

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА

П. А. Витер, Н. В. Герасимов

Г И Б К И Е
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ
В АВИАСТРОЕНИИ

Утверждено
редакционно-издательским
советом института
в качестве учебного пособия

Витер П. А., Герасимов Н. В. *Гибкие производственные системы в авиастроении: Учебное пособие.* — Куйбышев: КуАИ, 1986, 54 с.

В учебном пособии описаны особенности производства современных газотурбинных двигателей, пути сокращения сроков технологической подготовки производства новых двигателей и интенсификации производства на основе создания гибких производственных систем (ГПС). Рассмотрены основные принципы построения ГПС, описаны задачи, решаемые при проектировании ГПС. Изложена методика нижесперного проектирования гибких производственных модулей (ГПМ) механообработки на основе станков с ЧПУ и промышленных роботов (ПР). Предложен алгоритм проектирования ГПМ, описаны способы выявления объектов роботизации и подбора номенклатуры деталей для обработки на роботизируемом рабочем месте. Освещены вопросы выбора промышленных роботов, вспомогательного оборудования. Приведена методика сравнения конкурирующих вариантов компоновки ГПМ.

Учебное пособие предназначено для студентов, изучающих курс «Роботизация производства и создание гибких производственных систем» и слушателей ФПК отрасли и ЦИПС.

Табл. — 4, ил. — 16, библиогр. — 19 назв.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- АСИО — автоматизированная система инструментального обеспечения;
- АСНИ — автоматизированная система научных исследований;
- АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства;
- АТСС — автоматизированная транспортно - складская система;
- АСУО — автоматизированная система удаления отходов;
- АСУП — автоматизированная система управления предприятием;
- ГАЗ — гибкий автоматизированный завод;
- ГАЛ — гибкая автоматизированная линия;
- ГАУ — гибкий автоматический участок;
- ГАЦ — гибкий автоматизированный цех;
- ГПС — гибкая производственная система ¹⁾;
- ГПМ — гибкий производственный модуль²⁾;
- САК — система автоматизированного контроля;
- САПР — система автоматизированного проектирования.

¹⁾ Гибкая производственная система (ГПС) — это совокупность технологического оборудования и системы обеспечения его функционирования в автоматическом режиме, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры;

²⁾ Гибкий производственный модуль (ГПМ) — это гибкая производственная система, состоящая из единицы технологического оборудования, оснащенная автоматизированным устройством программного управления и средствами автоматизации технологического процесса, автономно функционирующая, осуществляющая многократные циклы и имеющая возможность встраиваться в системы более высокого уровня.

«Производительность труда — это, в последнем счете, самое важное, самое главное для победы нового общественного строя» (В. И. Ленин /1/). Следовательно, повышение производительности труда — вопрос не только технический, но и политический, его решение особенно актуально в настоящее время.

Повышение производительности труда достигается за счет автоматизации производственных процессов. При массовом и крупносерийном производстве, когда изделие производится пять, семь и более лет, целесообразно применение традиционных средств автоматизации (различного рода полуавтоматов, автоматов, автоматических линий). Современная жизнь требует от производства мобильности, быстрой перестройки на выпуск новой продукции улучшенного качества при высокой степени автоматизации. Эти требования можно выполнить с помощью гибкой комплексной автоматизации производства с применением высокопроизводительных станков с программным управлением, промышленных роботов, групповой технологии обработки деталей, адаптивных на базе ЭВМ систем управления производством в целом.

Достижения науки и техники в 50—80-е гг. в области создания и распространения микроэлектроники, широкое применение станков с числовым программным управлением, разработка и внедрение технологий групповой обработки деталей создали надежную базу для решения проблемы комплексной автоматизации производства. Замыкающим звеном в решении этой проблемы явилось создание промышленных роботов. Применение их как переналаживаемых средств с гибкими технологическими свойствами позволяет по-новому решать проблему автоматизации, особенно в условиях единичного, мелкосерийного и среднесерийного производств, создавать новый тип производства на базе гибких производственных модулей (ГПМ) и систем (ГПС) с трудо-

сберегающей (почти безлюдной) технологией.

Такие производства в настоящее время созданы на Ивановском СПО — гибкие производственные модули и система на базе обрабатывающих центров ИР-500, на Рязанском станкозаводе — гибкая линия АСВ-30 с управлением от ЭВМ на базе токарных полуавтоматов. На заводе «Жальгирис» (г. Вильнюс) в 1985 г. введена в эксплуатацию ГПС, разработанная в ЭНИМСе. На заводе «Красный пролетарий» (г. Москва) в содружестве с иностранными фирмами создано гибкое производство роботов. Идет реконструкция АЗЛК, которая позволит создать гибкое производство автомобилей «Москвич». Всего за следующую пятилетку намечено создать более 200 ГПС.

За рубежом — в Японии — созданы и успешно работают три завода-автомата. Два завода созданы фирмой «Фанук» (на 100 человек и на 60) и один — фирмой «Ямадзак» с еще большей степенью автоматизации, его называют заводом XXI века. В США фирма «Форд» и в ФРГ фирма «Фольксваген» создали гибкие производства с конвейерами, на которых в последовательности могут выпускаться различные модификации автомобилей.

По данным фирмы «Вернер» (ФРГ) к 1984 году в мире в общей сложности было создано более 200 разного рода гибких производственных систем.

По прогнозу международного общества CIRP в 1990 году более 50% производственных станков будет использоваться не индивидуально, а как часть гибких производственных систем.

Применение ГПС дает снижение трудовых затрат и уровня внутризаводского складского хранения запасов (на 50%), обеспечивает более высокий коэффициент использования оборудования (до 80%). ГПС отличаются хорошей адаптацией к изменению номенклатуры и конструкции выпускаемых изделий, позволяют реализовать почти безлюдную технологию.

Непосредственной целью создания ГПС является ликвидация малоквалифицированного ручного труда, монотонного и утомительного, устранение дефицита рабочей силы, повышение качества и надежности выпускаемых изделий, сокращение длительности производственного цикла, повышение ритмичности и производительности труда.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, что современные тенденции развития производства как у нас, так и за рубежом показывают перспективность и долгосрочность этого нового направления создания ГПС и на их основе — заводов-автоматов.

В данном пособии в первой главе описаны особенности производства современных газотурбинных двигателей, пути сокращения сроков технологической подготовки производства новых двигателей и интенсификации производства на основе создания ГПС.

Во второй главе изложена методика эскизного проектирования ГПМ механообработки на основе станков с ЧПУ и промышленных роботов.

Первая глава написана П. А. Витером, введение и вторая глава Н. В. Герасимовым.

1. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

1.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОВРЕМЕННЫХ ГТД. ПУТИ ЕГО ИНТЕНСИФИКАЦИИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Действие законов НТР в авиации проявляется в непрерывном росте требований к летательным аппаратам по дальности полета, скорости, грузоподъемности, безопасности, уровню шума, длине взлетно-посадочных полос и стоимости перевозок. Это во многом предопределяет рост требований к газотурбинным двигателям (ГТД) по единичной мощности, надежности, долговечности, удельным параметрам, уровню шума, полноте сгорания и др. А это, в свою очередь, приводит к значительному усложнению конструкции двигателя и условий работы основных элементов, что ярко прослеживается на особенностях конструкции ГТД различных поколений.

За 4 десятилетия сменилось четыре поколения двигателей. От простых турбореактивных двигателей РД-10 начала 50-х годов мы шагнули к двухконтурным, трехкаскадным двигателям.

Существенно возросли тяга, степень повышения давления, температура газов перед турбиной, значительно улучшились удельные характеристики двигателей. Долговечность основных элементов конструкции увеличилась с 300—1100 ч до 15—13 тыс. ч.

На смену традиционным материалам пришли титан, новые жаропрочные материалы, появились усовершенствованные технологические процессы обработки, покрытий, испытаний, более высокие требования в эксплуатации по надежности.

Из простой суммы элементов конструкции современный ГТД превратился в сложную техническую систему с многочисленными связями и противоречиями, сложными процессами, которые меняются в зависимости от условий и времени работы. Все это существенно усложнило доводку и серийное производство современных ГТД.

Таким образом, одно из основных противоречий НТР выражается в том, что, с одной стороны, рост требований по совершенствованию механизмов и машин приводит к значительному усложнению их конструкции, что затрудняет отработку их надежности и долговечности, увеличивает трудовые и материальные затраты на

производство, а, с другой стороны, объективные тенденции развития НТР и общества требуют неуклонного сокращения трудовых и материальных затрат, повышения надежности и долговечности этих же механизмов и машин.

Разрешение этого противоречия возможно за счет изыскания более эффективных путей проектирования и доводки двигателей, путей сокращения сроков технологической подготовки их производства и сокращения трудовых и материальных затрат.

Этапы совершенствования конструкции ГТД хорошо просматриваются на особенностях представителей каждого поколения.

Двигатели первого поколения РД-10, РД-20 просты по конструкции. Напряженность термодинамического цикла весьма низкая, долговечность элементов горячей части — 25—100 ч.

Двигатель второго поколения РД-3М включал 35 тыс. деталей. Около 40% деталей изготавливались из алюминиевых сплавов. Ресурс двигателя 1500—2000 ч. Долговечность около 4000 ч. Трудоемкость 5000 чел./ч.

Двигатель третьего поколения НК-8-2у включает 75 тыс. деталей. Около 45% деталей изготавливаются из титановых сплавов. Ресурс двигателя 8000 ч., назначенный ресурс 18000—20000 ч. Трудоемкость 10000 чел./ч.

Современный двигатель четвертого поколения насчитывает около 125 тыс. деталей, а трудоемкость его изготовления составляет 45000 чел./ч.

В связи с ростом долговечности основных элементов конструкции потребность двигателей для поддержания нормальной эксплуатации летательных аппаратов сокращается. Производство ГТД приобретает характер мелкосерийного и серийного с часто сменяемыми объектами производства.

Действующая в настоящее время технология на предприятиях двигателестроения ориентирована на универсальное оборудование и многочисленную простую, сложную и весьма сложную технологическую оснастку. Из общего парка металлообрабатывающего оборудования станки с ЧПУ составляют около 10% и примерно столько же — специальное оборудование, 80% парка — это универсальное оборудование. Заготовительное производство далеко от совершенства, в результате чего около 70—80% металла перерабатывается в стружку. Межзаводская и внутризаводская специализации развиты слабо. Объем ручных работ в основном производстве около 30%, во вспомогательном — около 60%.

Для изготовления двигателя, имеющего 4500—5000 наименований деталей, необходимо выполнить около 700 тыс. технологических операций.

Для оснащения технологических операций необходимо изготовить 10—12 тыс. приспособлений, 15—16 тыс. режущих инструментов, 12—15 тыс. мерительных инструментов.

В связи с недостаточным уровнем преемственности конструкции ГТД при смене объектов производства 75—80% технологического оснащения приходится делать заново, что существенно удорожает стоимость технологической подготовки производства и растягивает сроки освоения серийного производства новых двигателей.

Сохранившаяся с первых пятилеток организационная структура многих предприятий значительно отстала в развитии от технического совершенствования объектов труда и средств производства. При существующей организации производства и достигнутом уровне технического совершенствования технологии и оборудования все более проявляется несоответствие между достигнутым уровнем производительности труда и возможностями имеющихся рабочих машин и технологии производства. Проведенный анализ производственного цикла изготовления на ряде машиностроительных предприятий показал, что процесс непосредственной обработки деталей составляет около 5% от общего времени нахождения деталей в производстве. Остальное время — это пролеживание на промежуточных складах, в ожидании обработки, транспортировка, контроль, пролеживание на складах готовых деталей.

В таком распределении времени производственного цикла выявляются организационные неполадки и отставание процессов автоматизации вспомогательных работ. Это отрицательно сказывается на экономике народного хозяйства, так как замораживаются огромные материальные ресурсы и увеличивается цикл оборачиваемости оборотных средств. Выход из такой ситуации необходимо искать в применении принципов организации массового производства и мелкосерийному частосменяемому производству на новой технической основе.

Как известно, основными принципами построения массового производства являются дробление операций, узкая специализация технологии и оборудования, комплексная автоматизация и конвейеризация производственного процесса.

Ритм на производстве задают автоматические линии и конвейер. Они обеспечивают достижение высокой производительности труда, но обладают одним существенным недостатком — отсутствием технологической гибкости и мобильности при смене объектов производства. Совершенствование мелкосерийного частосменяемого производства с учетом принципов организации массового производства необходимо производить на совершенно иной основе.

Организационной базой этого совершенствования должна стать технологическая специализация производства на основе создания групповой поточной технологии. Технической базой совершенствования должно быть оборудование ЧПУ, ЦПУ, САПР, АСУТПП, АСУП и комплексная автоматизация всего производственного процесса.

Объединение этих организационных и технических принципов

в единый комплекс позволило найти новые организационно-технические пути построения мелкосерийного частосменяемого производства с учетом обеспечения высокой его мобильности и эффективности и достижения высокой производительности труда. Это новое организационно-техническое решение впоследствии было названо гибким автоматизированным производством (ГАП). Таким образом, можно определить, что ГАП — это высшая форма организации частосменяемого мелкосерийного и серийного производства, высшая форма комплексной автоматизации всего производственного цикла [1].

Гибкие автоматизированные производства начали появляться в 60-х годах. В разных странах они называются по-разному: в Японии — гибкой автоматизацией, гибким производственным комплексом, в США — гибкой производственной системой, производством с изменяемой задачей, в ФРГ — гибкой производственной системой или автоматизированной производственной системой, в Италии — гибкой производственной системой, во Франции — гибким цехом, в Англии — автоматизированным мелкосерийным производством. В нашей стране такого рода комплексы принято называть гибким автоматизированным производством.

1.2. ПРЕДПОСЫЛКИ НОРМАЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАП

В 1984 г. в капиталистических странах насчитывалось около 200 гибких автоматизированных производств. Производств, работающих полностью в автоматическом режиме, пока еще нет. Отдельные операции или виды вспомогательных работ иногда выполняются рабочими. Для обслуживания ГАП в процессе эксплуатации имеются наладчики, программисты, вспомогательные рабочие.

Гибкие автоматизированные производства являются наиболее действенными направлениями повышения производительности труда, сокращения сроков освоения новых изделий, повышения эффективности производства и его интенсификации. Основой и фундаментом ГАП является групповая поточная технология и комплексная автоматизация всего производственного процесса от проектирования изделия до упаковки готовой продукции.

Разработкой групповой поточной технологии в промышленности занимались и ранее. Особо большой размах эта работа приобрела в 60-е годы. Прошло время, но эта прогрессивная форма технического и организационного совершенствования производства не прижилась на многих предприятиях. Причина неудач кроется в том, что работы проводились без должного размаха, не охватывали все сферы производственного процесса, не носили комплексного характера. В результате не были созданы требуемые предпо-

сылки для нормального функционирования новых форм. Организационные структуры, инженерное обеспечение и технологическая гибкость конструкции остались прежними, не соответствующими новому уровню совершенствования техники и технологии. При смене изделий новые детали не вписывались в созданные группы подобия, организационная отсталость тормозила нормальное функционирование групповых поточных линий — и результат не замедлил сказаться.

Создавая ГАП, следует в первую очередь проявить заботу о его нормальном функционировании. Для этого необходимо обеспечить выполнение следующих основных предпосылок: создать гибкую (групповую) технологию; обеспечить требуемую технологическую гибкость оборудования; создать гибкое технологическое оснащение, гибкие организационные структуры и управление; обеспечить технологическую гибкость конструкции.

Технологическую гибкость всех этих предпосылок должны обеспечить стабильные конструктивно-технологические группы подобия деталей, входящих в состав изделий, и групповые методы обработки.

Групповой метод обработки — это метод унификации технологии производства, при котором для групп деталей конструктивно-технологического подобия устанавливаются относительные высокопроизводительные методы обработки с использованием однородных и быстропереналаживаемых орудий производства. При этом обеспечиваются эффективность производства, необходимая быстрота его подготовки и переналадки [2].

Особое место в организации ГАП, формировании групп подобия и разработке групповых технологических процессов занимает структура и качество заготовок. Структуру гибкой групповой поточной технологии определяет во многом коэффициент использования заготовки (КИЗ — отношение веса готовой детали к весу заготовки) и коэффициент необрабатываемых поверхностей (КНП — отношение необрабатываемой поверхности детали к общей площади поверхности). Нынешний технический уровень заготовительного производства в состоянии обеспечить КИЗ порядка 0,5—0,7 и КНП до 0,8. Существенным тормозом в достижении таких значений характеристик заготовок является несовершенство и отсталость организационной структуры заготовительного производства и недостаточный уровень технологической дисциплины.

Для каждой группы подобия деталей на основе разработанных групповых технологических процессов формируется свой универсальный технологический комплект оборудования. Универсальный в том смысле, что на этом комплекте оборудования за счет переналадки обеспечивается изготовление всех деталей, входящих в группу.

Технологический комплект оборудования формируется за счет

станков с ЧПУ, ОЦ, ЦПУ, специального автоматического, а также модернизированного универсального оборудования, обеспечивающего многостаночное обслуживание.

Наиболее целесообразно различать три степени гибкой автоматизации производства: гибкое механизированное групповое поточное производство с многостаночным обслуживанием; гибкое автоматизированное производство; гибкое автоматическое производство. Эти три разные по структуре степени гибкой автоматизации производства эффективно решают задачи повышения производительности труда и сокращения стоимости и сроков технологической подготовки производства новых изделий за счет технологической гибкости и сокращения живого труда на базе механизации производственных процессов. Роботизация и развитие ГАП в Японии и других странах шли именно такими путями, а гибкие автоматические производства в полном смысле этого понятия создавались для производства средств автоматизации основных производственных процессов при изготовлении продукции общего назначения с целью обеспечения их дешевизны и массовости (производство роботов).

На нынешнем этапе наиболее целесообразно гибкие механизированные и автоматизированные производства создавать на базе действующего оборудования путем применения групповых поточных методов обработки и придания гибкости элементам действующего оборудования с максимальным уровнем механизации процессов по всему производственному циклу.

Различают два вида технологической гибкости производственных процессов: аппаратную и программную. При аппаратной гибкости быстроедействие переналадки технологических потоков линий и оборудования на выпуск новой продукции обеспечивается заменой регулирующих элементов, узлов и агрегатов. Программная гибкость характерна для линий и оборудования с ЧПУ или ЦПУ. Быстроедействие переналадки обеспечивается сменой управляющих программ и спецификой применяемого технологического оснащения.

В нынешних условиях целесообразно существенно расширить аппаратную гибкость оборудования и технологического оснащения, придав им способность быстрой переналадки за счет замены отдельных элементов и узлов.

Таким образом, универсальный технологический комплект модернизированного оборудования может обеспечить изготовление всех деталей, входящих в группу подобия.

За счет модернизации оборудование также должно быть приспособлено для работы в составе гибких производственных комплексов и носить модульный характер — обеспечивать нормальное функционирование в режиме безлюдной технологии.

Все применяемое оборудование должно обеспечивать многостаночное обслуживание. За счет обновления обрабатывающего обо-

рудования состав парка необходимо систематически изменять. Оптимальной структурой можно считать:

35—40% — станки с ЧПУ;

35—40% — специальное и агрегатное оборудование с элементами модульности и аппаратной гибкости;

20—30% — модернизированное универсальное оборудование с элементами модульности.

Особое место в придании гибкости технологическим процессам и производству занимает технологическое оснащение. Применяемые сейчас приспособления слишком громоздки и ориентированы на выполнение определенной операции. В последние годы расширились объемы применения универсальной переналаживаемой технологической оснастки (УПТО) и универсальных сборных приспособлений (УСП). Но это далеко не все, что требуется для гибких производств. Необходимо создать на каждом предприятии быстропереналаживаемый базовый фонд оснащения с аппаратной и программной гибкостью для каждой группы подобия.

Такое оснащение существенно расширяет технологические возможности обычного универсального оборудования. Базовое приспособление с ЧПУ, смонтированное на обычный универсальный станок, превращает его в автоматическое с высоким уровнем технологической гибкости. А применение манипуляторов загрузки-выгрузки превращает станок в гибкий автоматический модуль.

На сокращение сроков технологической подготовки производства и повышение его эффективности большое влияние оказывает гибкость производства при освоении новых изделий. Но не все возможно обеспечить за счет технологической гибкости производства. Существенное значение имеет технологическая гибкость конструкции изделия. Технологическая гибкость конструкции включает стабильность конструктивно-технологических групп подобия деталей, высокий уровень преемственности конструкции (хотя бы 50—60%, существующий уровень 15—30%), стабильность характеристик элементарных обрабатываемых поверхностей, единство конструктивных и технологических баз, рациональность размеров и размерных связей, модульность, высокий уровень стандартизации и унификации технических требований, конструктивных форм, марок материалов, конструктивных элементов и многих других показателей и характеристик изделия.

Целесообразно уже сейчас ввести в состав конструкторской документации технологическую характеристику изделия, состав изделия по конструктивно-технологическим группам подобия элементов конструкции, оценку технологической гибкости конструкции. Необходимо установить объективные уровни преемственности, унификации и стандартизации и ограничить рост элементов конструкции, не вписывающихся в принятые на производстве стабильные конструктивно-технологические группы подобия. Это несколько не

снизит общий технический уровень изделия и его характеристики, но во многом будет способствовать решению задач повышения общей эффективности производства.

Наряду с решением технических проблем и вопросов особое внимание следует уделить совершенствованию организации и управления производством. Сейчас четко определился значительный разрыв между уровнем технического совершенства производства и уровнем организационной структуры и управления.

В организационных структурах преобладает многозвенность, практически без специализации, с полной децентрализацией всех ремонтных, транспортных, снабженческих и других работ.

Разработка технологических процессов ведется децентрализованно. Заточку инструмента на многих производствах рабочий выполняет вручную. Рабочие места обеспечивают заготовками, оснасткой, СОЖ, непосредственно сами рабочие.

Для условий ГАП такая организация производства не приемлема. Гибкость организации и управления производством формируется здесь за счет совершенствования инженерного обеспечения, развития АСУ, совершенствования организации труда во всех сферах. Осуществляется оптимизация мощностей основного и вспомогательного производств. Производится централизация всех ремонтных, обслуживающих, транспортных и других вспомогательных работ. За основным производством остаются только его собственные заботы по изготовлению продукции и ее качеству, а их и так больше чем достаточно.

Существенно расширяются сферы действия АСУ в основном производстве. Разрабатываются и поэтапно внедряются системы автоматического проектирования технологических процессов и технологического оснащения (САПР Т, САПР К), автоматизированные системы управления технологической подготовкой производства новых изделий (АСУТПП). Осуществляется серия мероприятий по адаптации персонала к работе в условиях АСУ.

Совершенствование организации труда осуществляется за счет рационализации рабочих мест, сокращения количества операций, выполняемых рабочим, оптимизации структуры трудозатрат и состава трудовых ресурсов, планово-предупредительного обслуживания рабочих мест, ликвидации тяжелого физического и ручного труда, развития бригадной формы с оплатой по конечным результатам и укрепления дисциплины во всех сферах производства.

Для выполнения этих работ требуются специалисты различных профессий и высокой квалификации. Поэтому особое внимание уделяется совершенствованию всей системы подготовки и переподготовки кадров. Всесторонняя помощь ученых вузов и НИИ, инженерно-технического персонала также поможет выполнению поставленной задачи.

Прошло около сорока лет с момента появления первой электронной вычислительной машины. За это время сферы применения ЭВМ многократно расширились. Появилась возможность создания комплексных систем управления различными сферами производства, объединяющих задачи автоматизации управления производством, автоматизации технологической подготовки производства новых изделий и задачи управления технологическими процессами.

Появилась перспектива создания гибких автоматизированных и автоматических производств, позволяющих с минимальными затратами и в короткий срок перейти на выпуск новой продукции. Первоначально гибкая автоматизация производства развивалась по пути создания станков и штабелеров с программным управлением и автоматических манипуляторов (промышленных роботов) с программным управлением для выполнения определенных технологических операций. Обособленно развивались и другие направления автоматизации производства — автоматизированные системы управления производством (АСУП), автоматизированные системы технологической подготовки производства (АСТПП), включающие системы автоматизированного проектирования конструкций изделий, технологических процессов обработки, конструкций технологического оснащения (САПР), а также автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП).

Развитие этих направлений со временем охватило весь производственный цикл от проектирования до изготовления изделия. Объединение всех этих автоматизированных систем в единую систему на уровне предприятия и создает гибкие автоматизированные производственные системы и комплексы.

На уровне цеха ГПС состоят из гибких производственных (ГП) линий и гибких производственных участков, автоматизированной системы управления и обеспечения, автоматизированной системы транспортировки и складирования, участков комплектования и технического обслуживания оборудования, системы удаления отходов производства. ГПК на уровне ГП линий и ГП участков состоят из гибких производственных модулей на базе основного технологического оборудования с программным управлением, в том числе с промышленным роботом, а также из автоматизированной системы управления технологическими процессами [3].

Типовая организационная схема гибкого автоматического производства показана на рис. 1.

В зависимости от принятой организационной структуры производства, степени автоматизации технологического процесса обработки деталей и конструктивно-технологических характеристик об-

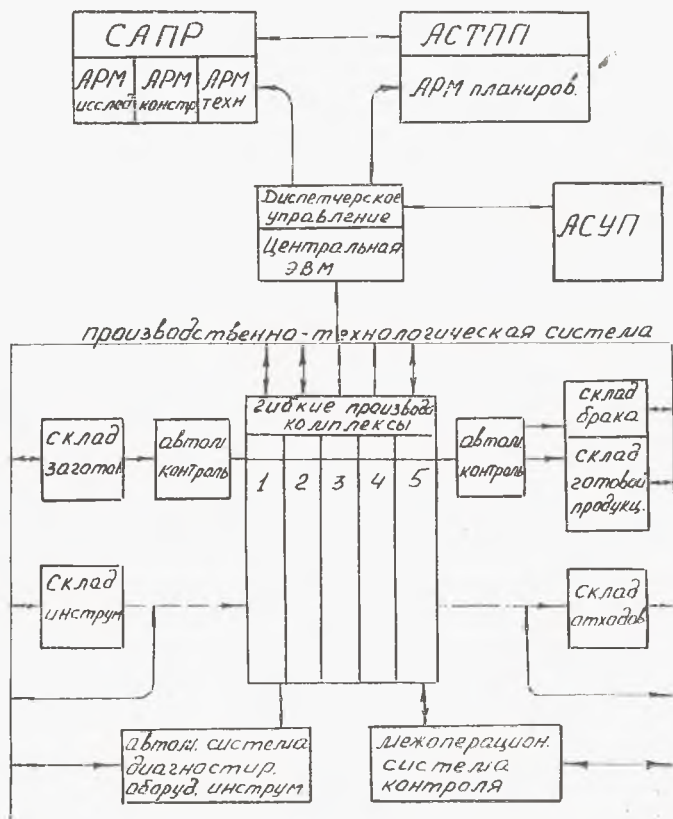


Рис. 1. Структурная схема гибкого автоматизированного комплекса: транспортная система заготовок и готовой продукции; транспортная система инструмента; транспортная система отходов

работываемых деталей можно выделить три группы компоновки гибких производственных систем.

Первая группа — это системы, организованные по принципу участков для серийного и особенно мелкосерийного производства с автоматизацией транспортно-складских работ. Транспортировка деталей, инструмента и необходимой технологической оснастки производится с помощью автоматизированных транспортных средств, управляемых от ЭВМ. Планирование производства также осуществляется от ЭВМ. Переналадку станков на обработку новых деталей и замену обрабатываемых деталей на станках производят операторы. В состав комплекса включаются станки с ЧПУ, пара-

метры которых обеспечивают реализацию технологических процессов обработки закрепленной за комплексом номенклатуры деталей. Кроме станков с ЧПУ в такие комплексы могут встраиваться универсальные станки или специализированное оборудование, не оснащенное ЧПУ, а также станки без устройств для автоматической загрузки деталей.

Вторая группа — это специализированные автоматизированные комплексы для обработки небольшой группы конструктивно однородных деталей, имеющих незначительное отличие в отдельных элементах конструкции. Номенклатура деталей стабильна и, как правило, известна при создании комплекса. Технологические маршруты обработки единые для всей группы деталей. Это позволяет специализировать оборудование по видам обработки или типам обрабатываемых поверхностей. Для обеспечения максимальной загрузки оборудования необходимо синхронизировать по времени выполнения все технологические операции на станках, входящих в комплекс. Оборудование, входящее в такие специализированные автоматизированные комплексы, должно быть с числовым или цикловым программным управлением.

Типичным примером такого специализированного комплекса может быть автоматизированный комплекс для обработки лопаток турбины или компрессора. Он создан на базе плоскошлифовальных станков с ЧПУ и приспособленных для глубинного шлифования. Лопатка турбины ориентируется по технологическим базам на профиле пера и заливается в брикет. Обработка и крепление лопатки в приспособлении по всему технологическому маршруту производится от баз технологического брикета.

К третьей группе относятся широкоуниверсальные гибкие производственные комплексы, предназначенные для обработки мелких серий разнородных деталей с изменяющейся номенклатурой. Такие комплексы должны обеспечивать высокоэффективное мелкосерийное производство, возможность перестройки на производство новых деталей без остановки производства, снижение затрат на технологическую оснастку и сохранение работоспособности при частичном выходе из строя оборудования. Реализация этих требований во многом зависит от состава оборудования, включаемого в комплекс, а также от принятых технологических маршрутов обработки деталей.

В состав таких комплексов входят многооперационные станки с ЧПУ и обрабатывающие центры. Типичными представителями таких комплексов являются комплексы для обработки корпусных деталей на базе обрабатывающих центров типа ИР-300 и ИР-500 [4].

Работа автоматизированного комплекса во многом зависит от работы его транспортных систем. Различают следующие виды транспортных систем:

транспортные накопительные системы автоматизированной загрузки деталей;

автоматизированные транспортно-накопительные системы инструментов;

транспортные системы автоматизированной уборки отходов обработки.

Транспортно-накопительная система загрузки деталей предназначена выполнять следующие функции:

транспортировать обрабатываемые детали (заготовки) на приемные позиции комплекса для продолжения обработки на последующем оборудовании;

транспортировать обработанные детали на позиции контроля и возвращать их после межоперационного контроля на приемные позиции для дальнейшей обработки;

хранить в накопителях межоперационные заделы деталей.

Транспортно-накопительные системы деталей обычно выполняются в трех вариантах: в виде стеллажа-напителя со штабелером: конвейера-напителя; в комбинированном варианте.

Автоматизированный стеллаж-накопитель служит для накопления заделов заготовок на несколько смен. Транспортирование деталей для обработки на станках осуществляется подвесным или напольным штабелером, самоходными транспортными напольными рельсовыми или безрельсовыми тележками.

Конвейер-накопитель совмещает функции накопителя небольшой вместимости и межоперационного транспортирования деталей на последующие операции обработки.

Загрузка—выгрузка деталей на приспособление в зону обработки станка осуществляется специальными манипуляторами или роботами. Транспортирование деталей может осуществляться в свободном состоянии с ориентацией и креплением по технологическим базам в приспособлении.

Применяется транспортирование и закрепление деталей в специальных литых брикетах. При этом значительно упрощается конструкция приспособлений, методы закрепления, существенно расширяется номенклатура деталей, подлежащих обработке.

Во многих случаях транспортирование и закрепление деталей осуществляется на специальных поддонах-спутниках (палетах). Этот метод чаще применяется при обработке корпусных деталей. Транспортирование деталей на конвейерах-напителях может производиться на специальных спутниках. Спутник с заделом деталей подается к станку, а загрузка деталей со спутника в зону обработки и наоборот осуществляется роботом-манипулятором.

Транспортно-накопительные инструментальные системы предназначены для автоматического транспортирования и распределения инструментов по станкам комплекса, автоматической загрузки

и выгрузки инструмента из магазинов и станочных комплексов. Многооперационные станки снабжены индивидуальными накопителями-магазинами и автоматической системой перегрузки инструмента в заданной последовательности из магазина в шпиндель станка и обратно. Эти инструментальные магазины при числе инструментов менее 12 выполняются в виде револьверной головки, от 12 до 20 — в виде барабанов (дисков), свыше 50 инструментов — цепной конструкции.

Технологическая гибкость производства — это не только быстрый переход на изготовление новых изделий внутри комплекса, но и быстрая подготовка новых программ, инструмента, приспособления, заготовок, требуемых для этого перехода. Поэтому производственная часть должна быть дополнена автоматизированной системой технологической подготовки производства.

Автоматизированный производственный комплекс не может функционировать нормально, если его работа не будет вовремя планироваться, не будут планироваться сменно-суточные задания и обеспечиваться материально-технические потребности — поставка заготовок, материалов, инструмента, программ и др. Для своевременной реализации этих работ необходима связь системы управления комплекса с АСУ предприятия (иерархической ЭВМ высшего уровня).

Таким образом, можно обобщенно определить, что гибкое автоматизированное производство (ГАП) объединяет три автоматизированные системы: автоматизированный производственный комплекс (ГПК), систему технологической подготовки производства (АСТПП) и систему управления предприятием (АСУП).

1.4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГАП

Эти системы являются важнейшими звеньями нормального функционирования ГАП и, в конечном счете, именно они определяют возможность безлюдного производственного процесса ГАП.

Работа системы автоматического контроля (САК) тесно увязана с работой системы управления ГАП и фактически является обратной связью выполнения управляющих команд составляющими частями и элементами ГАП и информацией об их техническом состоянии. В общем виде САК решает следующие задачи:

получение и представление информации о техническом состоянии и расположении контролируемых объектов, о состоянии оборудования, оснащения, условий обработки;

сравнение фактических параметров с заданными;

представление информации об исполнении функции;

передача информации о различных рассогласованиях производственного процесса для принятия решений.

Система автоматического контроля ГАП должна обеспечивать требуемый уровень качества продукции путем контроля параметров материала, заготовок, инструмента, приспособлений, режима обработки, измерения и испытания изделия, параметров технологических средств на всех стадиях изготовления.

Система автоматического контроля также должна обеспечивать максимальную эффективность ГАП за счет поддержания его в работоспособном состоянии путем контроля и диагностирования робототехнических комплексов и автоматического обрабатывающего оборудования, транспортно-складских систем, вычислительной техники и программного обеспечения.

Контроль может быть активным и пассивным. Активный контроль осуществляется непосредственно в ходе выполнения перехода или операции. Вначале он был введен для вспомогательных процессов. Затем он распространился на автоматизацию контроля параметров изделия и регулирование параметров технологических процессов. Сейчас широко применяют методы контроля параметров изделий в процессе их изготовления. Наиболее перспективно применение активного контроля в зоне обработки, так как исключается возможность появления брака за счет своевременного введения корректирующих воздействий.

На автоматическом оборудовании с программным управлением предусматривается контроль и диагностирование технического состояния, что позволяет мгновенно остановить всю систему или подать на нее аварийный сигнал в случае разрегулирования серводвигателя, нарушения сигналов обратной связи, перегрева или температурных перепадов, сбоев источника питания, перегрузок, разрегулирования и т. д. Непрерывное совершенствование системы автоматического контроля по выбору оптимального распределения пооперационного контроля качества изготовления и перенос центра тяжести на контроль в зоне обработки позволяют перейти от простой разбраковки готовой продукции к управлению качеством в процессе ее изготовления.

Рассмотрим принципы контроля технического состояния элементов и модулей ГАП. Существует два способа контроля: прямой, когда непосредственно измеряется параметр, характеризующий точность позиционирования, износ режущего инструмента, другие конкретные параметры, и косвенный, когда о техническом состоянии объекта можно судить по другим параметрам (при затуплении протяжки — по возрастанию усилия протягивания или возрастанию силы тока электродвигателя).

При первом способе для контроля большинства параметров требуются специальные встроенные средства. Выбор аппаратных средств контроля в первую очередь зависит от тех параметров, которые необходимо измерять при контроле как качества про-

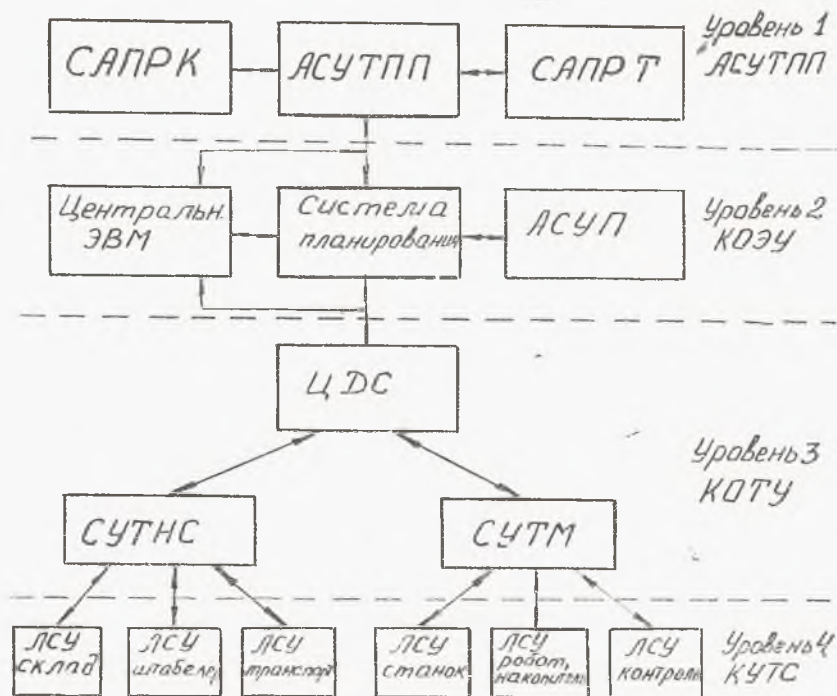


Рис. 2. Принципиальная схема АСУ ГАП: ЛСУ — локальные системы управления; СУТНС — система управления транспортно-накопительной системой; СУТМ — система управления технологическими модулями; ЦДС — центральная диспетчерская система; АСУП — автоматизированная система управления производством; САПР — система автоматического проектирования конструкций и технологий; АСУТПП — автоматизированная система управления технологической подготовкой производства

дукции, так и функционирования системы. Технической базой для создания автоматических систем контроля является Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Номенклатура технических средств ГСП в настоящее время насчитывает свыше 2000 типов изделий, из них 30% составляют измерительные преобразователи (датчики различных физических величин).

Различают датчики положения, геометрических размеров, давления, изображения и системы технического зрения, которые в состоянии обеспечить регистрацию изменений всего функционального множества контролируемых параметров ГАП.

Управление сложным механизмом ГАП производится автоматизированными системами управления. АСУ ГАП объединяет в себе

САПР, АСУТП, АСУП и представляет собой автоматизированную систему управления технологическими процессами интегрированного типа для управления сложным производственным процессом.

АСУ ГАП предназначена для комплексного адаптивного управления, в результате которого обеспечиваются для конкретных производственных условий максимальная загрузка оборудования, минимальные объемы незавершенного производства, минимальная длительность производственного цикла, сокращение сроков освоения новых изделий.

Управляющий вычислительный комплекс АСУ состоит из одной или нескольких ЭВМ, средств связи, контроля, сбора информации и управляющих устройств. Наиболее рациональной структурой АСУ ГАП является иерархическая структура с четырьмя функциональными уровнями иерархии (рис. 2).

Нижний уровень АСУ — это контур управления технологическими средствами и элементами. Он включает в себя локальные системы управления складом, штабелером, транспортом, станком, роботом, накопителями, контрольными машинами и устройствами. Все локальные системы обеспечивают требуемую гибкость централизованного программного управления основными и обслуживающими процессами.

Следующий уровень управления — организационно-техническое управление, основной целью которого является диспетчеризация (синхронизация по времени) работы систем нижнего уровня. В него входят система управления технологическим модулем, система управления транспортно-накопительной сетью и центральная диспетчерская система.

Технологический модуль — это совокупность технологического оборудования и загрузочно-разгрузочных устройств с единой системой управления. Центральная диспетчерская система управляет ГАП в режиме реального времени на основе планового задания и связи с автоматизированной подготовкой производства и системой управления технологическим модулем.

Третий уровень управления — организационно-экономическое управление. Здесь вырабатываются сменно-суточные задания на основе плана из АСУП и текущей информации о ходе производства в данной и смежных производственных системах.

Гибкость производственной системы при обработке различных деталей во многом обеспечивается верхним уровнем иерархии — автоматизированной системой управления технологической подготовкой производства, включающей системы автоматического проектирования технологических процессов и технологического оснащения.

В диалоговом режиме работы с системой технолог выбирает заготовку, проектирует операционную и маршрутную технологии,

при необходимости проектирует технологическую оснастку и формирует заказ на ее изготовление. На этом уровне проектируются управляющие программы для элементов ГАП.

Основу функционирования АСУ ГАП составляет согласованное во времени решение задач и принятие решений: «вниз» по структуре системы передаются плановая и управляющая информация и команды, «вверх» — информация о результатах их реализации (информация системы автоматического контроля).

Все функции трех верхних уровней иерархии выполняет центральная ЭВМ. Функции нижнего уровня выполняются устройствами ЧПУ, выполненными на микропроцессорной технике.

1.5. ГРУППОВАЯ ПОТОЧНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ — ОСНОВА СОЗДАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГАП

Групповую поточную технологию нужно рассматривать как организационную основу для построения гибких автоматизированных и автоматических производств. Групповым формам организации производства присущи свойства, обеспечивающие интенсификацию производства и повышение его эффективности:

унификация конструкций, технологических процессов, управляющих программ, создание групп конструктивно-технологического подобия деталей;

специализация цехов, участков, рабочих мест под создание групп подобия;

планово-предупредительное обслуживание рабочих мест;

более полная загрузка оборудования;

сокращение сроков технологической подготовки производства;

автоматизация на базе станков с ЧПУ;

автоматизация технологического проектирования;

создание систем, управляющих ходом производства /6/.

Следовательно, групповая поточная технология — это важнейшее звено в ускорении темпов научно-технического прогресса при условии, что работы по ее созданию захватят все этапы производственного цикла и будут выполняться комплексно. При разработке групповых технологических процессов необходимо исходить из следующих основных положений:

1) принятая последовательность технологических операций или переходов должна обеспечивать обработку любой детали группы в соответствии с чертежом и техническими требованиями;

2) технологическая оснастка должна быть групповой или универсально переналаживаемой;

3) оборудование должно обеспечивать высокопроизводительную обработку при минимальных затратах на его переналадку;

4) технологическая документация должна быть простой по

форме, исчерпывающей по содержанию и удобной для использования в работе. Центральное место в разработке поточной групповой (гибкой) технологии занимает методология формирования групп конструктивно-технологического подобия деталей, так как она определяет лицо и структуру технологии обработки в целом.

Различают три типа группирования деталей:

1) По конструктивно-технологическому сходству. Наиболее типовые детали, входящие в такие группы — шестерни, втулки, валики, шпиндели, оси и др.

2) По сходству элементарных поверхностей обработки, позволяющих в различных комбинациях сформировать технологический процесс обработки каждой детали, входящей в группу.

3) По преобладающим видам обработки (по типам оборудования), по единству технологического оснащения и общности настройки оборудования [2].

При разработке групповых поточных технологий и формировании гибких производственных систем изготовления деталей в мелкосерийном производстве наиболее часто встречаются два вида групповых технологий и ГПС по изготовлению деталей.

Первый — детали группы конструктивно-технологического подобия имеют общий многооперационный процесс, выполняемый на разнотипном оборудовании, встроенном в линию. На рис. 3 представлена принципиальная схема построения такой линии.

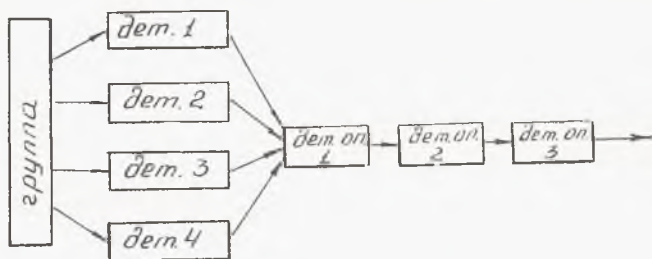


Рис. 3. Схема технологического маршрута обработки деталей группы с многооперационным процессом, выполняемым на разнотипном оборудовании

Обработка деталей, входящих в группу, может производиться по двум схемам: каждая деталь последовательно проходит все операции обработки, все детали проходят обработку на каждой операции последовательно. В отличие от второй, первая схема более оперативна в работе, позволяет обеспечивать своевременную комплектацию сборки, не требует больших заделов в незавершенном производстве и на СГД.

Второй вид групповой технологии объединяет детали нескольких групп подобия, имеющих несколько общих детали-операций,

принципиальная схема этого вида представлена на рис. 4. Это более сложная схема формирования поточных линий обработки. Такая схема обеспечивает наивысшую загрузку оборудования;

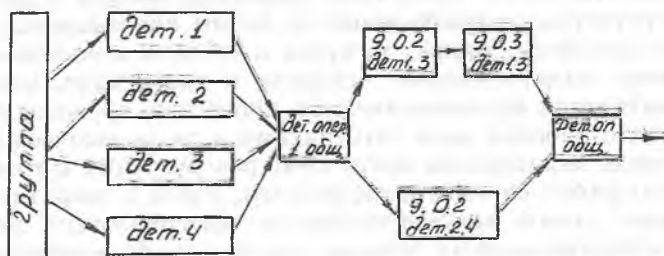


Рис. 4. Схема технологического маршрута обработки деталей нескольких групп, имеющих общие деталь-операции

повышает коэффициент сменности работы оборудования, но значительно усложняется межоперационный транспорт, планирование сменных и суточных заданий.

Теперь можно более полно сформулировать понятие группы конструктивно-технологического подобия деталей.

Группой конструктивно-технологического подобия называется совокупность деталей, характеризуемая при обработке общностью оборудования, оснастки, наладки и технологического процесса.

При разработке технологических процессов на группу деталей за основу берется типовой представитель или комплексная деталь (иногда условная), которая охватывает конструктивные особенности всех деталей, входящих в группу.

Формирование групп подобия — это важнейший этап разработки групповой технологии. Идея классификации деталей впервые предложена профессором Соколовским в 30-х годах. Им разработаны научные основы классификации деталей для типизации технологических процессов. Сейчас действует семь систем классификации, которые положены в основу разработки детальных руководящих и методических материалов.

1.6. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ГАП

При выборе объектов для создания подразделений ГАП необходимо исходить из оценки организационно-технологической структуры предприятия, обуславливаемой специализацией ее основных производственных подразделений (цехов и участков), из оценки соответствия их специализации характеру и типу производства продукции. Этот решающий для технического перевооружения и

автоматизации производства фактор определяется на стадии предпроектного обследования предприятия.

Для обоснования и выбора объектов автоматизации обследуются и анализируются: продукция, производственная и организационная структуры подразделений по видам производства; технологические процессы, типаж, загрузка и степень использования оборудования, технологическая оснастка и инструмент, механизация и автоматизация производственных процессов, организация труда, обеспечение рабочих мест заготовками и технологической оснасткой, уровень механизации погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ, система планирования, учета и оперативного планирования, схемы документооборота, материальных, энергетических и информационных потоков, система технологической подготовки производства и уровень ее механизации и автоматизации, задачи, решаемые АСУП, статистические данные по основным показателям работы производственных подразделений и служб технической подготовки, планирования и управления производством.

На основе материалов обследования, выводов и предложений разрабатываются технические задания на создание подразделений ГАП. Если на предприятии предполагается создать несколько участков и линий, то целесообразно планировать их применительно к одному производственному подразделению с тем, чтобы в результате систематического и целенаправленного повышения уровня автоматизации производственного процесса объединить их впоследствии в более крупное подразделение ГАП.

В том случае, когда для создания гибких автоматических линий, участков и цехов требуется изменить производственную структуру предприятия, до разработки ТЗ необходимо выполнить частичную или полную реорганизацию производственной системы. Более предпочтительным является полная реконструкция и техническое перевооружение предприятия.

Всю работу по техническому перевооружению производства с целью придания ему свойств гибкой автоматизации целесообразно проводить в следующей последовательности.

На первом этапе формируется идеология ГАП. Производится полный анализ особенностей объектов производства, создаются единые конструктивно-технологические группы подобия с унификацией деталей, размеров и материалов, процессов. Формируется НТД, регламентирующая оценку технологичности конструкции, уровня ее приемственности по деталям и группам подобия.

Выполняются работы по анализу парка оборудования, соотношений категорий работающих, формированию направлений совершенствования организационной структуры предприятия и цехов, формированию направлений совершенствования инженерного обеспечения производства, расширению бригадных форм организации

труда. Формируются также направления внутривзаводской и отраслевой специализации.

На втором этапе производится разработка групповой поточной ресурсосберегающей технологии, адаптивной организации производства и его эффективного инженерного обеспечения.

На основании разработанной групповой технологии определяются оптимальный состав парка оборудования, потребные типаж и количество гибких производственных модулей, комплексов, состав переналаживаемого базового фонда технологического оснащения. Осуществляется реконструкция заготовительного производства с целью освоения прогрессивных заготовок по директивным технологическим процессам.

Планомерно обновляется станочный парк и модернизируется универсальное оборудование для обеспечения многостаночного обслуживания. Реорганизуется организационная структура, создаются подразделения ГАП, САПР, совершенствуются автоматизированные системы управления производством (АСУП) и технологической подготовкой производства (АСУТПП), инженерное обеспечение, во всех цехах внедряется планово-предупредительное обслуживание рабочих мест, гибких модулей и комплексов. Завершаются все работы по рационализации рабочих мест. Определяется типаж межоперационного транспорта, штабелеров, складского хозяйства. Выполняются работы по внутривзаводской специализации производства.

На третьем этапе ведутся работы по комплексной гибкой автоматизации основного производства. Разрабатываются и изготавливаются гибкие производственные модули, формируются гибкие комплексы, автоматические линии и участки. Создается базовый фонд гибкого (группового) технологического оснащения для всех групп подобию. Формируется оптимальный состав оборудования по соотношению станков с ЧПУ, специальных и универсальных. Производится реорганизация вспомогательного производства, складского хозяйства, централизация ремонтных служб, перевозок и транспортно-складских работ. Осуществляется переподготовка кадров с целью повышения их квалификации и адаптации для работы в условиях ГАП.

На четвертом этапе выполняются работы по комплексной автоматизации производства по всему циклу. Осуществляется поэтапное внедрение САПР на всю продукцию, внедрение САПР на разработку технологического оснащения.

Завершаются работы по совершенствованию организационной структуры производства и управления на базе АСУП, реорганизация инженерного обеспечения производства на базе АСУТПП, реорганизация и комплексная автоматизация вспомогательного производства и транспортно-складского хозяйства.

На пятом этапе в основном завершаются все работы по формированию ГАП. Заканчиваются работы по созданию гибкой ресурсосберегающей технологии с полным комплектом НТД, комплексной автоматизации и механизации всего производственного цикла.

Организационная структура производства и его инженерного обеспечения приводится в полное соответствие с требованиями ГАП. Обеспечивается требуемая квалификация и стабильность кадров, культура производства, уровень технологической и трудовой дисциплины.

Завершаются работы по отраслевой специализации производства и по социальному развитию коллективов.

Выполнение многих работ производится не последовательно, а совмещенно, а некоторые работы выполняются на протяжении всех этапов.

Даже приближенный расчет показывает высокую экономическую эффективность ГАП. Автоматизированный комплекс с гибкоперестраиваемой технологией обеспечивает повышение производительности труда в 8—10 раз по сравнению с традиционной технологией и организацией, в 7—10 раз сокращается требуемое количество оборудования, высвобождаются производственные площади.

2. ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПМ

Процесс проектирования ГПМ включает четыре этапа: предварительный выбор объектов роботизации; подбор номенклатуры деталей; проектирование элементов ГПМ и вариантов его компоновки; сравнение конкурирующих вариантов компоновки и принятие окончательного решения по разработке и созданию ГПМ.

Проектирование элементов ГПМ и его компоновки представляет задачу с многими неизвестными, которая решается итерационным путем. Поэтому первый проход алгоритма от начала до конца следует осуществить пусть приближенно, но быстро. При первом проходе формируются данные, которые помогут принять рациональные решения на последующих итерациях.

Методика проектирования ГПМ определена алгоритмом, изображенным на рис. 5.

2.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ВЫБОР ОБЪЕКТОВ РОБОТИЗАЦИИ

Основными условиями для внедрения промышленных роботов (ПР) являются:

достаточно высокая отработанность и стабильность технологического процесса до роботизации и после нее в течение трех лет, не менее;

наличие однородных рабочих мест (РМ) на предприятии и возможность объединения их в единый роботизированный участок или цех;

производство на рабочем месте достаточно больших по объему партий деталей или возможность перехода к групповой технологии обработки деталей.

С технической точки зрения в первую очередь нужно роботизировать те рабочие места, которые имеют:

высоконадежное основное оборудование с большим оставшимся сроком службы;

надежное базирование и автоматическое закрепление изделий в зоне обработки;

средства автоматического удаления отходов;

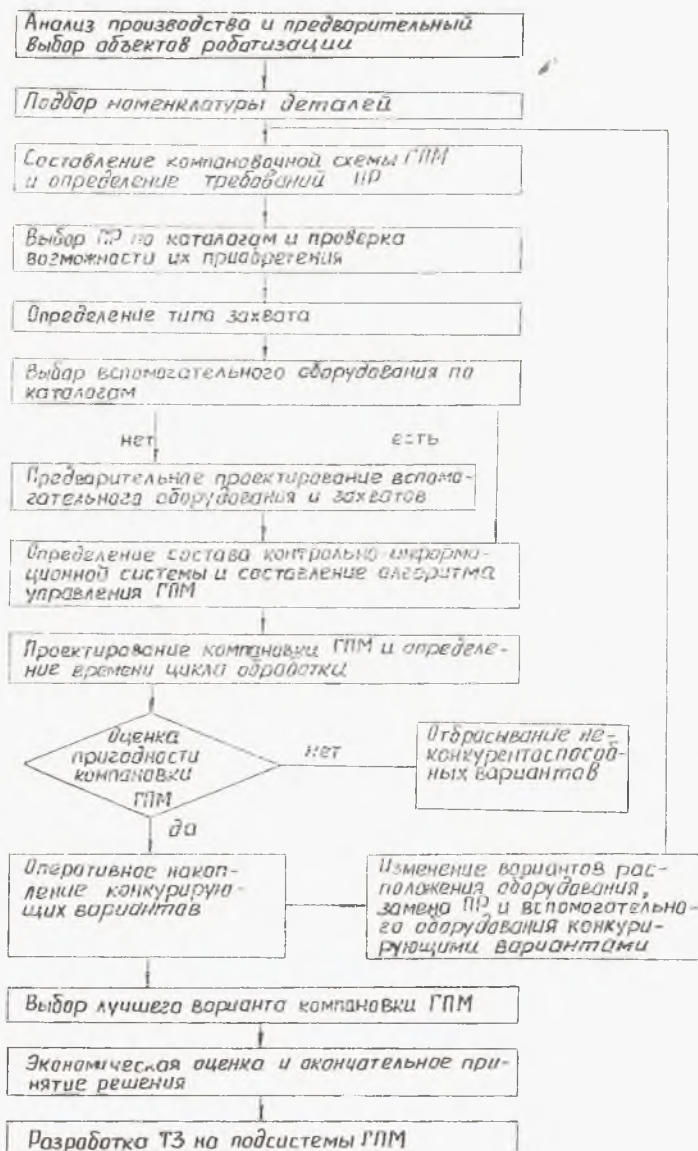


Рис. 5. Алгоритм эскизного проектирования ГПМ

средства автоматической подстройки и замены инструмента; систему автоматического контроля качества обработки, в том числе геометрических размеров детали; возможность легкого сопряжения основного оборудования с ПР и другими средствами автоматизации в единой системе.

С социальной точки зрения роботизации подлежат рабочие места:

с вредными и опасными для здоровья условиями труда;

с наличием тяжелого ручного и утомительного монотонного труда;

не укомплектованные рабочими вследствие непрестижности профессии.

При определении социальных характеристик труда рабочих необходима информация об условиях, характере и содержании труда /7/, предусмотренная ГОСТ 12.1.001-75, ГОСТ 12.1.003-76, ГОСТ 12.1.005-76, ГОСТ 12.1.006-76, ГОСТ 12.1.008-76, санитарными нормами СН-245-71.

С организационно-экономической точки зрения роботизировать нужно те рабочие места, которые:

требуют повышения коэффициента загрузки, ритмичности производства, коэффициента сменности работы оборудования;

перспективны в смысле объединения их после роботизации в гибкие автоматизированные участки, цехи с единой транспортной системой и системой управления реализующей почти безлюдное производство;

не требуют большого объема модернизации основного оборудования;

не нуждаются в большой перепланировке и затратах производственных площадей,

не требуют сложного вспомогательного оборудования;

обеспечивают высокую окупаемость капитальных вложений.

Расчет экономической эффективности следует проводить с учетом временных и материальных затрат, связанных с переналадкой оборудования при переходе на выпуск новой серии по методике /8/.

При анализе возможности сокращения затрат следует принимать во внимание не только очевидное непосредственное сокращение затрат ручного труда, но и косвенную его экономию, проявляющуюся в уменьшении выплат пособий, оплаты сверхурочных часов работы, работы в ночную смену и т. д.

При подборе номенклатуры предпочтение следует отдавать тем деталям, которые имеют хорошую базу захвата, ось или плоскость симметрии; сохраняют форму; не требуют сложных установочных приспособлений, высокой точности базирования, по возможности, процесса контроля и испытаний.

Согласно методике оценки рациональности роботизации (ФРГ)

/9/, из всей совокупности РМ сначала выбираются те, которые удовлетворяют следующим требованиям: а) все элементы манипулирования выполняются на РМ; б) элементы манипулирования повторяются периодически; в) производственный процесс определен в каждый момент времени.

Для РМ, отвечающих этим требованиям, заполняются табл. 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

Технические критерии для оценки возможности автоматизации процессов манипулирования

| Критерии оценки | РМ1 | РМ2 |
|---|---------|---------|
| Система приводов: | | |
| основное движение вручную | — | — |
| вспомогательное движение вручную | — | — |
| Система управления: | | |
| управление перемещением вручную | + | + |
| управление скоростью вручную | — | + |
| включение рабочего процесса вручную | + | + |
| включение зажимного приспособления вручную | + | + |
| Система подачи: | | |
| инструмент подается вручную | + | + |
| деталь подается вручную | + | + |
| Система зажима: | | |
| зажим осуществляется вручную | — | + |
| Система контроля: | | |
| контроль условий обработки требуется постоянно и производится вручную | — | — |
| контроль за состоянием инструмента требуется постоянно и производится вручную | — | — |
| Система подачи вспомогательного материала | | |
| минимум один раз за цикл, вручную | — | — |
| Система удаления отходов минимум один раз за цикл, вручную | — | — |
| Суммарная оценка | $S_1=5$ | $S_1=7$ |

Т а б л и ц а 2

Экономические критерии для оценки возможности автоматизации процессов манипулирования

| Критерии оценки | РМ1 | РМ2 |
|---|---------|---------|
| Число рабочих смен в сутки ≥ 2 | — | + |
| Число рабочих в смену ≥ 2 | — | — |
| Частота переналадок в смену ≤ 1 | + | + |
| Номенклатура выпускаемых деталей в течение года ≤ 20 | + | + |
| Предположительный срок службы всех единиц оборудования после роботизации ≥ 3 | + | + |
| Суммарная оценка | $S_2=3$ | $S_2=4$ |

Требование эксплуатации рабочего места в две смены как минимум или работы, самое меньшее, двух человек в смену вытекает из расчета экономической эффективности. Требование ограничения номенклатуры обрабатываемых деталей связано с высокой стоимостью универсальных захватов, устройств ориентации, накопителей. Поэтому с ростом номенклатуры резко возрастут затраты на автоматизацию. Из соображений окупаемости вытекает, что роботизация рентабельна только при эксплуатации ПР не менее трех лет.

Вывод о целесообразности автоматизации делается на основе следующих подтвержденных практикой ограничений: автоматизация не целесообразна при $S_1 > 10$, $S_2 \leq 1$.

После принятия предварительного решения и определения иерархического места (последовательности роботизации) данного РМ уточняют номенклатуру (или подбирают группу) выпускаемых в течение года деталей на данном РМ, проводят предварительное проектирование ГПМ (на уровне технического предложения), ориентировочно определяют степень надежности ГПМ, проводят расчет экономической эффективности, принимают окончательное решение по роботизации данного РМ и разрабатывают техническое задание (ТЗ) на проектирование ГПМ.

2.2. ПОДБОР НОМЕНКЛАТУРЫ ДЕТАЛЕЙ

По организационно-экономическим соображениям подбираемые для обработки на роботизируемом РМ детали должны удовлетворять двум главным требованиям:

объем партий запуска деталей должен быть достаточно большим, соответствующим среднесерийному и крупносерийному производствам; мелкие партии должны быть объединены в группы; детали должны быть технологичны.

В данном случае деталь считается технологичной, если она проста по конструкции, пригодна к автоматической загрузке, автоматическому базированию, транспортированию, ориентированию и контролю. Характеристики (классификатор) деталей общемашиностроительного применения, рекомендуемых для обработки на металлорежущем оборудовании с применением ПР, можно найти в справочнике /10, с. 290/.

2.2.1. Программа выпуска и объем партии запуска

Как уже отмечалось выше, объем партии запуска деталей, подбираемых для обработки на роботизируемом рабочем месте, должен быть достаточно большим, соответствующим крупносерийному и среднесерийному производствам,

Тип производства определяется по коэффициенту закрепления $K_{з0}$ (ГОСТ 3.1108.74), см. /11, с. 14/. Для предварительной оценки типа производства можно воспользоваться так называемой характеристикой серийности /11/. При среднесерийном производстве минимальный объем партии запуска должен обеспечивать работу без переналадок не менее двух—трех смен. Если производство мелкосерийное и объем партий мал, то следует использовать метод групповой обработки деталей /12/. В условиях роботизируемого производства одним из наиболее целесообразных методов группирования деталей является группирование по единству оборудования и технологической оснастки, объединенных общностью наладки с использованием комплексной детали.

Вместе с тем увеличение номенклатуры деталей ведет к основательному росту потерь времени на переналадку роботизированной системы. В общем случае переналадка роботизированной системы при смене деталей включает следующие работы:

- а) набор программы (НП) и переналадку режимов работы промышленных роботов;
- б) замену и настройку схватов (СХ) исполнительных органов роботов;
- в) замену и поднастройку вспомогательного технологического оборудования (накопительно-ориентирующих и др. устройств) /ВТО/;
- г) замену и настройку технологического инструмента (ИТИ) на обслуживаемом оборудовании /13/.

Суммарное время переналадки составляет

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{нп}} + t_{\text{сх}} + t_{\text{вто}} + t_{\text{ити}}$$

Целесообразность и быстрота перенастройки характеризуется и оценивается коэффициентом мобильности (гибкостью) оборудования /14/, который отражает степень использования баланса его рабочего времени. Коэффициент мобильности зависит от производительности, длительности перенастройки (на единицу продукции) оборудования и выражается формулой

$$K_m = \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^n t_n^{(i)}}{Q} \Pi_n \right)^{-1},$$

где $t_n^{(i)}$ — средняя длительность переналадки (перенастройки) функционального устройства, механизма, мпн;

n — количество устройств, механизмов, блоков, переналадка которых не совмещена во времени;

Π_n — цикловая производительность оборудования, мин^{-1} ;

Q — количественный объем партии.

Считают, что автоматическое оборудование отвечает высоким

требованиям в том случае, если значение $K_m = 0,9$. Отсюда можно вычислить ориентировочный минимальный объем партии изделий, который целесообразно перерабатывать на переналаживаемом оборудовании:

$$Q_{\min} = (5 \dots 15) P_n t_n,$$

где t_n — суммарная длительность перекомпоновки (при необходимости) и настройки.

Методы групповой технологии позволяют и в мелкосерийном производстве в ряде случаев организовать рентабельную обработку партий однотипных деталей с партией запуска 5—10 штук /4, с. 261/.

2.2.2. Оценка технологичности детали

Для оценки технологичности детали классифицируются по разным признакам. В настоящее время разработано много классификационных схем, в которых учитывается в основном все разнообразие форм, размеров, физико-технических свойств деталей или их заготовок, подлежащих автоматическому ориентированию. Однако до настоящего времени не выработано единой оценки и нет общепринятой методики определения технологичности деталей.

По классификации, предложенной Л. Н. Кошкиным /14/, детали (заготовки) с точки зрения поштучного захвата и ориентирования можно разделить на бункрируемые, с возможностью поштучного захвата из общей массы, и небункрируемые, поштучный захват которых из общей массы невозможен. Бункрируемые заготовки могут паходиться в бункере навалом, автоматически захватываться из навала и ориентироваться поштучно на исходной позиции. Небункрируемые заготовки набираются в кассеты, контейнеры или транспортируются на исходную позицию с сохранением ориентации и с жесткой передачей.

Для оценки подготовленности заготовки к автоматической загрузке можно рекомендовать и комплексный метод, приведенный в работах /15, 16/, в основу которого положен принцип поэлементного анализа и определения объективных количественных характеристик деталей с точки зрения возможности и технической целесообразности автоматического выполнения дискретных операций ориентации деталей в пространстве, подачи их на высокую позицию. Метод предполагает дифференцированную систему оценок основных свойств деталей: конфигурации, механических свойств, сцепляемости, абсолютных размеров и др., в совокупности определяющих качественную характеристику детали.

Все свойства заготовок дифференцированы на семь ступеней, каждая из которых характеризует определенную совокупность признаков. Признаки имеют кодовые числовые обозначения, при

помощи которых определяется балл сложности и далее, по характеристикам суммы баллов,—категория сложности автоматической загрузки деталей.

Пригодность деталей к автоматической загрузке /17/ характеризуется коэффициентом отдачи конкретного бункерно-загрузочного устройства. Определяют его так:

$$K = P_1 P_2 P_3,$$

где K — коэффициент отдачи подающих или захватывающих элементов в бункере;

P_1 — вероятность нахождения деталей в заданном положении или на стыке ориентирующих поверхностей;

P_2 — вероятность того, что захвату и извлечению детали не мешает высокая скорость захватывающего устройства;

P_3 — вероятность отсутствия большой сцепляемости деталей.

Сравнивая K для различных классов деталей, можно судить о пригодности их к автоматической загрузке.

Коэффициент отдачи K колеблется в пределах 0,2...0,9. При автоматической загрузке лучшим будет $K = 0,8$.

2.2.3. Классификация деталей по группам и определение разброса размеров базовых поверхностей

Как уже отмечалось, в мелкосерийном производстве объем партий мал, поэтому в этом случае следует использовать метод групповой обработки деталей. Детали объединяются в группу из условия близости размеров базовых поверхностей, с тем чтобы обеспечить минимум затрат времени на переналадку оборудования ГПМ при переходе от обработки одной детали к другой.

При закреплении детали в патрон базовые поверхности характеризуются: диаметром закрепления, шириной закрепления, шириной упорного пояса. Базовые поверхности под схват характеризуются диаметром захвата, шириной захвата, величиной снимаемого припуска, изменением ширины захвата.

Характеристики базовых поверхностей всей группы деталей следует свести в таблицы. Последние дадут возможность подобрать патрон и схват.

2.3. СОСТАВЛЕНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ ГПМ

Проведя конструктивно-технологический анализ группы обрабатываемых деталей, а также анализ размеров и компоновки основного оборудования, можно прикинуть состав будущего ГПМ, обеспеч-

печивающий автоматический цикл обработки деталей на данной операции, и грубо определить взаимное расположение его отдельных устройств (рис. 6).

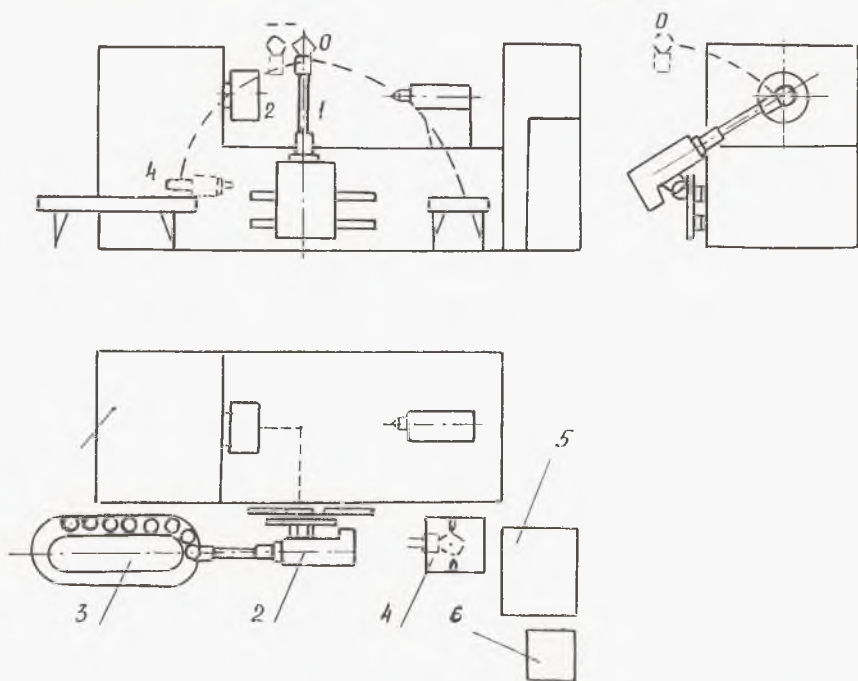


Рис. 6. Компоновочная схема ГПМ: 1 — основное оборудование, 2 — ПР, 3 — загрузочно-приемное устройство, 4 — приспособление контроля качества изделия, 5 — система управления основным оборудованием, 6 — система управления ГПМ

На компоновочной схеме основное оборудование следует вычертить в масштабе, выбрать позицию загрузки детали, ее пространственное положение и траекторию загрузки. Позицию загрузки и пространственное расположение детали следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить минимальное количество команд и движений загрузочному роботу.

Компоновочная схема позволяет ориентировочно определить потребное количество степеней подвижности роботов, размеры зоны обслуживания, вид управления и объем программы.

Эта информация и характеристики деталей позволяют сформировать требования к ПР (табл. 3).

Таблица 3
Требования к ПР

| Наименование параметров | Требуемые величины параметров | Параметры, характерные для конкурирующих вариантов ПР | | |
|---|-------------------------------|---|--------------------|------------------|
| | | ПР1 | ПР2 | ПР3 |
| Конструктивное исполнение и марка | Напольный или порталый | Напольный «Циклон-5.01» | Портальный «Пирин» | Напольный «Бриг» |
| Грузоподъемность (включая массу захвата) | до 5 кг | 5 кг | 40 кг | 10 кг |
| Количество степеней подвижности | 3 | 4 | 4 | 4 |
| Максимальное удаление захвата от центра поворота ПР | 1,5 м | 1,6 м | — | 0,8 м |
| Размеры рабочей зоны | 0,8 м | 0,6 м | 6 м | 0,5 м |
| Поворот и перемещение захвата | Не требуется | — | — | — |
| Погрешность позиционирования | 0,5 мм | 0,5 мм | 1 мм | 1 мм |
| Вид управления | Цикловой | Цикловой | Цикловой | Цикловой |
| Объем программы (число шагов программы) | 20 команд | 99 команд | 30 команд | 30 команд |

2.4. ВЫБОР ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Выбор ПР осуществляется путем сравнения требуемых характеристик (табл. 3) и характеристик ПР [11, 18/].

Начальную выборку следует осуществлять по грузоподъемности, конструктивному исполнению, числу степеней подвижности и габаритам ПР.

Выбранные в каталоге [18] модели ПР проверяются на возможность их приобретения.

Анализ конкурирующих ПР позволит найти наиболее рациональный вариант компоновки проектируемого ГПМ и сделать окончательный выбор модели (см. п. 2.10).

Следующим этапом проектирования ГПМ является выбор типа захватов.

2.5. ВЫБОР ТИПА ЗАХВАТОВ ПР

На основе данных, полученных в процессе анализа номенклатуры и программы выпуска изделий, выбирают несколько конкурирующих типов захватов промышленного робота. При выборе необхо-

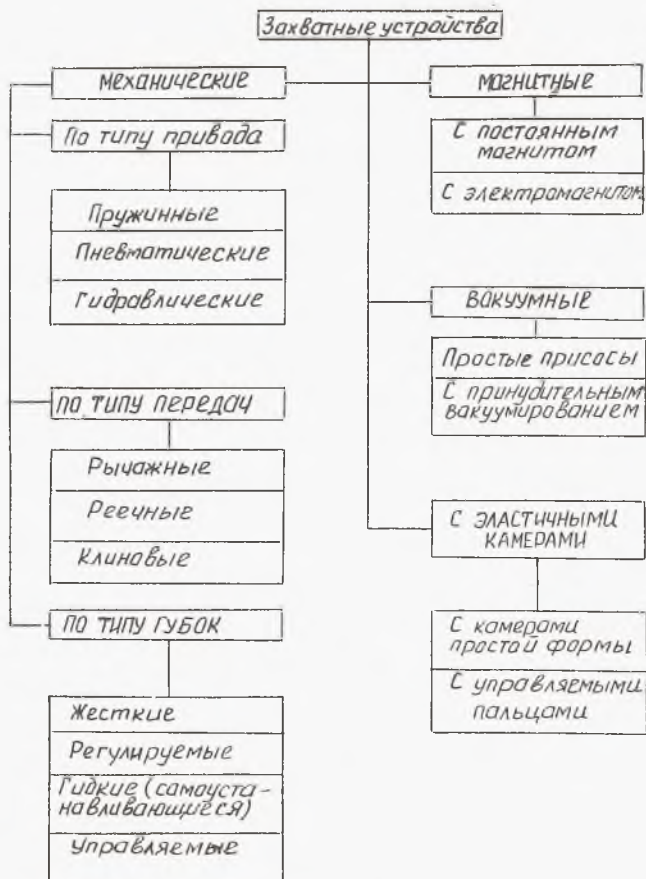


Рис. 7. Классификатор захватных устройств

димо учитывать свойства детали, процесс захвата и удержания, структурно-функциональную характеристику и конструктивную базу захватного органа, которые тесно связаны со свойствами деталей. Рекомендации по способу захвата деталей общемашиностроительного применения можно найти в работах [11, 17, 19]. Классификатор захватных устройств приведен на рис. 7.

Тела вращения целесообразно перемещать с помощью механического рычажного или кантового (рис. 8), механического пружинного либо многозвенного (рис. 9) захвата. Для плоских деталей типа «колец» можно применять струйные захваты (рис. 10).

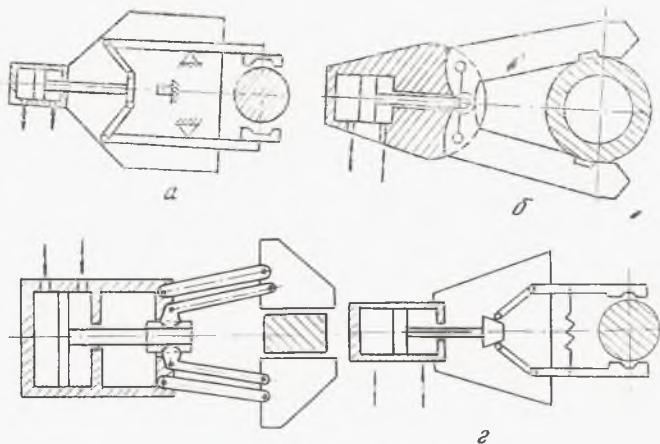


Рис. 8. Механические захватные устройства: а — рычажный; б — кулачково-рычажный; в — реечно-рычажный; г — клино-рычажный

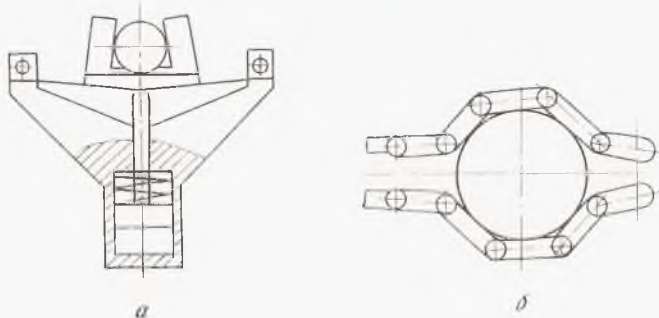
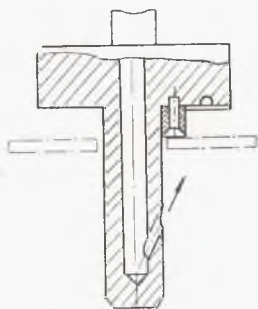


Рис. 9. Механические захватные устройства (пальцевые): а — пружинные; б — многозвенные

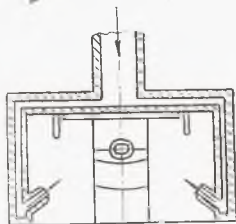
Одновременно решается задача ориентирования детали относительно захватного органа.

Как известно, наибольшее усилие можно получить, применив гидравлический привод, а наибольшее быстродействие — применив пневматический или электромагнитный привод. Когда необходимо управлять усилием захвата, целесообразно применять пневматический привод.

Чтобы правильно выбрать конструкцию захватного органа робота, необходимо учитывать материал деталей. Так, для хрупких деталей целесообразно применять эластично охватывающие устройства (рис. 11). Использование магнитных свойств материала

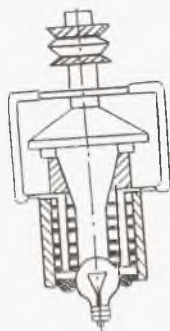


a

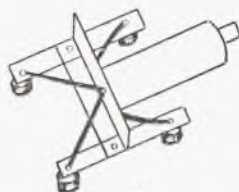


б

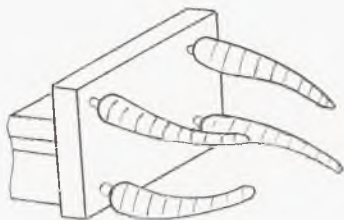
Рис. 10. Струйные захватные устройства: *a* — со стержневым накопителем для плоских деталей со сквозным отверстием; *б* — с шахтным накопителем для плоских деталей произвольной формы



a

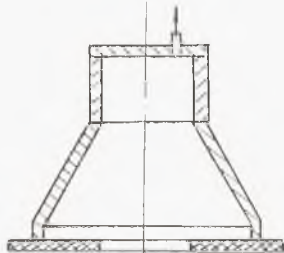


a



б

Рис. 11. Эластично охватывающие захватные устройства для хрупких легкодеформируемых деталей (объемных): *a* — эластичный с силораспределяющим наполнителем; *б* — эластичный пальцевый



б

Рис. 12. Электромагнитные и вакуумные захватные устройства: *a* — плоский электромагнитный для ферромагнитных деталей; *б* — вакуумный захват

деталей позволяет производить захват или удержание и перемещение объектов в пространстве. Детали с небольшой массой захватывают с помощью вакуумных захватов (рис. 12). Грузоподъемность вакуумных захватов зависит от размеров присоски и величины разряжения.

Затем необходимо подобрать недостающее вспомогательное оборудование.

2.6. ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

а) по способу сосредоточения запаса штучных заготовок:



б) по принципу действия:



в) по принципу перемещения заготовок:

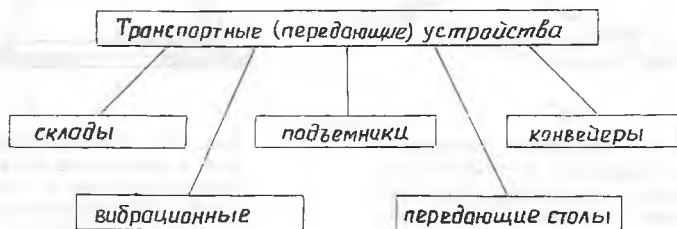


Рис. 13. Классификация вспомогательного оборудования

Как уже отмечалось, к вспомогательным устройствам ГПМ относятся накопительные, подающие и транспортные устройства. Они служат для создания задела заготовок на рабочем месте, их транспортирования и поштучной выдачи в строго ориентированном положении на начальную позицию захвата. Конструкция и принцип работы устройств определяются типом заготовок, видом обработки и особенностями рабочего пространства оборудования, к которому устанавливаются устройства.

Классификация перечисленного вспомогательного оборудования приведена на рис. 13. Более подробное его описание см. в работах /20, 21/.

Отечественная промышленность практически не выпускает серийно изготавливаемых образцов захватов и вспомогательного оборудования. Поэтому они в настоящее время проектируются и изготавливаются силами самого предприятия.

Прежде чем приступить к выбору конкурирующих типов накопительных устройств, следует определить количество деталей, изготавливаемых на ГПМ за одну смену, и занимаемый ими объем.

После выбора ПР, определения типа захвата и вспомогательного оборудования можно провести уточненное проектирование ГПМ, построить циклограмму его работы, оценить надежность.

2.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА КОНТРОЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И СОСТАВЛЕНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ГПМ

ГПМ — автономно действующая совокупность технологических средств производства, обеспечивающая полностью автоматизированный цикл работы комплекса. Для обеспечения автономного автоматизированного цикла работы ГПМ и служит система автоматического контроля. Она должна выполнять следующие задачи: обеспечивать бесперебойность рабочих операций и качество продукции; предотвращать неполадки, вызванные помехами, сбоями, отказами отдельных элементов ГПМ.

Выполнение этих задач обеспечивают подсистемы: контроля обрабатываемых деталей; контроля инструмента; контроля производственного процесса.

Контроль обрабатываемых деталей служит для обеспечения бесперебойного процесса работы ГПМ и может включать контроль: установки детали на спутнике, на палете; установки спутника или палеты, распределения припусков, твердости детали, установки детали в патроне; качества поверхности обрабатываемой детали; формы, размеров, допусков.

Контролю инструмента, несомненно, следует уделять наибольшее внимание, так как большая нестабильность стойкости инстру-

мента в автоматическом режиме обработки детали ведет к браку и всевозможным поломкам.

К отклонениям от нормального процесса резания можно отнести: износ нормальный и преждевременный; вибрации, прилипание стружки, путаная стружка; выламывание кромки и полный излом; ошибочная установка инструмента, ошибочные размеры инстру-

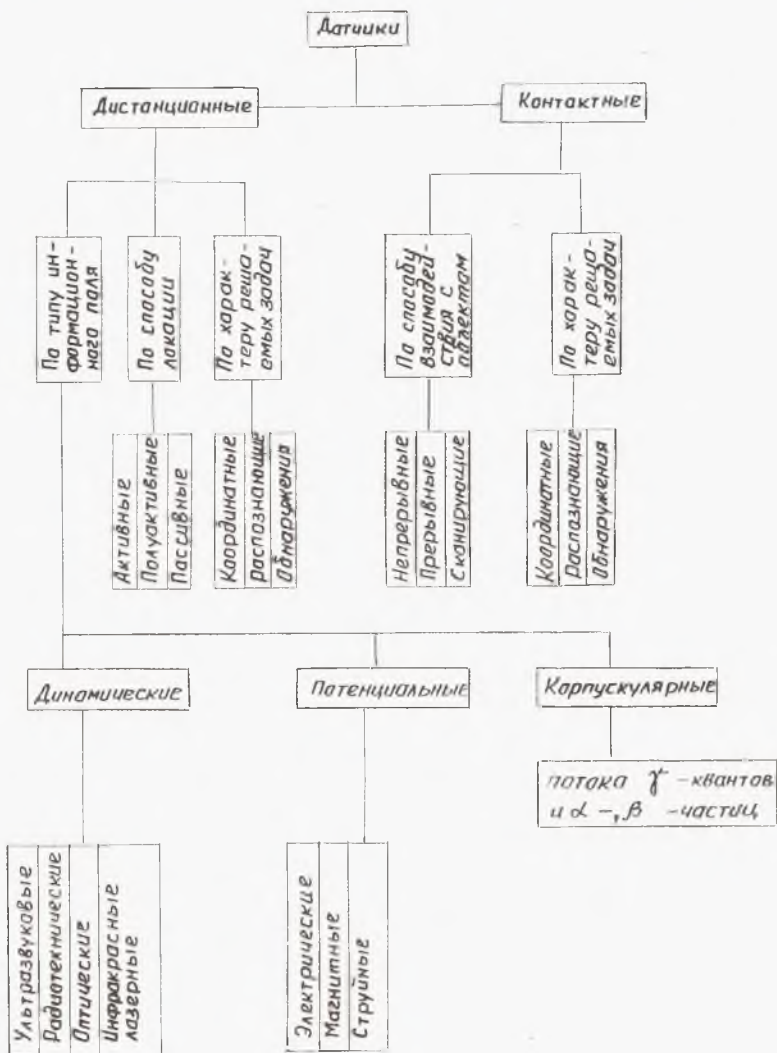


Рис. 14. Классификация датчиков

мента, установка не того инструмента; ошибочная установка режима резания.

Перечисленные отклонения во время обработки можно контролировать: по нагрузке на шпинделе, измеряя ток двигателя или непосредственно силу резания силовыми измерительными подшипниками; по нагрузке на инструментальном блоке; по температуре в зоне резания; по «визгу» — акустическими датчиками; по отсчету времени работы инструмента и сравнению с нормативными периодами стойкости.

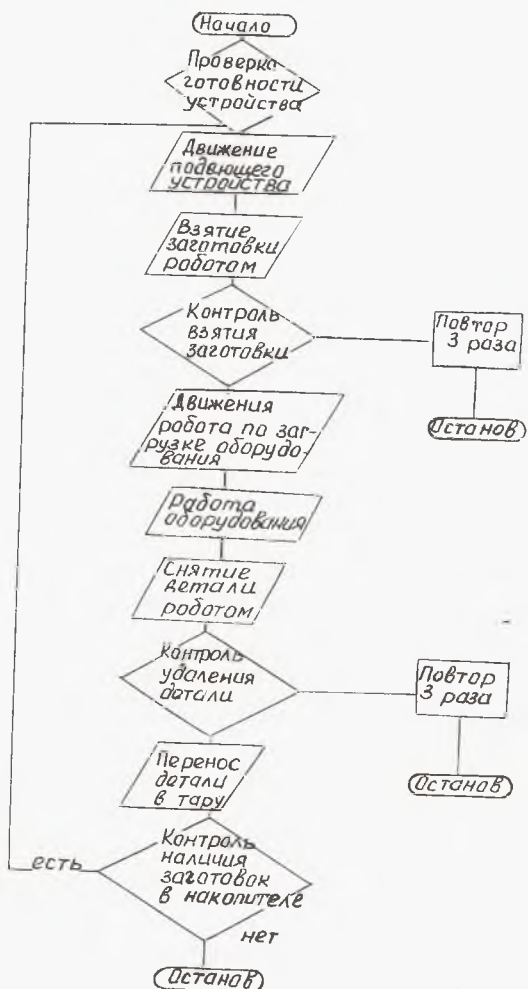


Рис. 15. Блок-схема алгоритма управления ГПМ

Контроль инструмента вне обработки можно осуществлять: измерительными щупами; оптической идентификацией; индукционной идентификацией; измерением напряжения поля между двумя стационарными электродами.

К автоматическому контролю производственного процесса относятся: контроль наличия заготовки, инструмента, программ управления; диагностика; идентификация сбоев; коррекция, аварийные остановки.

При проектировании ГПМ следует помнить, что чрезмерное усложнение систем ГПМ, в том числе и системы контроля, ведет к снижению общей надежности ГПМ. Поэтому при проектировании следует стремиться к простым конструктивным решениям и минимуму контролируемых параметров.

Информационная система ГПМ должна обеспечивать сбор информации о состоянии внешней среды (о положении и ориентации деталей о расположении препятствий, о наличии человека в рабочей зоне ГПМ и т. п.), о состоянии элементов ГПМ (деталь в захвате, в накопительно-ориентирующем устройстве, операция подачи детали в рабочую зону выполнена, деталь в патроне, обработка закончена, деталь подана на контрольную позицию, резец исправен и т. д.), преобразование информации в кодовый сигнал и передачу информационных сигналов в систему управления.

Сбор информации о состоянии среды и элементов ГПМ производится датчиками. Одна из возможных классификаций датчиков приведена на рис. 14. Более подробно со средствами сбора информации можно ознакомиться в работах /11, 22/.

Информация о состоянии среды и элементов ГПМ используется в системе управления ГПМ для формирования управляющих команд на выполнение программы работы ГПМ (последовательности действий элементов ГПМ), а также для осуществления контроля диагностики остановки работы ГПМ.

Проанализировав последовательность выполнения действий, необходимых для автоматической работы ГПМ, и определив состав контролируемых параметров информационной системы, следует составить блок-схему алгоритма управления ГПМ (рис. 15).

2.8. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ГПМ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА ОБРАБОТКИ

При проектировании компоновки ГПМ необходимо учитывать следующие факторы:

производительность ГПМ должна быть максимальной (время цикла работы ГПМ минимально);

занимаемая ГПМ площадь — минимальной;

надежность (вероятность безотказной работы) должна быть максимальной (чем проще структура ГПМ, тем надежнее его работа);

доступ к оборудованию должен быть максимально возможным.

Время цикла обработки детали на ГПМ определяется из циклограммы. Для построения циклограммы необходимо выписать перечень всех элементов цикла работы ГПМ и определить время выполнения каждого элемента цикла.

Например, пусть перечень этапов работы ГПМ будет следующим:

1. Начало цикла — выдвижение руки робота — 1 с.
2. Захват детали — 1 с.
3. Поворот руки робота и установка детали в патрон — 1 с.
4. Зажим детали в цанговом патроне — 0,5 с.
5. Режим захвата — 1 с.
6. Выдвижение руки ПР и ее поворот — 1 с.
7. Ускоренный подвод резца — 1 с.
8. Обработка детали — 30 с.
9. Ускоренный отвод резца — 1 с.
10. Поворот руки робота с выдвижением — 1 с.
11. Захват детали — 1 с.
12. Разжим цангового патрона — 1 с.
13. Поворот руки с выдвижением — 1 с.
14. Конец цикла — разжим захвата ПР — 1 с.

Циклограмма такой работы изображена на рис. 16.

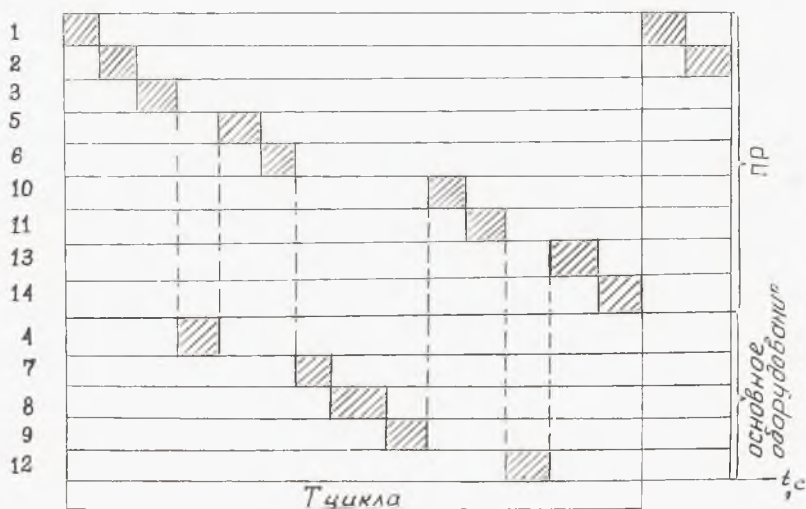


Рис. 16. Циклограмма работы ГПМ

2.9. ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ КОМПОНОВКИ ГПМ И НАДЕЖНОСТИ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Пригодность компоновки ГПМ оценивает сам разработчик, анализируя рациональность и простоту полученной структуры ГПМ. Пригодность компоновки определяется не противоречивостью принятых решений и функциональной полнотой выполнения всех технологических операций в автоматическом режиме, а надежностью ГПМ.

Вопрос обеспечения эксплуатационной надежности ГПМ (возможности выполнения ГПМ заданных функций длительное время) является чрезвычайно важным, поскольку ГПМ — автономно функционирующая система.

Однако вопрос определения расчетной надежности ГПМ на этапе проектирования весьма сложен (с методикой расчета надежности можно ознакомиться в работах /22, 23/) и выходит за рамки объекта данного пособия. Поэтому ограничимся некоторыми общими замечаниями.

При проектировании ГПМ следует избегать сложных конструктивных решений, а также решений, функциональная надежность которых вызывает сомнение.

Элементы ГПМ считаются надежными, если они обеспечивают наработку на отказ порядка 2000 часов, что соответствует вероятности безотказной работы в течение месяца $P = 0,923$.

Варианты компоновки ГПМ, обеспечивающие необходимую надежность функционирования модуля в автоматическом режиме, накапливаются разработчиком для их дальнейшего анализа и выбора лучшего варианта.

2.10. СРАВНЕНИЕ КОНКУРИРУЮЩИХ ВАРИАНТОВ КОМПОНОВКИ ГПМ И ВЫБОР ЛУЧШЕГО ИЗ НИХ

Оценка вариантов компоновки может быть качественной и количественной.

Количественную оценку выбора компоновки ГПМ можно провести по балльной системе /9/. Для этого составляется перечень критериев: стоимость ПР, производственные расходы на ПР, годовые затраты на техническое обслуживание ПР, минимальное время цикла, коэффициент использования ПР, возможность переналадки. В случае необходимости этот перечень может быть расширен.

Первые три критерия оцениваются непосредственно в денежном выражении; коэффициент использования является вероятностной величиной, определяется за достаточно большой отрезок времени и равен отношению чистого рабочего времени к сумме

рабочего и затраченного на техническое обслуживание и ремонт времени (так как эта характеристика не ясна к моменту вложения капиталов в оцениваемое предприятие, используются лишь сравнительные характеристики: «высоко», «средне» и «низко»). Возможность переналадки, являющаяся мерилom «гибкости» ПР, рассчитывается так:

$$j = K_0 / K_{\text{пр}},$$

где K_0 — затраты на переналадку устройства, с которым сравниваются ПР;

$K_{\text{пр}}$ — затраты на переналадку ПР.

Для удобства сравнения все перечисленные критерии оцениваются по десятибалльной системе. Оценка дается специалистами субъективно. Пояснить сказанное можно кратким примером (табл. 4) для РМ, которое имеет четко зафиксированные места для оборудования и требует ПР с характеристиками: нагрузка ≥ 20 кг, погрешность позиционирования $\leq \pm 20$ мм, число шагов программы > 50 .

Т а б л и ц а 4

| Параметры | ПР1 | Баллы | ПР2 | Баллы | ПР3 | Баллы |
|--|---------|-------|---------|-------|--------|-------|
| 1. Стоимость, руб. | 16000 | 7 | 15000 | 8 | 18000 | 5 |
| 2. Производственные расходы, руб. | 0,18 | 7 | 0,17 | 8 | 0,17 | 8 |
| 3. Затраты на техническое обслуживание, руб. | 420 | 8 | 540 | 6 | 560 | 6 |
| 4. Минимальное время цикла, с | 28 | 8 | 32 | 6 | 32 | 6 |
| 5. Возможность переналадки | 0,27 | 3 | 0,14 | 1 | 0,76 | 8 |
| 6. Коэффициент использования, % | высокий | 8 | средний | 5 | низкий | 3 |

Все шесть критериев разбиты на три ступени по их важности, весомости при оценке. Критерии 1, 4, 6 получают оценку 3; критерий 5 — 2; критерии 3, 2 — 1. Общая оценка баллов данного ПР определяется как $(B_1 + B_4 + B_6) \cdot 3 + B_5 \cdot 2 + (B_3 + B_2) \cdot 1$, тогда ПР 1 имеют оценку 85, ПР 2 — 69, ПР 3 — 81 при максимальной оценке 130 баллов.

На основе полученных оценок делается вывод, что лучшим будет вариант компоновки ГПМ с ПР 1.

Качественную оценку целесообразно давать коллегиально с привлечением специалистов того цеха, в котором предполагается внедрение проектируемого ГПМ. Это позволит учесть частные особенности данного цехового производства, пожелания цеховых специалистов, что должно облегчить процесс внедрения.

2.11. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ

Расчет экономической эффективности выбранного варианта компоновки ГПМ проводится для определения целесообразности дальнейшего рабочего проектирования, создания и внедрения ГПМ в производство.

Для расчета экономической эффективности используется методика /2/, согласно которой годовой экономический эффект определяется по формуле

$$\Delta_{\Gamma} = (C_1 + E_{\text{н}} K_1) - (C_2 + E_{\text{н}} K_2) + \Delta_{\text{с.д.}},$$

где $C_1 + E_{\text{н}} K_1$ — приведенные затраты по базовому варианту,
 $C_2 + E_{\text{н}} K_2$ — приведенные затраты по новому варианту,
 $\Delta_{\text{с.д.}}$ — дополнительный социально-экономический эффект.

Экономия достигается за счет повышения производительности труда, сокращения количества основного оборудования и занимаемых им площадей, высвобождения производственных рабочих и пр.

В КуАИ создана программа для ЭВМ по расчету экономической эффективности использования промышленных роботов /24/. Программа позволяет автоматизировать расчеты, повышать их количество, выполнять расчеты с требуемой точностью и видом оформления. Для сокращения времени подготовки исходных данных, приведения их к виду, удобному для анализа, они разбиваются на четыре группы: общие (отраслевые) данные; данные предприятия; данные существующего техпроцесса; данные проектируемого техпроцесса. Все отраслевые данные и часть данных предприятия уже заложены в программу, поэтому для проведения расчета требуется собрать лишь данные, перечисленные в таблице, приведенной в работе /25/.

Окончательное решение о целесообразности создания ГПМ и внедрения в производство следует принимать на НТС предприятия. При принятии решения следует учитывать, что стоимость создаваемого ГПМ будет очень велика, поэтому он должен эксплуатироваться без простоев в три смены. В противном случае его эксплуатация ничего, кроме убытка, не принесет.

Отсюда вытекает и второе, чрезвычайно важное условие — необходимость реорганизации производства на стыке работы с создаваемым и внедряемым ГПМ с целью его бесперебойного снабжения и загрузки.

Зарубежные специалисты считают, что главная выгода от применения гибких автоматизированных систем состоит не столько в снижении текущих издержек производства, сколько в сокращении циклов, ускорении оборачиваемости капитала, экономии про-

изводственных, складских площадей и запасов и, как результат, — увеличении прибыли именно за счет этих факторов.

Поэтому внедрять ГПМ надо не единично, а участками, обеспечив автоматизацию всех сопутствующих производственных процессов: от автоматизации технологической подготовки производства, включая и подготовку управляющих программ для УЧПУ, до автоматизации учета хранения заготовок, их доставки к ГПМ, оперативного планирования и управления производством.

Только организационная перестройка всего производства, полная загрузка, строжайшая дисциплина внешних и внутренних поставок могут оправдать большие затраты, обеспечить рост выпуска продукции, повысить фондоотдачу и обеспечить снижение себестоимости продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ленин В. И. Великий почин. — Полн. собр. соч., т. 39, с. 5—29.
2. Захаров А. В. Решение организационно-экономических проблем предприятия посредством создания гибких автоматизированных производств. — Вопросы специального машиностроения, 1984, № 2.
3. Митрофанов С. П. Научная организация машиностроительного производства. — Л.: Машиностроение, 1976.
4. Козырев Ю. Г. Проблемы создания гибких автоматизированных производств в машиностроении. — М.: НИИМаш, 1984.
5. Беляниц П. П. Гибкие производственные комплексы. — М.: Машиностроение, 1984.
6. Майоров С. А. Гибкое автоматическое производство. — Л.: Машиностроение, 1985.
7. Правила выбора объектов роботизации: Методические указания РД 50-357-82. — М.: Стандарты, 1983.
8. Определение экономической эффективности промышленных роботов: Методические рекомендации / Сост. Ю. Г. Козырев, Н. В. Тарасевич, Р. Е. Говисевич / и др. — М.: ЭНИМС, 1978. — 88 с.
9. Вечтомова Д. Г. Подготовка производства к внедрению промышленных роботов (зарубежные методы): Обзор. — М.: НИИМаш, 1982. — 36 с.
10. Козырев Ю. Г. Промышленные роботы: Справочник. — М.: Машиностроение, 1983. — 376 с.
11. Шманев В. А., Захаров В. А. Технология двигателей летательных аппаратов: Учебное пособие. — Куйбышев: КуАИ, 1980. — 81 с.
12. Митрофанов С. П. Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х тт. — Л.: Машиностроение, 1983, т. 1 — 407 с., т. 2 — 376 с.
13. Елисеев С. В., Ченских В. Р., Хвоцевский Г. Н. Промышленные роботы. Некоторые проблемы внедрения. — Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1982. — 362 с.
14. Кошкин Л. Н. Комплексная автоматизация производства на базе роторных линий. — М.: Машиностроение, 1982.
15. Лебедевский М. С., Федотов А. И. Амортизация в промышленности: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1976.
16. Научные основы автоматической сборки машин / Под ред. Н. П. Нозикова. — М.: Машиностроение, 1976.
17. Ямпольский Л. С., Ткач М. М. Технологический анализ роботизированного производства. — Киев: Изд-во общества «Знание» УССР, 1983. — 48 с.

18. Современные промышленные роботы: Каталог/Под ред. Ю. Г. Козырева, Я. А. Шифрина. — М.: Машиностроение, 1984. — 415 с.
19. Захватные устройства промышленных роботов: Методические рекомендации. — М.: ЭНИМС, 1982. — 55 с.
20. Тегран В. С., Андреев И. Б., Либерман Б. С. Основы автоматизации производства. — М.: Машиностроение, 1982. — 269 с.
21. Дудников В. Т. Механизмы предварительной ориентации и промышленные роботы в авиастроении. — Куйбышев: КуАИ, 1983. — 64 с.
22. Справочник проектировщика АСУ ТП/Под ред. Г. П. Смелянского. — М.: Машиностроение, 1983. — 527 с.
23. Дружинин Е. В. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. — М.: Энергия, 1976. — 448 с.
24. Герасимов Н. В. и др. Экономический анализ вариантов ГПС. — Куйбышев: КуАИ, 1986. — 24 с.
25. Герасимов Н. В. Проектирование гибких роботизированных производственных модулей. — Куйбышев: КуАИ, 1985. — 39 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1. ГИБКАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА | 7 |
| 1.1. Особенности производства современных ГТД. Пути его интенсификации и повышения эффективности | 7 |
| 1.2. Предпосылки нормального функционирования ГАП | 10 |
| 1.3. Структура ГАП и задачи его подсистем | 15 |
| 1.4. Системы автоматизированного контроля и управления ГАП | 19 |
| 1.5. Групповая поточная технология — основа создания и функционирования ГАП | 23 |
| 1.6. Организационные и технологические основы создания ГАП | 25 |
| 2. ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГПМ | 29 |
| 2.1. Предварительный выбор объектов роботизации | 29 |
| 2.2. Подбор номенклатуры деталей | 33 |
| 2.2.1. Программа выпуска и объем партии запуска | 33 |
| 2.2.2. Оценка технологичности детали | 35 |
| 2.2.3. Классификация деталей по группам и определение разброса размеров базовых поверхностей | 36 |
| 2.3. Составление компоновочной схемы ГПМ | 36 |
| 2.4. Выбор промышленных роботов | 38 |
| 2.5. Выбор типа захватов ПР | 38 |
| 2.6. Выбор вспомогательного оборудования | 42 |
| 2.7. Определение состава контрольно-информационной системы и составление алгоритма управления ГПМ | 43 |
| 2.8. Проектирование компоновки ГПМ и определение времени цикла обработки | 46 |
| 2.9. Оценка пригодности компоновки ГПМ и надежности ее функционирования | 48 |
| 2.10. Сравнение конкурирующих вариантов и компоновки ГПМ и выбор лучшего из них | 48 |
| 2.11. Экономическая оценка и окончательное принятие решения | 50 |
| Библиографический список | 51 |