1 + k_c)$, где $k_c = t_c / t_p$ — коэффициент суммарных внецикловых потерь; $k_c = (t_{тп} + t_{и} + t_{об}) / [100 - (t_{тп} + t_{и} + t_{об})] + t_{пп} / (100 - t_{пп}) + t_{в0} / (100 - t_{в0}) = (1 - k_{т0}) / k_{т0} + (1 - k_{тпп}) k_{тпп} + (1 - k_{тв}) / k_{тв}$, где $k_{т0}$, $k_{тпп}$, $k_{тв}$ — коэффициенты соответственно технического использования основного оборудования ПР, вспомогательного оборудования.

Проектная производительность $Q_{п} = (k_{т} n_{ц}) / T_{ц}$.

Расчет количества основного технологического оборудования РТК выполняют исходя из суммарной станкоемкости (станко-ч) изготовления годовой программы выпуска деталей. Количество оборудования

K -й модели: $m_K = \left(\sum_{i=1}^n t_{ш\ kji} N_i \right) / (60 \Phi_3)$, где $\sum_{i=1}^n t_{ш\ kji}$ — суммарное

штучно-калькуляционное время определенного вида операций для j -й подгруппы деталей по i -му изделию (с учетом применяемости деталей на изделие); N_i — годовой объем выпуска i -го изделия; Φ_3 — эффективный годовой фонд производственного времени оборудования, г; $i = 1, 2, \dots, n$ — число наименований выпускаемых изделий, $t_{ш\ kij} =$

$= \left[\left(\sum_{q=1}^l t_{ш\ kq} k_1 \right) / k_{ПУ} + \left(\sum_{z=1}^s t_{ш\ kz} \right) / k_{ЧПУ} \right] k_2$, где $t_{ш\ kq}$ — штучно-калькуля-

ционное время q -й операции механической обработки для j -й подгруппы деталей i -го изделия, выполняемой на универсальном оборудовании и подлежащей переводу на k -ю модель станка с ПУ (полуавтомат), на базе которого создается РТК; $t_{ш\ kz}$ — штучно-калькуляционное время z -й операции для j -й подгруппы деталей i -го изделия, выполняемой на станке с ПУ k -й модели; k_1 — коэффициент снижения станкоемкости, обусловленного переводом операций с универсального оборудования на оборудование с ЧПУ ($k_1 = 0,5 \dots 95$ в зависимости от типа деталей и операций); k_2 — коэффициент снижения станкоемкости вследствие обслуживания станков ПР; $k_{ПУ}$, $k_{ЧПУ}$ — коэффициенты, учитывающие процент выполнения действующих норм выработки на предприятии соответственно для оборудования универсального и с ЧПУ. Указанные коэффициенты могут быть выбраны из справочника.

Многостаночные РТК организуют при минимальном штучном времени обработки заготовок, в РТК $t_{ш} \geq 3$ мин. Для каждой модели обслуживаемых станков число ПР $m_{ПР} = m_c / k_{М0}$, где m_c — принятое число станков, подлежащих переводу на обслуживание ПР; $k_{М0}$ — коэффициент многостаночного обслуживания (число станков, обслуживаемых одним ПР).

Минимальное число станков, обслуживаемых одним ПР, рекомендуется принимать не более четырех.

РТЛ с гибкой межпозиционной связью имеют на входе и выходе склады накопителя, а РТЛ с жесткой межпозиционной связью их не имеют и все входящие в линию РТК должны функционировать синхронно в одном режиме, так как отказ любого элемента ведет к останову РТЛ. Коэффициент технологического использования РТЛ: $k_{\text{РТЛ}} = 1/(1 + k_{\text{с}}m) = 1/(1 - k_{\text{РТЛ}})$, где m — число РТК в РТЛ; $k_{\text{РТЛ}}$ — коэффициент внецикловых потерь РТЛ, представляет собой сумму потерь времени всех его элементов.

Повышения $k_{\text{РТЛ}}$ можно достичь за счет создания промежуточных межсекционных накопителей. Степень компенсации потерь может быть учтена коэффициентом межсекционного положения потерь $k_{\text{м}}$, показывающим, какая часть простоев одного РТК переходит в простой другого РТК. В зависимости от вместимости накопителей $k_{\text{м}} = 1/[1 + (T_{\text{ц}}/mt_{\text{ср}})q_{\text{max}}]$, где $t_{\text{ц}}$ — цикл работы РТЛ; $t_{\text{ср}}$ — среднее время единичного простоя (определяют на основе статистических данных); q_{max} — максимальная вместимость накопителей.

Тогда с учетом частичной компенсации простоев $k_{\text{РТЛ}} = 1/\{1 + (k_{\text{РТЛ}}/m)\{m - j(m - 1)(1 - k_{\text{м}})\}\}$, где $j = 0,7...0,8$ — доля не совпадающих по времени компенсирующих простоев РТЛ.

При равном числе РТК, входящих в РТЛ, производительность РТЛ:

с жесткой межоперационной связью

$$Q_{\text{ж.с}} = (m/T_{\text{ц}}) \left[1 / \left(1 + \sum_{i=1}^m k_{\text{Ti}} \right) \right],$$

с гибкой межоперационной связью

$$Q_{\text{г.с}} = (m/T_{\text{ц}}) \left\{ 1 / \left[1 + \sum_{i=1}^m (k_{\text{Ti}}/m) \right] \right\},$$

где k_{Ti} — собственные внецикловые потери i -го РТК.

$Q_{\text{ж.с}}$ соответствует минимальной, а $Q_{\text{г.с}}$ — максимальной производительности РТЛ.

Комплексный показатель надежности $k_n = t_o/t_{отк} + t_{вос}$, где $t_{отк}$ — время наработки ПР на отказ; $t_{вос}$ — среднее время восстановления работоспособности ПР.

При эксплуатации РТК необходимо обеспечить ритмичность производственного процесса и синхронность операций. Для РТК устанавливают усредненный ритм r_{cp} и путем подбора и группирования операций обеспечивают равенство или кратность между r_{cp} и продолжительностью операций: $r_{cp} = t_{ши}/m_c$. Синхронизация обеспечивает минимум простоя основного оборудования РТК, увеличение его производительности.

В ГПС для многономенклатурного мелкосерийного производства ГПМ оснащают широким набором дополнительных устройств, увеличивающих их гибкость. ГПМ, работающие в режиме безлюдной технологии, должны отвечать ряду специальных требований, которые можно разделить на основные и дополнительные. Например, токарным ГПС предъявляют следующие основные требования: управление от ЭВМ, наличие магазина инструментов, конвейера для сбора стружки, автоматический зажим и разжим заготовок в патроне станка. К дополнительным требованиям относятся возможность автоматической переналадки патрона по программе, регулировки по программе силы зажима заготовки определяемого жесткостью заготовки и силами резания, автоматической корректировки УП при изнашивании режущего инструмента и т.д. Аналогичным требованиям должны отвечать и ГПМ на базе многоцелевых сверлильно-фрезерно-расточных станков. Кроме этого, такие ГПМ должны отвечать специфическим требованиям: наличие магазинов приспособлений-спутников, многошпиндельных головок, возможность замены комплектов инструментов или целиком инструментальных магазинов; замена тары для стружки и емкостей для СОЖ при переходе на обработку различных материалов; очистка от стружки опорных поверхностей спутников и позиционных приспособлений; корректировка положения заготовки в спутнике и т.д. Обязательным требованием к ГПМ является возможность его встраивания в ГПС. Поэтому он должен иметь стандартные сопрягающие устройства для стыковки с АТСС, с центральной ЭВМ, а также отдельными системами ЧПУ станков, ПР и транспортных устройств. ГПМ создают на основе модульного принципа.

На рис. 5.61 представлена компоновка ГПМ "Модуль 500" созданного на базе многоцелевого станка ИР-500МФ4, оснащенного дополнительным накопителем 5 приспособлений-спутников. Устройство 6 смены спутников представляет собой двухпозиционный поворотный стол, связывающий станок с накопителем. На спутник можно уста-

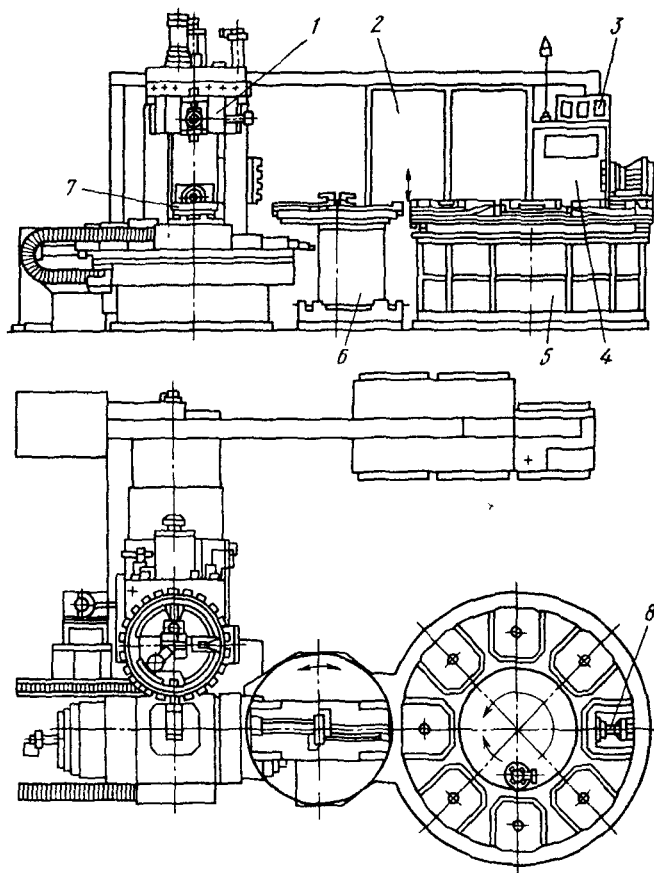


Рис. 5.61. Компоновка ГПМ "Модуль-500" на базе многоцелевого станка ИР-500 МФ4:

1 — станок, 2 — шкаф электрооборудования, 3 — система управления измерением параметров обработки; 4 — устройство ЧПУ; 5 — накопитель спутников; 6 — устройство смены спутников; 7 — спутник, 8 — кассета с инструментом

навливать как заготовку, так и кассету с инструментом. Кассета в нужный момент подается на стол станка, а затем манипулятор заменяет инструмент.

На рис. 5.62 показан гибкий сверлильно-фрезерно-расточной модуль МА2765МЗФ4 с ЧПУ, служащий для многооперационной обработки заготовок корпусных деталей из черновых и цветных металлов. ГПМ может работать как индивидуально, так и в составе

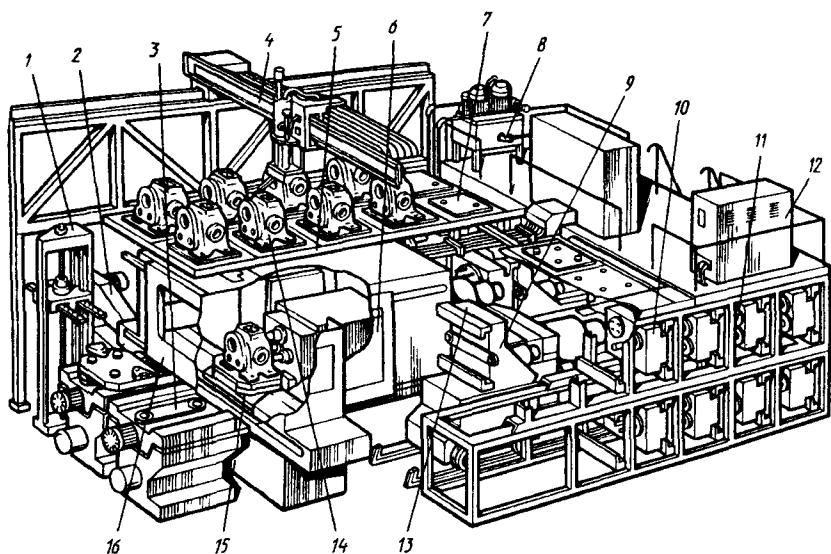


Рис. 5.62. Переналаживаемый ГПМ с магазином многошпиндельных коробок

ГПС. Он состоит из многоцелевого станка 6, систем автоматической смены многошпиндельных коробок, несущих режущий инструмент, и обрабатываемых заготовок, системы управления 12. Станок состоит из привода главного движения 13, поперечного подвижного поворотного стола 15, ограждения 16 устройства для удаления стружки 2, гидрооборудования 8. Система автоматической смены заготовок включает двухпозиционную станцию загрузки и зажима 3 заготовок, подъемник-укладчик 1, подающий посредством манипулятора 4 заготовки 14 со склада 5 на станцию загрузки. На складе кроме заготовок хранятся столы-спутники 7 с приспособлениями для установки и закрепления заготовок. При переналаживании модуля заменяют зажимные приспособления, СШК 10 с инструментами 11, УП обработки партии заготовок новых деталей. УП вводятся в ЧПУ либо с пульта управления ГПМ, либо путем замены программносителя. Доставка СШК на модуль осуществляется транспортным устройством 9.

На типовых компоновочных схемах указывают как жестко заданный маршрут перемещения обрабатываемых заготовок (в ГАЛ), так и гибкие маршруты (в ГАУ). Маршрут перемещения заготовок в ГПС выбирают после выполнения операций в зависимости от того, возвращается ли она на склад в процессе обработки или нет. Это обусловли-

вает косвенную (через склад) или прямую связь оборудования между собой. В первом случае заготовки транспортируются непосредственно со склада к оборудованию. После обработки на одном станке заготовка перемещается к другому, минуя склад.

Этот принцип обработки используют в условиях крупносерийного производства при длительном цикле обработки, значительной массе заготовки. Косвенная связь означает, что транспортирование заготовки осуществляется от одного станка через склад к другому. Он используется при малой длительности цикла обработки. При косвенной связи оборудования обеспечивается более полная его загрузка, заготовки новой партии деталей транспортируются к станку только по окончании обработки предыдущей партии, что не требует увеличения вместимости накопителей ГПС, весь производственный процесс упрощается и контролируется с центрального пункта управления и поэтому подается только нужное число заготовок.

В зависимости от схемы расположения оборудования в ГПС транспортирование заготовок и других компонентов материального потока организуется по жесткому (рис. 5.63, а, б, г) или по гибкому маршруту. При комбинированном потоке на отдельных участках ГПС маршрут может не изменяться, а на других может быть изменен. В этом случае транспортную систему планируют так, чтобы заготовки могли подаваться к оборудованию в различной последовательности, пропус-

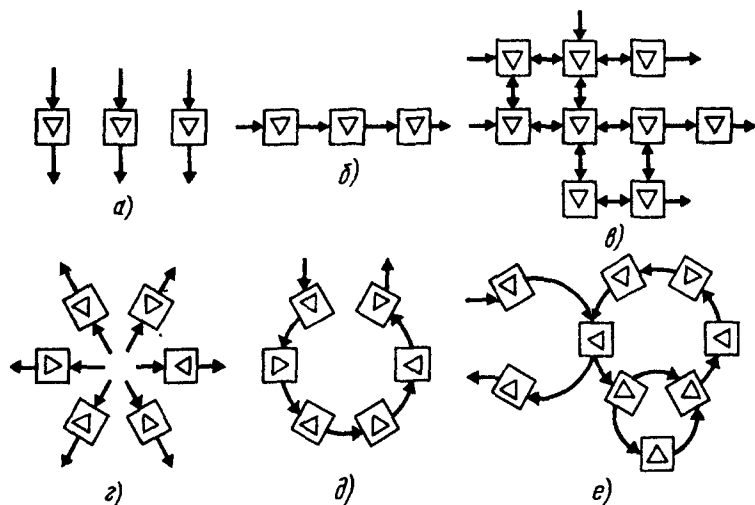


Рис. 5.63. Типовые компоновочные схемы расположения оборудования в ГПС: а — параллельная; б — линейная однорядная; в — линейная многорядная; г, д — круговая; е — роторная; а, б, в — разомкнутое положение оборудования; г, д, е — замкнутое положение оборудования

5.7. Варианты перемещения материального потока в зависимости от расположения оборудования

Схема расположения оборудования	Положение оборудования к линии транспортного конвейера	Подача заготовок		
		жесткая без пропусков	жесткая с пропусками	любая
Линейная: однорядная	На линии	+	—	—
	В стороне	+	+	—
многорядная	На линии	—	—	—
	В стороне	+	+	+
Круговая, роторная Однорядная	На линии	+	—	—
	В стороне	+	+	+
Круговая, роторная Многорядная	На линии	—	—	—
	Многорядная	+	+	+

Примечание. Знак "+" означает наличие, знак "—" — отсутствие.

какую-либо единицу оборудования ГПС (табл. 5.7). На основе использования различных компоновочных решений разработаны типовые схемы размещения оборудования в ГПС различного технологического назначения для мелко-, средне- и крупносерийного производства.

На рис. 5.64 показана схема типового ГАУ "Талка-500", предназначенного для изготовления корпусных деталей ($L \times B \times H$ до $500 \times 500 \times 500$ мм) в условиях мелкосерийного производства. Он включает четыре ГПМ 5 (см. рис. 5.62), автоматизированную транспо-

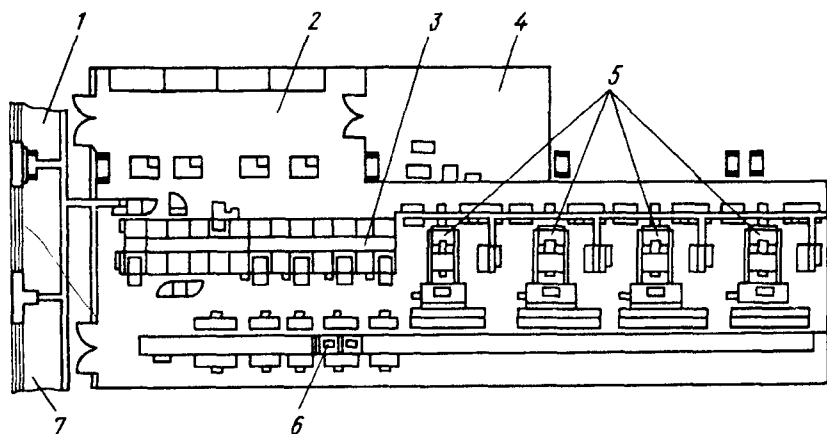


Рис. 5.64. Схема типового ГАУ "Талка-500"

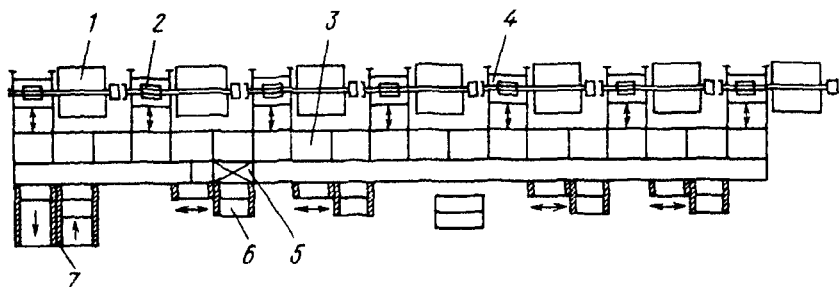


Рис. 5.65. Структурно-компоновочная схема ГПС АСВ-31 для изготовления деталей типа тел вращения:

1 — станок П756ДФ3, 2 — ПР СМ80Ц2502, 3 — АТСС, 4 — подвижные тактовые столы для кассет с заготовками, 5 — кран-штабелер СЧ22504, 6 — станция обслуживания, 7 — устройства входа-выхода АТСС

ртную систему 6, склад 3, отделения для подготовки спутников 2 и инструментальных комплектов 4, автоматизированный комплекс 1 на базе малой ЭВМ для подготовки УП, УВК 7 на базе типового комплекса ЭВМ СМ2 с необходимыми периферийными устройствами, служащий для организации и управления технологическими процессами обработки, выдачи информации о текущем состоянии процессов и оборудования ГАУ.

Компоновка типового ГАУ для изготовления деталей типа тел вращения показана на рис. 5.65. ГАУ для обработки валов и фланцев (50—60 тыс. шт/год при двухсменной работе) эксплуатируют в среднесерийном производстве. В состав ГАУ входят токарные полуавтоматы с ЧПУ и многоцелевые станки сверлильно-фрезерно-расточной группы. ГАУ построен по технологическому принципу из станков одинакового технологического назначения и модели. ГАУ, состоящий из семи секций, управляется УВК.

Годовая программа выпуска деталей в ГПС (станко-ч) $N_r = \sum_{i=1}^n (T_{cp} + T_{пз ср}) N_i K_j l_{cp}$, где n — число наименований выпускаемых изделий, шт.; T_{cp} — выработанная средняя станкоемкость технологической операции, включающая среднее цикловое время обработки и время загрузки-выгрузки заготовки, станко-ч; $T_{пз ср}$ — удельное среднее подготовительно-заключительное время, станко-ч; N_i — годовая программа выпуска i -го изделия, шт.; $i = 1, 2, \dots$; K_j — число j -х деталей, входящих в состав комплекта по i -му изделию (с учетом применяемости на изделие); l_{cp} — среднее число операций полной размерной обработки j -х деталей.

Производительность ГПМ определяется числом технологических операций, выполняемых за единицу времени.

Цикловая производительность $Q_{ц} = T_{п}/(T_{ср}m_c)$, где $T_{п}$ — время, в течение которого определяется производительность ГПС, ч; m_c — число единиц оборудования.

Потенциальная производительность $Q = T_{п}/[(T_{ср} + t_{об})m_c]$, где $t_{об}/q$ — удельные затраты времени на плановое и внеплановое обслуживание механизмов и режущего инструмента, ч; $T_{об}$ — время, затраченное на обслуживание за период $T_{п}$; q — число технологических операций на одном станке за период $T_{п}$, ч.

Эффективная производительность $Q_э = T_{п}/[(T_{ср} + t_{об} + t_{орг})/m_c]$, где $t_{орг} = T_{орг}/q$ — удельные затраты времени вследствие простоев оборудования, связанных с организационными причинами; $T_{орг}$ — время простоев за период $T_{п}$, ч.

Организационно-технический уровень ГПС определяется коэффициентом K_y , характеризующим степень достижения цикловой производительности $k_y = Q_э/Q_{ц} = T_{ср}/(T_{ср} + t_{об} + t_{орг})$.

Разделив числитель и знаменатель на $T_{ср}$, получим $k_y = 1/(1 + Y_{об} + Y_{орг})$, где $Y_{об}$ — удельная, т.е. отнесенная к одному часу работы ГПС, длительность технического обслуживания; $Y_{орг}$ — удельные потери времени по организационным причинам.

Величина $1 - k_y$ характеризует долю времени, в течение которого ГПС простаивает вследствие плановых, внеплановых и организационных причин. Коэффициент k_y характеризует степень соответствия системы обеспечения функционирования (СОФ) ГПС и ее технологического оборудования.

Состав СОФ ГПС должен быть ориентирован на повышение ее эффективности, но ограничивается экономической целесообразностью использования применительно к условиям конкретного производства, т.е. $\Phi_э m_c \Delta k_y C_1 \geq C_2 + k_n K$, где $\Phi_э$ — эффективный годовой фонд работы технологического оборудования, ч; Δk_y — приращение коэффициента в результате использования СОФ ГПС; C_1 — стоимость простоев единицы технологического оборудования, руб.; C_2 — себестоимость СОФ, руб.; k_n — нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений; K — капитальные вложения на создание СОФ, руб.

Число единиц основного оборудования ГПС определяют дифференцировано по моделям. Оборудование должно быть взаимозаменяемым, что повышает работоспособность ГПС. Число единиц оборудования, входящего в ГПС, $m_c = N_r/\Phi_э$.

Партия запускаемых заготовок $n_j = \sqrt{2N_j' Z_{\text{п}} Z_{\text{x}}}$, где n_j — число заготовок в партии запуска деталей j -го наименования, шт.; N_j' — годовой выпуск деталей j -го наименования; $Z_{\text{п}}$ — постоянные затраты на подготовку оборудования, руб.; Z_{x} — затраты на хранение одной детали, руб.

Вместимость склада-накопителя ГПС определяют суммированием партий заготовок, ожидающих первоначальной обработки, и партии заготовок, находящейся на промежуточном хранении перед последующей обработкой: $N_{\text{я}} = \{(n_j q_1 k_2) [t_{\text{о.ср}} + t'_{\text{о.ср}} (l_{\text{ср}} - 1)] k_{\text{г}}\} k_{\text{с}} \Phi_{\text{н}}$, где $N_{\text{я}}$ — число ячеек склада накопителя; n_j — число заготовок в партии; q_1 — вместимость транспортной тары (среднее число заготовок j -го типа, укладываемых в тару); k_2 — число партий заготовок, одновременно находящихся на обработке в ГПС; $t_{\text{о.ср}}$ — среднее время ожидания партии заготовок перед первоначальной обработкой, смены; $t'_{\text{о.ср}}$ — то же, перед последующей обработкой, смены; $k_{\text{г}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность грузооборота ($k_{\text{г}} = 1,25$); $k_{\text{с}}$ — число рабочих смен в сутки; $\Phi_{\text{н}}$ — номинальный фонд времени в году, дни.

Количество транспортных средств ГПС определяют исходя из того, что условия работы АТСС соответствуют условиям работы систем массового обслуживания (СМО) с пуансоновским законом распределения времени заявок на обслуживание оборудования. Заявка возникает по окончании обработки на станке заготовки или заготовок, размещенных в транспортной таре или позиционном накопителе.

Интенсивность потока заявок на транспортное оборудование $\lambda = \{T_{\text{п}} / [2T_{\text{ср}} (m_{\text{с}} - m_{\text{п}})]\} + 2m_{\text{п}}$, где $T_{\text{п}}$ — расчетный период времени, ч; $T_{\text{ср}}$ — выборочная средняя станкоемкость технологической операции, ч (в случае группового транспортирования деталей $T_{\text{ср}} = \sum T_{\text{ср}} k_{1j}$); $m_{\text{п}}$ — число станков, подлежащих переналадке за период $T_{\text{п}}$.

Первое слагаемое в формуле учитывает время подачи заготовок (тары с заготовками при групповом способе транспортирования); второе — подачи к станкам оснастки, когда при переналадке оборудования она выполняется АТСС.

Длительность обслуживания заявки определяется типом транспортного средства, его скоростными характеристиками и длиной трассы. Для транспорта циклического действия (транспортные манипуляторы, краны штабелеры) длительность обслуживания (мин) при двухадрес-

ном режиме $T_d = 2(t_p + t_T + t_d + t_{в.п})$, где t_p, t_T — время соответственно разгона и торможения транспортного средства, мин; t_d — время его движения на маршевой скорости, мин; $t_{в.п}$ — время выполнения цикла взять — поставить, мин.

Для определения T_d обычно используют среднюю длину пути движения транспортного средства на маршевой скорости, составляющую 0,3—0,5 длины трассы.

Интенсивность обслуживания $\mu = 1/T_d$. Основное условие функционирования АТСС следующее: $\alpha < m_{т.с}$, где $\alpha = \lambda/\mu$ — коэффициент; $m_{т.с}$ — число транспортных средств. Длина очереди (шт.) $L_1 =$

$$= \sum_{k=m_{т.с}}^{m_c} (z - m_{т.с}) P_k, \text{ где } z \text{ — число заявок на обслуживание, шт.};$$

P_k — вероятность того, что в системе на обслуживание и в очереди находится K -требований; $P_k = (m_c! \alpha^k P_0) / [K!(m_c - K)]$ при $1 \leq K \leq m_c$; $P_k = (m_c! \alpha^k P_0) / [m_{т.с}^{k-m_{т.с}} m_{т.с}!(m_c - k)!]$ при $m_{т.с} \leq K \leq m_c$.

Величину P_0 определяют из условия $\sum_{k=1}^{m_c} P_k = 1$ при $k = 1, 2, 3, \dots, m_c$.

Среднее число обрабатываемых требований $L_{ср} = \sum_{k=m_{т.с}}^{m_c} z P_k$. Коэф-

фициент использования оборудования $k_{и.о} = 1 - (L_{ср}/m_c)$. Коэффициент простоя оборудования в ожидании обслуживания $k_{п.о} = L/m_c$. Коэффициент $k_{и.о}$ является интегральной характеристикой замкнутой системы, определяющей интенсивность эксплуатации обслуживаемого технологического оборудования. Практически он определяет вероятность того, что данный станок будет находится в эксплуатации в любой момент времени. Эта характеристика справедлива при отсутствии буферного накопителя. При наличии последнего для исключения простоев оборудования нужно, чтобы $L \leq T'_{ср}$, где $T'_{ср}$ — среднее время изготовления детали или транспортного комплекта, мин.

При использовании транспортных средств непрерывного действия (различного вида конвейеров) АТСС рассматривается как система массового обслуживания с неограниченным количеством обслуживающих приборов, т.е. $m_{т.с} = \infty$. При любой интенсивности входящий поток заявок начинает сразу обслуживаться так как в системе имеются незанятые приборы.

Контрольные вопросы

- 1 Какие параметры определяют условия применения автоматической сборки?
- 2 В какой последовательности выполняют проектирование технологического процесса автоматической сборки?
- 3 В какой последовательности проектируют автоматическое сборочное оборудование?
- 4 Как определяют надежность работы автоматического сборочного оборудования?
- 5 Как выполняют группирование изделий для их автоматической сборки и обработки?
- 6 В какой последовательности осуществляют проектирование автоматизированных и автоматических процессов изготовления деталей?
- 7 Назовите основные этапы проектирования ГПС механической обработки
- 8 Как выбирают вид, компоновку и число автоматизированных станочных систем?

Список литературы

- 1 Александрова А.Т., Ермаков Е.С. Гибкие производственные системы электронной техники М Высшая школа, 1989 319 с
- 2 Бабушкин А.З., Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Технология изготовления металлообрабатывающих станков и автоматических линий М Машиностроение, 1982 270 с
- 3 Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г. Метод автоматизированного проектирования ГПС механической обработки деталей М МГЦНТИ Вып № 90-440, 1990 5 с
- 4 Васильев В.Н., Садовская Т.Г. Организационно-экономические основы гибкого производства М Высшая школа, 1988 271 с
- 5 Гибкое автоматическое производство / В О Азбель, В А Егоров, А Ю Звоницкий и др М Машиностроение, 1985 454 с
- 6 Гибкие производственные системы сборки / П Н Алексеев, А Г Герасимов, Э П Давыденко и др М Машиностроение, 1989 348 с
- 7 Давыгора В.Н. ГПС для сборочных работ М Высшая школа, 1989 109 с
- 8 Дашенко А.И., Белоусов А.П. Проектирование автоматических линий М Высшая школа, 1983 327 с
- 9 Коновал Д.Г., Косов М.Г., Схиртладзе А.Г. Задачи проектирования гибких производственных систем механической обработки М МГЦНТИ Вып № 240, 1992 6 с
- 10 Коновал Д.Г., Митрофанов В.Г., Схиртладзе А.Г. Гибкая производственная система токарной обработки М МГЦНТИ Вып № 491, 1992 6 с
- 11 Коновал Д.Г., Митрофанов В.Г., Схиртладзе А.Г. Иерархическая экспертная система проектирования автоматизированных станочных систем М МГЦНТИ, 1992 Вып № 492 6 с
- 12 Куранов А.Р., Султан-заде Н.М., Схиртладзе А.Г. Имитационное моделирование потоков заказов и отказов в ГПС М МГЦНТИ, 1988 Вып № 357 4 с
- 13 Лебедевский М.С., Вейц В.Л., Федотов А.И. Научные основы автоматической сборки М Машиностроение, 1985 315 с
- 14 Новоков В.Ю., Схиртладзе А.Г. Технология станкостроения М Машиностроение, 1990 256 с
- 15 Сборка и монтаж изделий машиностроения Справочник / П П Алексеенко, М Л Гельфанд, Б Г Гольштейн и др М Машиностроение, 1983 480 с
- 16 Соломенцев Ю.М., Сосонкин В.Л. Управление гибкими производственными системами М Машиностроение, 1988 352 с
- 17 Султан-заде Н.М. Надежность и производительность автоматических станочных систем М ВЗМИ, 1982 79 с
- 18 Султан-заде Н.М., Схиртладзе А.Г. Определение производительности роботизированных участков М МГЦНТИ, 1992 Вып № 484 4 с

19 Султан-заде Н.М., Схиртладзе А.Г. Определение производительности и надежности роботизированных участков М МГЦНТИ, 1992 Вып № 331 6 с

20 Схиртладзе А.Г. Определение сложности проектирования автоматизированных станочных систем М МГЦНТИ, 1992 Вып № 536 6 с

21 Схиртладзе А.Г. Определение оптимального варианта ГПС М МГЦНТИ, 1992 Вып № 250 6 с

22 Схиртладзе А.Г. Работа оператора на станках с программным управлением М Высшая школа, 1987 175 с

23 Схиртладзе А.Г., Новиков В.Ю., Соколов В.И. Технологические основы обработки деталей станков Киев Высшая школа, 1991 327 с

24 Схиртладзе А.Г., Соколов В.И., Фадеев В.А. Металлорежущие станки с программным управлением и подготовка программ Харьков Высшая школа, 1992 252 с

25 Тимирязев В.А., Схиртладзе А.Г. Метод определения погрешности установки спутников в ГПС М МГЦНТИ, 1990 Вып № 125 4 с

Оглавление

Предисловие	3
Глава 1 Автоматический производственный процесс в машиностроении (Е Р Ковальчук)	5
1 1 Основные определения и задачи автоматизации производства	5
1 2 Основные характеристики производственного процесса	9
1 3 Размерные, временные и информационные связи в интегрированном производстве	12
Глава 2 Основы проектирования и реализации размерных связей автоматических производственных процессов (Е Р Ковальчук)	17
2 1 Требования к качеству изделий, обеспечиваемому сборкой	17
2 2 Особенности выбора и реализации методов достижения точности при автоматической сборке	23
2 3 Автоматическая сборка	29
2 4 Способы и средства транспортирования, автоматической подачи и ориентирования заготовок и деталей	32
2 5 Требования к конструкции изделий, предназначенных для автоматической сборки	46
2 6 Последовательность размерного анализа сборки	51
2 7 Размерные связи процесса изготовления деталей	57
2 8 Анализ установочных размерных связей при изготовлении деталей	59
2 9 Операционные размерные связи в автоматизированном производстве	70
2 10 Межоперационные размерные связи	88
2 11 Размерные связи при изготовлении деталей на спутниках в ГПС	95
Глава 3 Основы проектирования временных связей автоматизированных производственных процессов (Н М Султан-заде)	112
3 1 Цель и задачи построения временных связей процесса	112
3 2 Виды взаимодействия процессов во времени	118
3 3 Нестабильность затрат времени на выполнение процессов	124
3 4 Надежность процессов и оборудования	127
3 5 Организация производственных процессов во времени	147

Глава 4. Основы проектирования и обеспечения информационных связей автоматических производственных процессов (В Г Митрофанов, Ю М Соломенцев)	159
4 1 Потоки информации в автоматическом производственном процессе Основные требования к информации	159
4 2 Возможности использования ЭВМ для информационного обеспечения автоматизированного производственного процесса	172
4 3 Информационное обеспечение сборочного производства Уровни управления	183
4 4 Автоматический контроль размеров деталей	191
4 5 Автоматическое диагностирование режущего инструмента	197
4 6 Автоматическое диагностирование оборудования	199
4 7 Идентификация объектов в ГПС	200
4 8 Методы подготовки, доставки к оборудованию и отладки управляющих программ	201
Глава 5 Проектирование автоматизированных и автоматических производственных процессов (А И Схиртладзе, М Г Косов)	212
5 1 Определение структуры и основных характеристик производственного процесса	212
5 2 Условия применения автоматической сборки	215
5 3 Последовательность проектирования технологического процесса автоматической сборки	221
5 4 Техничко-экономическая оценка вариантов технологического процесса автоматической сборки	230
5 5 Типовые и групповые технологические процессы сборки	232
5 6 Использование ЭВМ при проектировании технологического процесса автоматической сборки	234
5 7 Последовательность проектирования автоматического сборочного оборудования	235
5 8 Определение надежности работы автоматического сборочного оборудования	236
5 9 Выбор типа и компоновки автоматического сборочного оборудования	237
5 10 Гибкие производственные системы сборки	251
5 11 Экономическая эффективность автоматической сборки	261
5 12 Проектирование автоматизированных процессов изготовления деталей	262
5 13 Последовательность проектирования ГПС механической обработки	278
5 14 Выбор вида, компоновки и числа автоматизированных станочных систем	295
Список литературы	309

В издательстве
«Высшая школа»
в 1999 — 2000 гг.

в серии «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» под редакцией чл.-корр. РАН Ю. М. Соломенцева выйдут в свет:

1. *И.М. Баранчукова, А.А. Гусев, Ю.Б. Крамаренко, В.Ю. Новиков, Ю.М. Соломенцев, А.Г. Схиртладзе, В.А. Тимирязев* «Проектирование технологии автоматизированного машиностроения».
2. *И.М. Колесов* «Основы технологии машиностроения».
3. *В.П. Вороненко, В.А. Егоров, М.Г. Косов, Д.Р. Попов, Н.М. Султан-Заде, А.Г. Схиртладзе* «Проектирование автоматизированных участков и цехов».
4. *В.А. Медведев, В.П. Вороненко, В.Н. Брюханов, В.Г. Митрофанов, А.Г. Схиртладзе, Л.М. Червяков* «Технологические основы гибких производственных систем».
5. *Г.Н. Андреев, В.Ю. Новиков, А.Г. Схиртладзе* «Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства».
6. *А.Г. Схиртладзе, С.Г. Ярушин* «Технологические процессы машиностроительного производства».
7. *А.Г. Схиртладзе, В.Ю. Новиков* «Технологическое оборудование машиностроительных производств».
8. *Н.Н. Марков, В.В. Осипов, М.Б. Шабалина* «Нормирование точности в машиностроении».

ISBN 5-06-003598-0

