

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

С.Ф. ТЛУСТЕНКО

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОМД

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)» в качестве электронного учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавров 150700 Машиностроение

САМАРА
Издательство СГАУ
2015

УДК 621.77(075) + 004.9(075)

ББК 32.965я7 + 32.965

Т 495

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. каф. ПДЛА СГАУ Г. В. Смирнов,
нач. Поволжского отделения секции прикладных проблем
при президиуме РАН, д-р техн. наук, проф. Г. И. Леонович

Глуштенко С.Ф.

Т495 **Основы автоматизации технологических процессов ОМД** [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / С.Ф. Глуштенко. – Электрон. текстовые и граф. данные (0,87 Мб). – Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-5-7883-1043-5

Изложены основные понятия теории и практики различных видов и уровней автоматизации процессов обработки металлов давлением (ОМД), включая комплексную автоматизацию на базе роботизированных комплексов и автоматических линий. Показаны основные подходы к автоматизации как на уровне отдельных единиц оборудования, работающего в автоматическом режиме по единой замкнутой кинематической схеме, так и на качественно более высоком уровне автоматических линий с применением управляющих вычислительных комплексов с адаптивным и интеллектуальным программным обеспечением, что значительно повышает технико-экономическую эффективность производства.

Рассмотрены классификация производства в зависимости от уровня механизации и автоматизации основных и вспомогательных операций (автоматических, автоматизированных (полуавтоматических) и механизированных участков и линий), способы автоматизации выдачи заготовок из питающих устройств, ориентации и подачи на обработку, систему фиксации заготовки на позиции обработки, способы удаления деталей и отходов, методы контроля. Изложены понятия автоматического регулирования и управления технологическими процессами. Приведены необходимые теоретические обоснования и методика выбора схем автоматизации.

Рекомендуется студентам высших учебных заведений. Также может быть полезным для инженерно-технических работников предприятий.

Подготовлено на кафедре «Обработка металлов давлением».

УДК 621.77(075) + 004.9(075)

ББК 32.965я7 + 32.965

ISBN 978-5-7883-1043-5

© СГАУ, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Основные понятия и принципы построения систем автоматизации в машиностроении	5
1.1. Основные понятия автоматизации технологических процессов	5
1.2. Структура АСУ ТП и виды автоматизации технологических процессов	6
1.3. Понятие и значение дифференциации технологических процессов	9
2. Методы моделирования технологических процессов в условиях автоматизации	11
2.1. Методы оценки и выбора математических моделей технологических процессов.....	11
2.2. Общая схема применения методов оптимизации математических моделей технологических систем	14
2.3. Методика моделирования проектов АСУ ТП	17
3. Классификация систем управления в АСУ технологическими системами (технологическими процессами)	22
3.1. Определение основных признаков классификации	22
3.2. Функциональные системы программного управления в АСУ ТП и их характеристики	24
3.3. АСУ ТП с вычислительным комплексом, включающим систему поддержки принятия решений	25
4. Системы автоматического регулирования (САР). Принципы построения и анализ	29
4.1. Основные понятия САР	29
4.2. Классификация систем автоматического регулирования по назначению	30
4.3. Основные задачи и теоретические основы систем автоматического регулирования.....	33
5. Технологические системы производства на базе автоматических комплексов	42
5.1. Автоматические комплексы оборудования с программным управлением для автоматической резки листа на базе ножниц листовых с наклонным ножом. Модели КОН4, КОН5, КОН6	42
5.2. Автоматические ковочные комплексы с программным управлением	45
6. Робототехнические комплексы штамповки из штучных заготовок на базе промышленных роботов	49
6.1. Классификация промышленных роботов	49
6.2. Промышленный робот ПМР-0,5-200КВ	61
6.4. Выбор методов тестирования программ работы роботов в составе РТК или автоматических линий производства	72
7. Связь (синхронизация) работы оборудования и средств автоматизации в структуре автоматических линий и гибких производственных модулей. Циклограммы	75
8. Привод средств автоматизации	76
Библиографический список	78

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в основу понятия автоматизации производства с соответствующими технологическими процессами (ТП) положены следующие дисциплины: теория автоматического регулирования и управления; математическое моделирование технологических процессов и производств; математическое обеспечение автоматических систем управления (АСУ); основы информатики и информационные системы; основы построения автоматизированных систем управления производством (АСУП) и технологическими процессами (АСУ ТП); математическое программирование; исследование операций; информационные технологии в системах управления. Одной из основных целей автоматизации является создание технологических комплексов на базе автоматических линий на принципиально новом качественном уровне построения и исполнения технологических процессов по заданной программе без непосредственного участия человека-оператора. Эффективность автоматизации постоянно повышается как за счёт создания технических средств (основное и вспомогательное технологическое оборудование, технические средства контроля, регулирования и управления, так и за счёт совершенствования систем числового программного управления, контроллеров и ЭВМ.

Все возрастающее значение приобретают новые математические модели производства в условиях автоматизации, позволяющие автоматизировать технологические процессы на базе современного оборудования с числовым программным управлением. В учебном пособии приведены основные необходимые теоретические сведения и обоснования методик выбора схем автоматизации технологических процессов в машиностроении.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

1.1. Основные понятия автоматизации технологических процессов

Автоматизация – одно из направлений научно-технического прогресса, которое находит выражение в применении систем автоматического регулирования и управления сложными техническими системами и устройствами, математических методов моделирования производственно-технологических систем и систем управления, освобождающих человека полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации. Создаются всё более совершенные технические средства и устройства контроля и обработки информации на базе электронной техники и математических методов вычислений, в том числе на уровне адаптации и выполнения интеллектуальных процессов.

Следовательно, в машиностроении можно выделить два основных направления автоматизации:

- автоматизация производства на уровне автоматизированных систем управления предприятием (АСУП);

- автоматизация непосредственно технологических процессов производства (АСУ ТП) при реализации определенной совокупности методов и средств, предназначенных для выполнения технологических переходов и операций в структуре конкретной технологической системы или комплекса систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека. При этом основными целями автоматизации технологического процесса являются повышение эффективности производственного процесса и безопасности производства.

Указанные цели достигаются посредством решения следующих задач в условиях автоматизации технологического процесса:

- улучшения качества регулирования и управления;

- повышения коэффициента готовности оборудования;
- роста производительности труда и повышения качества продукции.

Решение задач автоматизации технологического процесса осуществляется при помощи:

- развития и внедрения современных методов автоматизации;
- повышения научно-технического уровня современных средств автоматизации.

1.2. Структура АСУ ТП и виды автоматизации технологических процессов

Современное производство и АСУ ТП состоят из отдельных специализированных структурных и функциональных подсистем с базами данных и программным обеспечением, которое постоянно обновляется и совершенствуется. Структурно первичной ячейкой в АСУ ТП является система автоматизации технологических процессов в рамках одного производственного процесса, что позволяет создать единую основу для внедрения систем управления конкретным производством и предприятием в целом.

В прикладном представлении АСУ ТП различают следующие виды автоматизации технологических процессов:

- автоматизация непрерывных технологических процессов (*Process Automation*);
- автоматизация дискретных технологических процессов (*Factory Automation*);
- автоматизация гибридных технологических процессов (*Hybrid Automation*).

Это обусловлено необходимостью проведения различных видов технологической подготовки производства, которая включает унификацию, типизацию и группирование технологических процессов по технологии, оснастке, оборудованию в условиях унификации, стандар-

тизации, нормализации конструкции и типоразмеров деталей и изделий, что обеспечивает разработку более технологичных схем типовых и групповых технологических процессов.

В условиях серийного, крупносерийного и массового производства эффективность автоматизации значительно повышается, так как повышается коэффициент загрузки оборудования и расширяются возможности построения поточных автоматизированных линий производства. Также качественно изменяются условия реконструкции и модернизации производства и оборудования, исполнения технологических процессов, внедрения комплексной механизации и автоматизации.

Процессы механизации и автоматизации производства существенно изменяют содержание производственных процессов как в отношении условий их выполнения, так и по характеру воздействия на изделие. Обеспечивается возможность автоматизированного проектирования технологических процессов или отдельных операций, или принципов управления ими (расчета и выбора оптимальных режимов обработки по основным технико-экономическим показателям производительности, – себестоимости, приведенным затратам, сроку окупаемости капиталовложений и др.).

Показатели уровня механизации и автоматизации:

$$A_{ам1} = \sum T_{мех.авт.} / \sum T_{шт}$$

и, соответственно,

$$A_{ам2} = (\sum T_{мех.авт.} + \sum T_{мп}) / \sum T_{шт}$$

где $A_{ам1}$ – показатель при учёте только штучного и машинно-автоматического времени; $A_{ам2}$ – показатель при учёте штучного, машинно-автоматического и машинно-ручного времени. $T_{мех.авт.}$ – сумма машинно-автоматического времени, затрачиваемого на всех технологических и контрольно-испытательных операциях, выполняемых на автоматической линии; $T_{мп}$ – сумма машинно-ручного времени, затрачиваемого на всех операциях, выполняемых на линии; $T_{шт}$ – сумма штучного времени на переход или операцию на той же линии. Механизация (рис. 1.1) и автоматизация (рис. 1.2) производственно-технологических

процессов должны рассматриваться как с точки зрения совершенствования оборудования, технологического оснащения и качества процесса, так и с точки зрения обеспечения технико-экономической эффективности.

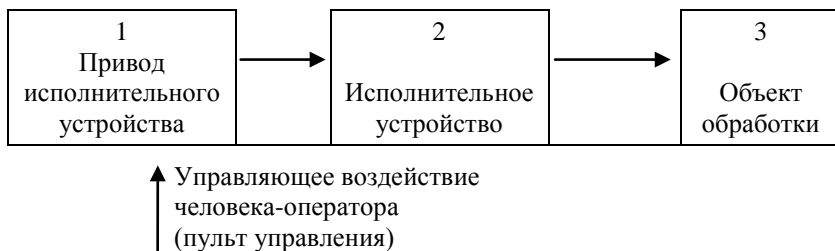


Рис. 1.1. Схема механизированного производства

Функции человека в механизированном производстве – непосредственное управление механизмами и устройствами (средствами механизации) при выполнении производственно-технологических процессов.

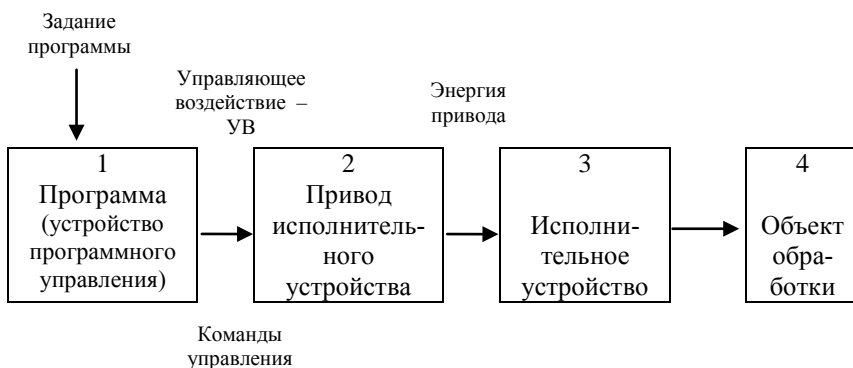


Рис. 1.2. Схема автоматического производства

Функции человека в автоматическом производстве – задание программы и контроль ее выполнения.

1.3. Понятие и значение дифференциации технологических процессов

Существенное влияние на повышение производительности труда в условиях автоматизации оказывают дифференциация технологических процессов (ТП), специализация участков и рабочих мест, унификация деталей и преемственность их конструкции.

1. Под дифференциацией технологического процесса понимается расчленение его на операции, а операций – на переходы и приемы. Дифференциация процесса позволяет определить возможность выполнения его за некоторое количество операций, переходов, приемов.

При расчленении процесса с целью автоматизации исполнения содержание операции формально делится на специфические составные элементы, сложные операции и переходы, наиболее приемлемые для условий автоматизации. При обработке деталей и сборке изделий дифференциация процесса приводит к возможности использования простого оборудования, организации сборочного потока с дискретной автоматизацией процессов и значительному сокращению объема простых ручных операций сборки.

Степень дифференциации технологического процесса определяется особенностями конструкции изделия, технологии и организации производства.

2. Унификация деталей и преемственность их конструкции создают условия для повышения гибкости автоматических линий, а требования по качеству в большинстве случаев ведут к необходимости автоматизации процессов на основе использования механизированного или автоматизированного оборудования, что снижает погрешности обработки. Типовые технологические процессы обычно строятся на основе операций, выполняемых на автоматизированном оборудовании. Групповые процессы в значительной степени дифференцированы по операциям при совмещении переходов. Такая классификация дает возможность создавать высокопроизводительные автоматические линии для изготовления большой номенклатуры деталей, входящих в типовую

группу, даже при различиях в последовательности технологических операций и переходов для каждой из деталей. Групповые процессы обработки требуют, как правило, значительных затрат на технологическое оборудование и оснащение, что является экономически оправданным при крупносерийном и массовом производствах. При поточном производстве его дифференциация определяется в основном ритмом и может осуществляться на базе как ручного, так и автоматизированного труда.

В условиях поточного автоматизированного производства дифференциация процессов может решаться как в пределах одной линии, так и при организации нескольких параллельных поточных линий для выпуска одного и того же вида и количества продукции, что и на одной поточной линии. Следовательно, необходимо дать оценку варианта автоматизации в системе АСУ ТП на базе оптимальной математической модели.

2. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1. Методы оценки и выбора математических моделей технологических процессов

Основные типы моделей ТП:

- алгоритмические;
- градиентные;
- линейные;
- нелинейные;
- целочисленные;
- динамические;
- аналитические (в виде функций и формул).

Характерной особенностью систем автоматизации технологических процессов является эффективность применения статистического моделирования с последующим математическим программированием на основе базовых алгоритмов для ЭВМ.

Многообразие видов математических моделей автоматизированных технологических систем (ММАТС) и широкая область их применения отражаются и в различии методов их оценки и выбора для конкретных процессов в машиностроении и ОМД, а также последующей оптимизации для обеспечения наиболее высокой эффективности. При этом целью оптимизации является выделение из рассматриваемого множества единственного варианта ТС, оптимальной по некоторому результирующему критерию или нескольким критериям качества. Сравнение ТС между собой по нескольким критериям качества однозначно можно осуществить с помощью принципа Парето. Согласно этому принципу одна система лучше другой, если соответствующие ей критерии качества имеют значения не хуже критериев качества сравниваемой системы. Причем хотя бы один из них должен быть лучше соответствующего критерия другой системы. Принцип Парето позволяет упорядочить множество рассматриваемых систем и выделить в нем не-

которое подмножество, внутри которого сравнение систем по указанному принципу уже невозможно. В тех случаях, когда нецелесообразно сужать поле поиска и вместе с тем необходимо отбросить неоптимальные системы, требуется построение конкретной процедуры реализации принципа Парето. Ее можно сформулировать как задачу оптимизации по одному из критериев качества, когда остальные критерии включены в разряд ограничений.

Выбор единственной оптимальной системы возможен далее только путем введения результирующего критерия, а полученные уравнения могут использоваться при этом как дополнительные ограничения. Рассмотренный вариант реализации принципа Парето является задачей многокритериальной оптимизации, которая практически сводится к однокритериальной. Однако методы однокритериальной оптимизации имеют фундаментальное значение для проблемы оптимизации вариантов автоматизированных технологических систем (ТС). Ввиду сложности современных ТС задача полной оптимизации разделяется на ряд подзадач. В первую очередь это задачи оптимизации составляющих функциональных модулей ТС, а затем решение задачи оптимизации всей системы по частным критериям или по некоторому результирующему критерию. Так как модули ТС могут быть достаточно информативно описаны математически, то их оптимизация может быть осуществлена аналитическими методами. Например, на основе методов множителей Лагранжа, геометрического программирования, градиентного метода оптимизации.

При градиентном методе оптимизации и его обобщениях используются свойства градиента по определению быть направленным в сторону максимального возрастания функции качества. Поэтому, если нет ограничений на условия решения задачи, алгоритм сводится к генерированию новых значений исходя из предыдущих с помощью следующего соотношения:

$$\bar{x}^{n+1} = \bar{x} - \frac{\lambda \nabla k}{|\nabla k|},$$

где λ – шаг перемещения из \bar{x} в \bar{x}^{n+1} ,

$|\nabla k| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial k}{\partial x_i}\right)^2}$ – приращение значения исследуемого критерия k на

шаге λ из \vec{x} в \vec{x}^{n+1} в сторону, противоположную положительному направлению градиента критерия. Более сложным обобщением градиентного метода является алгоритм переменной метрики. Однако он требует вычисления разностей градиентов в последовательных точках, т.е. учитывает приращения второго порядка и связан с решением систем дифференциальных уравнений.

При переходе к подсистемам более высокого иерархического уровня возможности точного математического моделирования уменьшаются или же построение достаточно точных математических моделей становится настолько сложным, что вышеуказанные методы применить нельзя. В настоящее время, в связи с широким внедрением средств вычислительной техники, получили распространение численные методы оптимизации: метод наискорейшего спуска, метод покоординатного спуска, симплекс-метод, метод линейного программирования, в которых широко используется аппроксимация линейными функциями различных аналитических и экспериментальных зависимостей. Существующие их модификации позволяют решать и задачи параметрического синтеза. Поскольку моделями функционирования большинства ТС являются динамические модели, в которых ТП представляется как некоторый многоэтапный процесс, то наиболее адекватной стратегией их оптимизации является стратегия динамического программирования.

Широко используются некоторые унифицированные аналитические зависимости для представления критериев качества автоматических линий и комплексов, инвариантные относительно метода оптимизации.

2.2. Общая схема применения методов оптимизации математических моделей технологических систем

Следовательно, исходя из общих особенностей АСУ ТС в условиях автоматизации, можно дать некоторую схему применения методов оптимизации и используемых при этом критериев. Любая ТС предполагает пространственно-временную организацию перемещения исходных ресурсов по промежуточным переходам обработки до получения изделия. Ограничения обычно носят характер неравенств, отражающих возможности средств автоматизации и производительности оборудования. Проектирование элементов ТС предполагает использование преимущественно нелинейных ММ и, соответственно, методов нелинейного программирования. В качестве обобщенного критерия здесь выступает производительность, надежность при ограничениях на затраты энергии, материалов, комплектующих. Среди указанных методов в настоящее время широкое распространение получил метод геометрического программирования.

Уникальным свойством геометрического программирования является то, что оптимальное значение критерия вычисляется до получения координат оптимальной точки. Это позволяет построить весьма экономичные вычислительные алгоритмы при сравнении различных параметров ТС и облегчить структурный синтез. После проектирования элементов АСУ ТС осуществляется возврат к оптимизации системы в целом, но уже преследующий совершенно иные цели, чем при использовании метода линейного программирования. Наиболее важным становится оптимальное распределение функций между отдельными элементами ТС. Математическая модель системы на этом этапе уже известна в наиболее законченном виде. Однако ввиду ее сложности, оптимизация на этом этапе встречает трудности вычислительного характера из-за большой размерности задачи. Наиболее важным методом оптимизации на этом этапе является метод динамического программирования.

Использование метода динамического программирования для указанных систем возможно в случае, если критерий качества является

аддитивной функцией управляющих переменных, каждая из которых регулирует процесс на определенном этапе. Оптимальное значение управляющей переменной определяется состоянием системы в начале этого этапа и конечной целью управления и не зависит от эволюции системы на предыдущих этапах. Динамическое программирование не является методом в строгом смысле, а является некоторой общей стратегией, заключающейся в том, что исходная задача становится задачей многоэтапной оптимизации, каждый этап которой, начиная с конечного, использует информацию об оптимальном решении на предыдущем этапе. Эта информация в наиболее явном виде может быть представлена в виде функционального уравнения (функционала), связывающего значение критерия качества на оптимизируемом этапе с оптимальным значением критерия качества на предыдущем этапе. Управляющие переменные могут быть векторными величинами.

Другой трудностью использования динамического программирования является то, что функция качества не является выпуклой функцией и поэтому достигаемый этим методом экстремум не является глобальным. Однако примеры решения задач методом динамического программирования показывают, что полученные решения имеют достаточно хорошее качество.

В ряду методов оптимизации ТС заслуживают упоминания методы наискорейшего спуска и покоординатного спуска. Особую эффективность эти методы имеют в случае имитационного моделирования ТС, применяемого в том случае, если производные критерия качества по управляющим переменным не могут быть выражены из-за сложности ММ в явном виде через управляющие переменные. Направление наискорейшего спуска оценивается по отклику критерия качества на изменения управляющих переменных. Оба указанных метода являются в настоящее время наиболее универсальными численными методами оптимизации и могут быть реализованы в виде конкретных алгоритмов, позволяющих получить локальные, а в случае выпуклости функции качества и глобальные экстремумы.

Метод случайного поиска может быть применен для оптимизации систем большой сложности и большой размерности (т.е. зависящих от большого числа параметров). Для его реализации необходимы достаточно производительные генераторы случайных (псевдослучайных) чисел.

Все эти методы оптимизации используются также в задачах оптимального управления ТП, в частности, в задаче оптимального контроля параметров ТП и качества выпускаемых изделий. Это приводит к задачам линейного и нелинейного, целочисленного программирования. Задача оптимального управления ТП использует сложные динамические модели и требует привлечения самых мощных и универсальных методов оптимизации, среди которых метод случайного поиска зачастую оказывается единственно реализуемым.

Оптимизацию современных АСУ ТС можно рассматривать как некоторый многоэтапный процесс с возможным циклическим повторением этапов, поэтому информационные базы АСУ ТС должны включать все известные методы оптимизации, позволяющие оценить возможности новых проектов ТС и их сравнительную эффективность. Однако проблема разработки универсального математического и программного обеспечения методов оптимизации для современных АСУ ТС в настоящее время весьма актуальна и далека от разрешения. Одним из эффективных подходов является выделение и идентификация одной достаточно четко выраженной цели, степень которой можно оценить на основе одного критерия с использованием методов математического программирования. Например, если цель, а, следовательно, и степень ее достижения могут быть описаны на базе методов теории вероятностей или математической статистики, то используется стохастическое программирование.

Для анализа и синтеза проектов АСУ ТС, оптимизации их структуры и принципов управления широкое распространение получил метод статистического моделирования. Его сущность состоит в создании специального алгоритма, реализация которого на ЭВМ позволяет воспроизвести процесс по элементам с сохранением логической структуры и последовательности протекания процесса.

2.3. Методика моделирования проектов АСУ ТП

В методе статистического моделирования можно выделить четыре этапа.

1. Составление формализованного описания процесса, которое проводится на основе анализа и синтеза его проекта с фиксацией значений параметров количественных характеристик. Формализованное описание позволяет:

- составить ясное представление о физической природе и количественных характеристиках автоматизированного ТП;
- расчленить ТП на отдельные переходы и операции, простейшие элементы, и также определить их показатели, характеристики и параметры;
- составить схему взаимодействия элементов в операции, а операций в ТП;
- определить закономерности изменения показателей процесса при изменении его параметров, например, в виде таблиц и графиков;
- сформулировать постановку задачи, задать значение начальных условий.

2. Построение формализованной схемы АСУ ТС. На этом этапе уточняются количественные характеристики схемы автоматизации ТП, дается строгое математическое определение составляющих элементов и всех зависимостей между показателями и параметрами ТП (рис. 2.1).

Нижнему уровню (переходы и операции) соответствуют единичные или локальные критерии, которые характеризуют эффективность АСУ ТС лишь по одному параметру. Последующие уровни составляют локальные комплексные критерии с вершиной в виде комплексного (интегрального) критерия, по которому оценивается эффективность работы автоматической линии с конкретной АСУ ТС в целом.

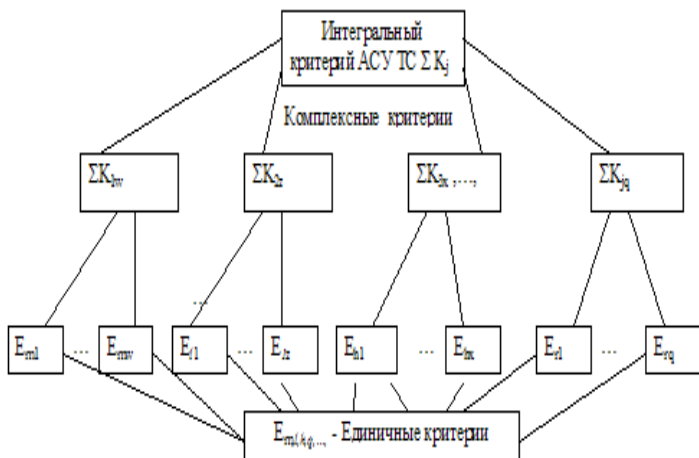


Рис. 2.1. Взаимосвязь и иерархия уровней локальных и комплексных критериев эффективности в интегрированной АСУ ТС.

Для каждого комплексного критерия K_j ($j = 1, 2, \dots, m$) установим область его определения в интервале $K_{j,i}$, начиная от наименее предпочтительного из допустимых значения $K_{j,i \min}$. Введем понятие функции полезности $\bigcup (K_1, \dots, K_m)$, которая изменяется в интервале $[0, 1]$, причем $\bigcup (K_1, \dots, K_m) = 0$, а $\bigcup (K_1^*, \dots, K_m^*) = 1$. Введем дополнение критерия K_j в виде подмножества критериев $\bar{K}_j = \{K_1, \dots, K_{j+1}, \dots, K_m\}$ для определения полилинейной функции полезности на основе следующего определения: критерий K_j независим по полезности от своего дополнения \bar{K}_j , если функция полезности может быть представлена в виде:

$$\bigcup(K_j, \bar{K}_j) = \bigcup \bar{K}_j, \bar{K}'_j + b(\bar{K}_j) \bigcup(K_j, \bar{K}_j), \quad (1)$$

где $b(\bar{K}_j)$ – функция от дополнения K_j на интервале $[K_{j,i \min}; K_{j,i \max}]$. Формула (1) задает функцию полезности в зависимости от одного критерия K_j , которая является условной функцией полезности при задан-

ном фиксированном дополнении (рис. 2.2). Условная функция $U(K_j, \bar{K}_j)$ изменяется в интервале $[U(K_j, \bar{K}_j); U(K_j^*, \bar{K}_j^*)]$, включает подмножества $U(K_j^+, \bar{K}_j^1)$, $U(K_j^-, \bar{K}_j^1)$, $K_j U(K_j^-, \bar{K}_j^2)$.

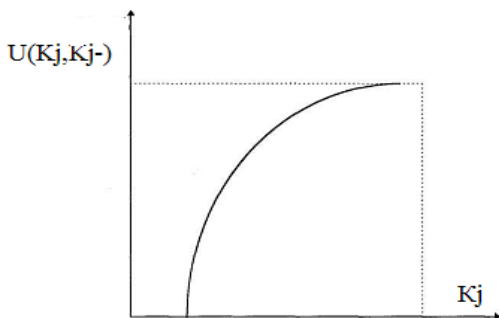


Рис. 2.2. Условная функция эффективности от одного критерия для варианта АСУ ТС

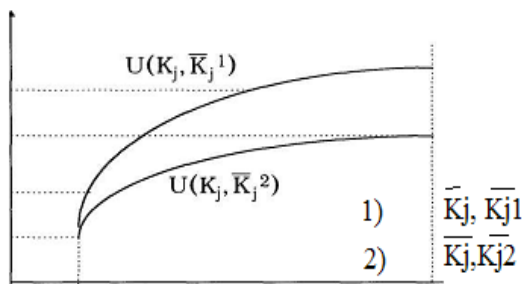


Рис. 2.3. Условная функция эффективности от двух критериев для варианта ТС

Перейдем к другой условной функции полезности, поменяв значение критериев, входящих в дополнение, на $\bar{K}_j = \bar{K}_j^2$. На рис. 2.3 изображена условная функция полезности с интервалом изменения

$$[\bigcup(\bar{K}_j, \bar{K}_j^2); \bigcup(K_j^*, \bar{K}_j^2)]. \quad (2)$$

Зависимость (2) означает, что две любые условные функции полезности связаны между собой положительным линейным преобразованием. Действительно:

$$\begin{aligned} \bigcup(K_j, \bar{K}_j^1) &= \bigcup K_j, \bar{K}_j^1 + b(\bar{K}_j^1) \bigcup(K_j, \bar{K}_j^1); \\ \bigcup(K_j, \bar{K}_j^2) &= \bigcup K_j, \bar{K}_j^2 + b(\bar{K}_j^2) \bigcup(K_j, \bar{K}_j) \bar{K}_j^1, \bar{K}_j^2, \\ \text{откуда следует: } \bigcup(K_j, \bar{K}_j^2) &= \alpha \bigcup(K_j, \bar{K}_j^1) + \beta, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\alpha = \beta(\bar{K}_j^2) / b(\bar{K}_j^1)$; $\beta = \bigcup(K_j, \bar{K}_j^2) - \alpha \bigcup(K_j, \bar{K}_j^1, U_j(K_j))$.

Тогда, с учетом вышеприведенной интерпретации условия (3), проверка независимости полезности критерия от своего дополнения состоит в следующем. Необходимо зафиксировать дополнение, например, \bar{K}_j^1 , и построить условную функцию полезности от одного критерия, приняв:

$$\bigcup(K_j, \bar{K}_j^1) = 0; \quad \bigcup(K_j^+, \bar{K}_j^1) = 1.$$

Такая функция будет являться нормированной условной функцией полезности, которая должна отражать изменения предпочтения многокритериального объекта при изменении только одного критерия. Тогда, поменяв значения критериев, входящих в дополнение, на \bar{K}_j^2 , можно вновь построить нормированную условную функцию. Если эта функция не изменяется при изменении дополнения, то выполняется условие независимости полезности критерия от его дополнения. Тогда нормированная условная функция полезности не зависит от K_j , обозначим ее как $\bigcup_j(K_j)$. Из вида полилинейной функции следует, что при большом числе критериев m требуется определение значительного числа коэффициентов, для определения которых, в свою очередь, требуется некоторое множество оценок. Поэтому при $m > 4$ ее практическое использование затруднено.

При формализации также различают случайные события, случайные величины и случайные функции. Случайные события задаются с расчётом вероятностей или частоты их появления, случайные величины – законами распределения или их числовыми характеристиками: средним арифметическим значением, среднеквадратичным отклонением, корреляционными моментами, а случайные функции – средними значениями и корреляционными функциями. В заключение устанавливается точная математическая формулировка задачи исследований.

3. Строится моделирующий алгоритм на основе построенной ММ. Далее производится преобразование формализованной схемы в ММ. Для этого необходимо представить в аналитической форме все соотношения и выразить логические условия в виде систем неравенств, а также придать аналитическую форму всем другим сведениям, имеющимся в формализованной схеме. Числовой материал для удобства обработки на ЭВМ используется не в первоначальном виде, а в форме аппроксимирующих функций.

Моделирующие алгоритмы чаще всего представляются в виде схемы, где каждый блок изображает достаточно крупную группу элементов АСУ ТС (ТП), а связи между блоками отражают их логическую структуру. Схема алгоритма может не учитывать особенностей всей системы команд ЭВМ, они вводятся при построении развернутых схем счета при программировании.

4. Разработка методики решения задач проектирования АСУ ТС и использование результатов моделирования определяется целями их синтеза, анализа и исследования. Количество реализаций процессов моделирования рассчитывается исходя из заданной точности представления результатов, а полученные данные справедливы при фиксированных значениях параметров процесса, входной информации и начальных условиях.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В АСУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ)

3.1. Определение основных признаков классификации

Классификацию АСУ ТП можно провести по шести наиболее существенным признакам, а именно:

- по характеру управляемого процесса;
- сложности управляемого процесса;
- степени охвата управляемого процесса;
- степени автоматизация задач управления;
- функционально-алгоритмическому признаку;
- архитектурному признаку.

По характеру управляемого ТП различают: АСУ основными непрерывными ТП; АСУ основными непрерывно-дискретными процессами; АСУ основными дискретными ТП; АСУ сборочными процессами в дискретном производстве; АСУ процессами изготовления оснастки и инструмента для основного производства.

АСУ сборочными процессами представляют высший уровень комплексных АСУ ТП и решают задачу координации в реальном времени ряда дискретных ТП или операций. Прямое цифровое управление по жесткой или полужесткой программе одной или группой операций (в режиме разделения времени) в технологической системе и устройствах.

Классификация по степени сложности управляемого ТП основывается на условных границах значений параметров при контроле и управлении процессами, число которых может содержать, например, 25, 50, 200 и более параметров. Такая классификация может служить основой для планирования разработок проектов АСУ ТП, где управление (автоматическое или с участием человека) одной или несколькими операциями (ТП) производится по определенному алгоритму, обеспечивающему достижение экстремума заданного критерия.

По степени охвата управляемого ТП выделяют локальные и комплексные АСУ ТП, где управление (автоматическое или с участием человека) одной или несколькими операциями ТП производится по самонастраивающемуся алгоритму, обеспечивающему достижение экстремума в условиях случайных внешних воздействий.

По степени автоматизации задач управления выделяют системы с автоматическим сбором и обработкой информации; системы с автоматической выработкой рекомендаций оператору; системы автоматического управления процессом, которые по содержанию могут быть информационными, информационно-вспомогательными в управлении, а также автоматические и полуавтоматические процессы сбора, обработки и наглядного отображения технологической и организационно-производственной информации.

Классификация по функционально-алгоритмическому признаку определяет функции и степень совершенства алгоритма управления, реализуемого АСУ ТП. Автоматическое или автоматизированное управление ходом взаимосвязанных ТП с динамической оптимизацией по критерию максимума выходного продукта, где выделяют:

- I – системы логико-программного управления;
- II – системы экстремального управления;
- III – системы адаптивного управления;
- IV – системы организационно-технологического управления;
- V – системы оптимально-координационного управления.

Классификация по архитектурному признаку предполагает:

- одноуровневые централизованные системы на базе одного управляющего вычислительного комплекса, имеющего прямую связь со всеми источниками и приемниками информации;
- одноуровневые централизованные системы с уплотнением каналов связи – системы на базе одного управляющего комплекса и систем уплотнения линий связи;
- двухуровневые системы с одной ЭВМ – системы на базе одной ЭВМ с частотным распределением функций управления на управляе-

мые регуляторы и (или) программаторы, и (или) локальные посты управления;

– многоуровневые с сетью ЭВМ-системы, в которых ЭВМ используются более чем на одном уровне.

3.2. Функциональные системы программного управления в АСУ ТП и их характеристики

Функциональные (контурные) СПУ обеспечивают управление и контроль исполнительных устройств при выполнении ими ТП, связанных с перемещениями инструмента в рабочих органах оборудования по сложной траектории. Например, при механической обработке эта траектория определяет весь контур будущей детали или его части. Поэтому необходимо при управлении функциональными СПУ обеспечить соответствие траектории рабочего органа в каждый момент времени с заданной точностью согласно программе управления. В общем случае эта траектория представляет собой сложную функцию вида $y = f(x)$ или $z = f(x, y)$. Ввиду невозможности воспроизведения такой траектории одним движением, её заменяют несколькими простыми (однокоординатными) поступательными движениями вдоль одной или нескольких осей X, Y, Z и вращательными движениями вдоль одной или нескольких осей X, Y, Z в различных комбинациях (сочетаниях). Чтобы движение исполнительного органа осуществлялось в соответствии с заданной траекторией (в общем случае криволинейной), необходимо в каждый момент времени поддерживать определенное соотношение скоростей и перемещений по управляемым координатам, установив между ними функциональную связь. Такую функциональную связь с высокой степенью точности выполняет устройство, называемое интерполятором.

Функциональные СПУ применяются для автоматизации технологического оборудования в случаях, когда необходимо перемещать исполнительный механизм по сложной криволинейной траектории, например, при изготовлении деталей, имеющих сложный плоский или объемный контур (токарные, фрезерные, шлифовальные станки), а так-

же в заготовительно-штамповочном и сварочном производстве. Эффективность применения функциональных СПУ особенно возрастает для технологических процессов, где длительность перемещения по сложному контуру значительно превышает длительность холостых и вспомогательных операций при мелкосерийном характере производства.

В настоящее время возможности СПУ позволяют выполнять требования по точности при исполнении ТП в пределах: 0,005-0,05 мм – для высокоточных систем; 0,05-0,1 мм – для обычных функциональных СПУ. Максимальные управляемые скорости составляют 0,6-1,5 м/мин у СПУ, применяемых для автоматизации обработки стальных деталей, до 3 м/мин – для обработки легких сплавов, до 10 м/мин – в координатографах.

В функциональных СПУ объем задающей информации может быть значительным (в зависимости от сложности технологического процесса), поэтому для разработки программ здесь целесообразно применять универсальные вычислительные цифровые машины. Путь информации от чертежа к детали при использовании УЦВМ может быть прямой – через интерфейс ЭВМ без использования перфоленты или магнитной ленты.

На выходе интерполятора получается программа, пригодная для непосредственного использования в системе программного управления технологическим оборудованием. Эта программа может быть записана в унитарном коде (последовательностью импульсов) или в аналоговой форме в виде некоторой траектории на магнитную ленту, или в цифровой форме. Если интерполятор является принадлежностью системы управления оборудованием, то входом в эту СПУ будет служить программа, записанная на перфоленте, или выход с УЦВМ.

3.3. АСУ ТП с вычислительным комплексом, включающим систему поддержки технологических решений

Основным инструментом для решения современных проблем управления материальным производством служат так называемые АСУ

ТП, в которых центральная, главенствующая роль и творческие способности человека сочетаются с широким применением современных математических методов и средств автоматизации, включая вычислительную технику.

АСУ – это человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления в различных сферах человеческой деятельности. Процесс оптимизации предполагает выбор такого варианта управления, при котором достигается минимальное или максимальное значение некоторого критерия, характеризующего качество управления.

АСУП предназначена для решения основных задач управления производственно-хозяйственной деятельностью промышленного предприятия в целом и (или) его самостоятельных частей на основе применения экономико-математических методов и средств вычислительной техники.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) – это АСУ для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления в соответствии с принятым критерием управления. В АСУ ТП человек играет важнейшую роль, принимая в большинстве случаев решения по управлению. Существенное место в АСУ ТП занимают автоматические устройства (в том числе средства вычислительной техники), выполняющие операции по переработке информации. Цель функционирования АСУ ТП – оптимизация работы технологического объекта путем соответствующего выбора управляющих воздействий.

Таким образом, АСУ ТП – совокупность автоматических устройств, средств получения, обработки и передачи информации, извещения технического персонала, осуществляющая контроль и управление ТП с целью оптимизации по заданным параметрам.

АСУ может быть отнесена к классу АСУ ТП только в том случае, если она осуществляет воздействие на объект в том же темпе, что и протекающие в нем технологические процессы, обеспечивает управле-

ние технологическим объектом в целом, а ее технические средства участвуют в выработке решений по управлению.

Современные АСУ ТП разнообразны и могут отличаться друг от друга по функциональному составу, степени автоматизации управления объектом, применяемым техническим средствам и по многим другим признакам и характеристикам. Рассмотрим один из них.

АСУ ТП с вычислительным комплексом, выполняющим информационные функции, содержит все функциональные и аппаратурные элементы, и еще имеет в наличии вычислительный комплекс (ВК), который выполняет функции централизованного контроля работы и состояния оборудования, вычисление комплексных технических и технико-экономических показателей. Вычислительный комплекс получает всю необходимую информацию о состоянии объекта, в том числе о регулируемых и управляемых величинах. Характерной особенностью рассматриваемого вида системы является то, что задачи анализа поступающей информации, принятия решений, а также осуществление управляющих воздействий возлагаются на оператора.

Данные об объекте, полученные с помощью ВК, кроме выхода на централизованные средства отображения информации, могут либо передаваться в вышестоящую АСУ для дальнейшей обработки, либо выводиться на внешние накопители. Целью сбора данных может быть также изучение ТП при различных условиях. В результате накапливается информация, позволяющая построить и (или) уточнить математическую модель процесса. Ясно, что сбор данных не оказывает воздействия на процесс, однако даже после внедрения самых сложных методов управления с использованием ВК сбор данных для анализа и уточнения модели оказывается полезным и почти всегда предусматривается как одна из задач вычислительного комплекса.

Структурная схема АСУ ТП с вычислительным комплексом, выполняющим управляющие функции в режиме системы поддержки принятия решений, аналогична предыдущей. Кроме функций, выполняемых ВК в предыдущей системе, на него возлагают задачи анализа поступающей информации и поиска оптимальных решений с выдачей ре-

комендаций (советов) по управлению оператору-технологу. Окончательный выбор и осуществление управляющих воздействий по-прежнему остается за оператором. Такая АСУ функционирует следующим образом: через заданные промежутки времени (обычно раз в 10-15 минут) полученные в ВК данные о состоянии объекта и комплексные технические и технико-экономические показатели анализируются с помощью математической модели управляемого процесса. Путем вычислений по модели определяются воздействия, необходимые для приближения процесса к оптимальному состоянию, результаты представляются оператору, который управляет процессом, изменяя регулируемые механизмы в соответствии с рекомендациями, вырабатываемыми ВК. При этом оператор выполняет роль следящего и координирующего звена и вносит изменения по советам ВК, который, в свою очередь, непрерывно помогает оператору в его усилиях оптимизировать ТП.

Наиболее серьезный недостаток подобной системы заключается в быстрой утомляемости операторов при необходимости перестраивать систему в соответствии с рекомендациями каждые 10-15 минут, причем количество контролируемых параметров может быть более 100. Вместе с тем такие системы удовлетворяют требованию осторожного подхода к новым способам управления, обеспечивая хорошие возможности проверки новых моделей процесса, так как контроль за управлением ведет технолог, который может исключить неправильные установки.

4. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (САР). ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И АНАЛИЗ

4.1. Основные понятия САР

Структурная схема системы регулирования в общем виде определяется видом объекта управления (механизма, агрегата или устройства), характером поведения системы или объекта, технологического процесса, энергетического процесса, протекание которого должно быть обеспечено по заданным граничным условиям.

Поведение объекта управления, параметры выхода Y характеризуют результат его работы, который определяется некоторыми показателями x_n . Чаще всего ими являются значения физических величин, представляющих выходные параметры объекта управления. К ним относят наиболее важные для оценки поведения объекта и его практического использования величины.

Кроме этих основных параметров, работа объекта характеризуется рядом вспомогательных параметров y_i , которые также должны контролироваться и регулироваться, или их значения должны поддерживаться постоянными.

В процессе работы на объект поступают возмущающие воздействия f_1, f_2, \dots, f_i , вызывающие отклонение параметров x_n . Информация о текущих значениях x_n и y_i поступает в систему управления и сравнивается с предписанными им значениями g_1, g_2, \dots, g_k , в результате чего система управления вырабатывает управляющие воздействия E_1, E_2, \dots, E_m для компенсации выходных параметров.

Входные воздействия, с точки зрения их влияния на действие объекта и на его выходные величины x_n , разделяются на две принципиально отличные группы. Некоторые из входных воздействий обеспечивают желаемое изменение поведения объекта, достижение поставленных целей. Такие входные воздействия называют управляющими E_m и при их отсутствии задача управления вообще не имеет решения. При ручном

управлении такие воздействия на объект осуществляет оператор, при автоматическом – система управления.

Другие входные воздействия f_i , напротив, изменяют значение параметров цели, их необходимо контролировать и компенсировать. Такие воздействия называют возмущающими или помехами.

Задача управления, по существу, заключается в формировании такого закона, при котором достигается желаемое поведение объекта.

Сложная и разносторонняя задача управления в подавляющем большинстве случаев включает более узкую задачу регулирования. Задача регулирования заключается в поддержании выходных величин объекта равными (или пропорциональными) некоторым эталонным функциям времени – задающим воздействиям. Последние могут быть постоянными или изменяющимися как по заданному, так и по заранее неизвестному закону. В общем случае объектами регулирования являются случайные и возмущающие параметры y_i .

4.2. Классификация систем автоматического регулирования по назначению

1. Автоматические системы сигнализации, которые извещают технический персонал о ходе производственного процесса.

2. Системы автоматического контроля, обеспечивающие исполнение ТП без непосредственного участия человека.

3. Автоматические системы блокировки и защиты.

4. Системы автоматического пуска и остановки агрегатов.

5. Системы автоматического регулирования (САР).

6. Системы автоматического управления.

5. Системы автоматического регулирования.

Автоматическое регулирование – это изменение или поддержание какой-либо физической величины по заданному закону без участия человека. Эта физическая величина называется объектом регулирования.

Основной задачей САР является поддержание равенства:

$$y(t) = q(t),$$

где $q(t)$ – заданная функция изменения объекта регулирования;

$y(t)$ – действующая функция изменения объекта регулирования.

Поддержание этого равенства в реальных условиях является сложной задачей, т.к. всегда есть внешние факторы, стремящиеся нарушить это равновесие. Они называются возмущающие воздействия, обозначаются f .

Объект регулирования (ОР) можно представить следующей схемой, представленной на рис. 4.1.

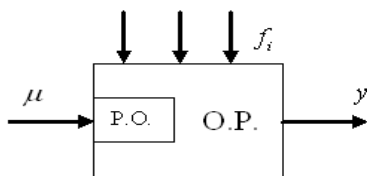


Рис. 4.1. Принцип регулирования выходных параметров объекта автоматизации: μ – задающее и регулирующее воздействие на регулирующий орган - (Р.О.) для выполнения объектом регулирования (О.Р.) задания (y).

Как правило, все САР работают по одному из двух принципов:

- 1) регулирование по возмущению;
- 2) регулирование по отклонению.

Рассмотрим принцип регулирования по возмущению, который основан на контроле сигналов f_1, f_2, \dots, f_n от возмущающих воздействий на ОР (рис. 4.2).

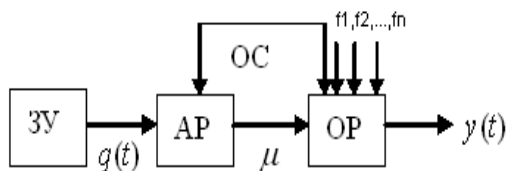


Рис. 4.2. Принцип регулирования по возмущению по цепи обратной связи ОС

В зависимости от результатов воздействия возмущений осуществляется адекватная корректировка управляющего программного воздействия $q(t)$ от задающего программного устройства ЗУ посредством передачи сигналов от устройств контроля параметров ОР по цепи обратной связи по возмущению ОС на автоматический регулятор АР.

В этих системах регулирующее воздействие не зависит и не связано с объектом регулирования. Поэтому такие системы называются разомкнутыми. Формирующий элемент и исполнительный механизм составляют регулятор. Регулятор и объект в совокупности образуют систему регулирования. Главный недостаток: трудность учета и компенсация всех возмущающих воздействий. Применение: в настоящее время только в самых простых САР, в системах защиты, блокировки и т.д.

Принцип регулирования по отклонению (ошибке)

Этот принцип (рис. 4.3) основан на контроле регулирования выходной величины $y(t)$. При отклонении регулируемой величины от заданного значения производится корректировка регулирующего воздействия.

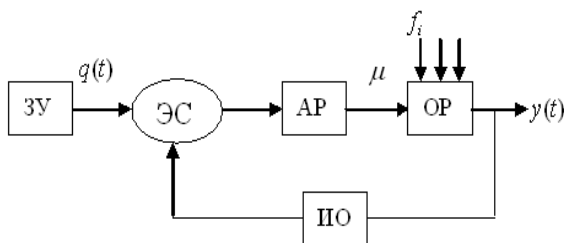


Рис. 4.3. Схема регулирования по отклонению (ошибке):
ЭС – элемент сравнения, ИО – измерительный орган

Качество работы таких систем определяется разницей между значением заданной программной функции или параметра выхода $g(t)$ и действительным (фактическим в текущее время t) значением выхода $y(t)$: $\Delta y = g(t) - y(t)$.

Основное преимущество таких систем: способность и возможность автоматического регулирования выходных параметров $y(t)$ при большом количестве внутренних и внешних возмущающих воздействий. Пример физической модели представлен на рис. 4.4.

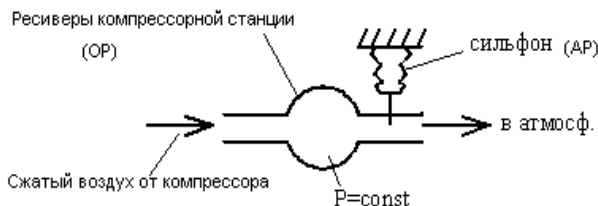


Рис. 4.4. Физическая система автоматического регулирования по отклонению

Подобные системы являются замкнутыми (с обратной связью) и используются в большинстве современных САР.

4.3. Основные задачи и теоретические основы систем автоматического регулирования

Система автоматического регулирования (САР) должна обеспечивать:

- 1) точность работы в установившемся режиме;
- 2) устойчивость системы;
- 3) качество системы.

В работе системы САР выделяют: установившийся и неустановившийся (переходный) режимы работы (рис. 4.5).

Режим работы считается установившимся, когда действительное значение функции (параметра) выхода ОР $y(t)$ становится равным заданному по программе управления $g(t)$ с ошибкой, не превышающей статическую ошибку.

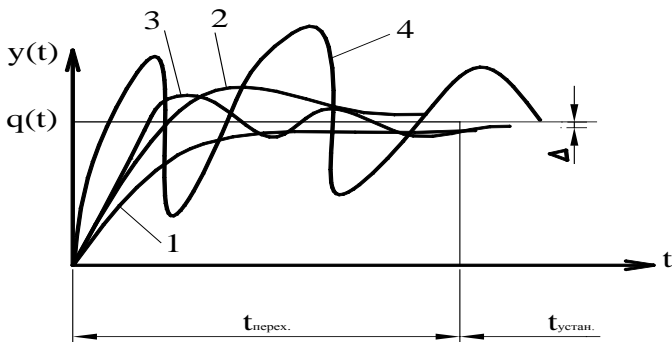


Рис. 4.5. Переходные режимы работы систем САР в составе систем автоматического управления ТП: 1 – монотонный переходной режим, 2 – апериодический режим, 3 – колебательный режим, 4 – неустойчиво-колебательный процесс, Δ – статическая ошибка работы САР

Точность системы в установившемся режиме определяется ошибкой Δ , т.е. разницей между заданной и действующей функцией. По точности работы САР делятся на статические и астатические, у которых ошибка в установившемся режиме не зависит от внешних факторов.

Устойчивость системы характеризует ее поведение в неустановившемся режиме. Система считается устойчивой, если регулируемая величина в течение заданного времени $t_{\text{перех.}}$ становится равной заданной с точностью до величины статической ошибки Δ .

Система считается неустойчивой, если на ее выходе имеют место незатухающие запредельные по амплитуде колебания выходных параметров. Такая система к работе непригодна.

Понятие качества САР включает в себя и статическую ошибку, и устойчивость системы, и длительность переходного процесса, и другие критерии.

Существуют различные принципы автоматического регулирования. Самый простой из них основан на использовании разомкнутых

систем, применяемых в тех случаях, когда можно пренебречь влиянием возмущающих воздействий. Однако в современных системах автоматического регулирования в составе САУ необходимо наличие САР, обеспечивающих возможность измерять возмущения и создавать на объект дополнительное воздействие, компенсирующее влияние возмущений.

При конструировании подобного регулятора необходимо знать все свойства объекта регулирования, тогда при условии отсутствия возмущений можно правильно прогнозировать возможное влияние задающего действия на регулируемый параметр. Область применения системы регулирования ограничена тем, что нельзя пренебречь влиянием возмущений. При определенном задающем воздействии и различных возмущениях заданная величина выхода объекта (регулируемая величина) будет иметь разные значения и, следовательно, задача регулирования не будет решена. В связи с этим возникает необходимость контроля возмущений или хотя бы значимо учитываемого основного возмущения f . Это возмущение необходимо измерить и при его предельных изменениях создавать на объект дополнительные корректирующие воздействия, компенсирующие влияние возмущений. Эту функцию в регуляторе выполняет элемент, который создает компенсирующее воздействие регулятора исполнительного механизма на объект через преобразующее устройство.

Рассмотренные системы является разомкнутыми: в них регулируемая величина Y не влияет на действие регулятора. Это значит, что характер регулирующих воздействий зависит от свойства объекта лишь в той степени, в какой это учтено при конструировании регулятора. Однако вследствие изменения свойств объекта по причине влияния второстепенных возмущений действительное значение регулируемой величины может значительно отличаться от требуемого значения. Также в подавляющем большинстве случаев отсутствует исчерпывающая и достоверная информация о свойствах объекта регулирования и о характере возмущений, и разомкнутые системы регулирования оказываются неэффективными. Поэтому прибегают к созданию более современных замкнутых систем автоматического регулирования (САР).

В замкнутой системе используется принцип обратной связи. Такая система в простейшем случае состоит из объекта регулирования и регулятора, который, кроме исполнительного элемента и формирующего корректирующее управление элемента, имеет также измерительный элемент и элемент сравнения.

Измерительный элемент формирует сигнал y_0 в цепи обратной связи в системе управления АСУ ТП в зависимости от значения параметра выхода Y и обеспечивает корректировку программы управления автомата или аналогичной системы. Сигнал y_0 , пропорциональный регулируемой величине, сравнивается с задающим программным воздействием g . Если регулируемая величина отклонилась от требуемого значения на некоторую критическую (по условиям наладки автомата), то формируется сигнал рассогласования (сигнал ошибки) $x = g - y_0$, который воздействует на заданную программу управления ТП. Затем воздействие передается на исполнительный элемент регулятора, воздействующего на объект регулирования. В результате отклонение регулируемой величины от требуемого значения устраняется с определенной степенью точности.

Таким образом, в замкнутой системе воздействие на объект формируется не только в зависимости от задающего программного управления, но и в зависимости от состояния объекта и наличия возмущений. Точнее, регулирующее воздействие определяется отклонением регулируемой величины от заданного значения выхода Y . Такие регуляторы носят название регуляторов по отклонению. Принцип обратной связи позволяет успешно решать задачу регулирования, несмотря на некоторую неопределенность или неточность в известных характеристиках объекта регулирования и исполнительного механизма, а также сведениях о характере возмущений.

В некоторых случаях качество такого регулирования оказывается неприемлемо низким. Тогда обеспечивается комбинированное регулирование, т.е. сочетание принципов замкнуто-разомкнутой системы. При комбинированном регулировании создается дополнительная связь по возмущению, которая компенсирует влияние возмущения в общем слу-

чае, а замкнутый контур устраняет рассогласование, возникающее при изменениях задающего воздействия вследствие этого, по цепи дополнительной связи от выхода Y , которая и обеспечивает точное воспроизведение регулируемой величины выхода Y . Замкнутый контур в этом случае устраняет рассогласование, возникающее вследствие неточности действия дополнительной связи от возмущений.

Во всех ситуациях работы САР основным источником информации служит программа управления, устанавливаемая для конкретных условий работы АСУ ТП. В программе даются сведения о характере движения рабочих органов, их синхронизации, режимах работы, различные технологические и другие команды.

Другим источниками информации является режим исполнения ТП. Существующие датчики позволяют получить информацию о фактическом положении, скорости движения рабочего органа, размере обрабатываемых поверхностей и др. Эта информация является информацией по линии обратной связи, а датчики – датчиками обратной связи.

Источником возмущений служит также окружающая среда (температура, влажность, колебания припуска заготовки, уровень вибрации и др.).

Количество каналов информации в структуре АСУ ТП определяет качество работы систем управления. Чем больше используется каналов информации, тем выше качество работы системы, шире ее функциональные возможности.

Однако использование только одного канала информации значительно упрощает конструкцию системы управления, а нормальное функционирование такой системы требует высокого качества изготовления ее элементов.

В замкнутых системах управления, в которых для снижения технологических требований к отдельным элементам и повышения качества работы систем применяют обратные связи, используют два канала: канал задающей информации и канал обратной связи. Сопоставление задаваемой информации с информацией обратной связи осуществляется в устройстве сравнения, на выходе которого вырабатывается коман-

да, необходимая для управления приводом регулятора. Качество работы замкнутой системы выше, чем разомкнутой, при некотором усложнении ее конструкции. В замкнутых системах управления обычно используются управляемые приводы, а структуру с замкнутой схемой управления имеют большинство систем программного управления и копировальные системы.

Для оптимального управления течением ТП необходимо использовать два или более двух каналов дополнительной информации. Системы управления, использующие два или более двух каналов дополнительной информации и имеющие устройство для коррекции управляющего сигнала, можно отнести к классу приспособляющихся систем.

В зависимости от вида информации, которая используется системами, последние делят на непрерывные, импульсные и смешанные СУ.

Система управления всей работой технологического оборудования включает в себя ряд систем управления элементарными циклами работы отдельных механизмов и осуществляет либо функциональное управление ИМЕ, либо просто включение, синхронизацию и блокировку. Такие системы называются системами управления общим автоматическим циклом или системами группового управления.

Принцип регулирования в замкнутых САР определяется законом формирования регулирующего воздействия z в зависимости от сигналов рассогласования x . Простейшими законами регулирования являются пропорциональный, когда $z = c_1x$ (система с П-регулятором) и интегральный, когда $z = c_2 \int xdt$ (система с И-регулятором). Более совершенны системы, в законе регулирования которых, кроме пропорциональной составляющей, имеется интеграл от рассогласования:

$$z = c_1x + c_2 \int xdt$$

(система с ПИ-регулятором).

Наилучшие результаты получаются при введении в закон регулирования еще и производной от рассогласования:

$$z = c_1x + c_2 \int xdt + c_3 \frac{dx}{dt}$$

(система с ПИД-регулятором). В комбинированных системах закон регулирования содержит, кроме того, составляющие, зависящие от внешних воздействий.

Для обыкновенных САР достаточно определить реакции на некоторые эталонные (тестовые) воздействия, а затем сделать выводы относительно влияния внешних воздействий произвольного вида. На этом основании, при расчетах обыкновенных САР и анализе их устойчивости, широко используют метод передаточных функций и частотный метод.

Анализ устойчивости – это одна из основных задач анализа САР. Собственно решение проблемы устойчивости и послужило началом теории автоматического регулирования.

Анализ динамического режима систем автоматического регулирования позволяет получить очень важные сведения об устойчивости замкнутой системы и ее быстродействии, так как устойчивость определяет ее работоспособность, а быстродействие влияет на динамическую точность и производительность.

При замыкании система, удовлетворяющая всем требованиям установившегося режима, часто оказывается неустойчивой. Неустойчивой система считается в том случае, если при снятии входного управляющего воздействия на выходе ее имеют место незатухающие колебания.

Следует отметить, что устойчивость, быстродействие и коэффициент усиления, являясь основными критериями оценки качества работы системы, находятся между собой в противоречии и между ними приходится искать компромиссное решение. Математическая модель системы представляет собой дифференциальное уравнение, устанавливающее количественные и логические зависимости между отдельными элементами системы, а также между системой и объектом управления. Разработка математической модели упрощается при использовании «элементарных динамических звеньев», для которых известны дифференциальные уравнения и все необходимые характеристики. Однако наиболее развитые системы имеют математическую модель в виде

сложных дифференциальных уравнений высокого порядка, решение которых в общем виде весьма трудоемко.

Одним из наиболее распространенных методов анализа САР является метод преобразования Лапласа-Карлсона. Этот метод основан на том, что используются заданные и искомые характеристические функции времени $u(t)$ $\bar{u}(t)$ модели ТС, для анализа поведения которых производится преобразование Лапласа-Карлсона:

$$\bar{u} = p \int_0^{\infty} u(t) e^{pt} dt .$$

Использование преобразования Лапласа-Карлсона позволяет упростить такие трудоемкие операции, как дифференцирование и интегрирование функции времени при нулевых начальных условиях, заменить их соответственно делением и умножением на оператор p дифференциала начального состояния системы.

В результате, для получения изображения выходной величины достаточно изображение входной величины умножить на передаточную функцию системы:

$$Y(p) = x(p) W(p).$$

Метод применим для линейных уравнений с постоянными коэффициентами. Решение дифференциальных уравнений при этом не намного проще обычного, но использование таблиц с большим количеством изображений и оригиналов несколько упрощает анализ. Этот метод не дает полного представления о критериях качества модели.

Наиболее просто сведения о критериях качества определяются по графикам переходных процессов, получающихся на выходе системы при подаче на вход контрольного сигнала.

Рассмотрим типовую передаточную характеристику, о степени устойчивости которой можно судить по величине перерегулирования h и быстродействию (по времени переходного процесса t_p) или по времени периода установившегося режима T_0 . Коэффициент усиления K_y можно определить по кривой переходного процесса при подаче на вход системы тестового сигнала.

Метод анализа переходного процесса САР удобен при экспериментальном определении показателей качества. Им удобно пользоваться при исследовании систем на аналоговых вычислительных машинах методом электронного моделирования. Однако построение переходного процесса путем расчетов затруднено.

Наиболее полные сведения о системе регулирования можно получить по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) замкнутой системы. Быстродействие системы в этом методе характеризуется резонансной частотой ω_p , полосой пропускания ω_n на уровне единичного сигнала или частотой ω_c при затухании сигнала до уровня 0,707. Мерой устойчивости здесь служит показатель колебательности M . Процесс построения этой характеристики тоже является трудоемким.

Одним из разновидностей частотного метода является метод логарифмических амплитудно-частотных характеристик.

Указанные методы при небольшой трудоемкости применимы лишь к линейным или линеаризованным системам, анализ нелинейных систем очень трудоемок.

Большое распространение получил метод моделирования на ЭВМ. Он имеет широкие возможности, позволяет учитывать нелинейности, при этом трудоемкость расчетов снижается. Сущность метода заключается в замене системы или ее частей типовыми блоками, соединенными между собой определенным образом. Электронная модель имеет ту же физическую сущность, описывается теми же дифференциальными уравнениями, что и реальная система, отличаясь от нее лишь масштабами и мощностью. Метод моделирования удобно применять в сочетании с другими методами в качестве подготовительных.

5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА НА БАЗЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

5.1. Автоматические комплексы оборудования с программным управлением для автоматической резки листа на базе ножниц листовых с наклонным ножом. Модели КОН4, КОН5, КОН6

Приведем основные параметры для моделей автоматических комплексов КОН4, КОН5, КОН6 и их комплектацию (табл. 5.1, 5.2.).

Таблица 5.1 – Основные данные моделей КОН4, КОН5, КОН6

	Модель		
	КОН4	КОН5	КОН6
Размеры разрезаемого листа (при $\sigma_{вр} < 500$ МПа), мм: толщина ширина длина	6...16 1000...2500 2000...8000	8...20 1000...2500 2000...8000	12...32 1000...2500 2000...8000
Наибольшая длина пачки, мм	2000...8000		
Наибольшая высота пачки, мм	300		
Наибольшая масса пачки, кг	50000		
Наибольшее количество типоразмеров заготовок, нарезаемых из одного листа	4		
Ширина нарезаемых полос, мм	160... 1000		
Размеры нарезаемых карт, мм	185x1000 ... 2500x5500		
Наибольшая высота пачки стапулируемых заготовок, мм: до 3000 свыше 3000	600 300		
Погрешность размеров заготовок, мм: по ширине полосы и карты: 160... 1000 мм 1000...3000 мм 3000...5500 мм по длине карты по косине карты	±1,2...±2,7 ±2,7...±4,5 ±4,5...±6,0 в пределах допуска на ширину листа в пределах допуска на длину и ширину заготовок		

Скорость подачи листа, м/с	0,075... 0,3		
Производительность, т/ч	5,4	6,6	8,9
Ток питающей сети: род частота, Гц напряжение, В	переменный трехфазный 50 380		
Количество электродвигателей	12		
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	47	55	85
Насосная установка (в комплекте с ножницами): тип насоса давление на выходе, МПа производительность, л/мин емкость бака, л наибольшая допустимая температура масла, °С	НА4МФ74-224/320 32 200 870 50		
Габаритные размеры, мм: в плане высота над уровнем пола высота от уровня пола	20600 x 9320		
	2550	2600	3020
Масса, т	72	74	85

Таблица 5.2 – Комплектация автоматизированного комплекса

Модель	Ножницы листовые, гидравлические, специальные	Загрузочное устройство	Подающее устройство	Выгрузочное устройство	Стapelирующее устройство
КОН4	НА3022	У34	УП10	УВ10	У.121.41 (4ПУ)
КОН5	НА3023				
КОН6	НА3025				

В программу управления комплексами входят: задание отступа (кромки листа) как базы, от которой отсчитывается размер отрезаемой заготовки; задание величины угла поворота листа относительно первоначального установочного положения; задание размера и количества получаемых заготовок из пачки; указание адреса сортирующего уст-

ройства для отрезанных заготовок; задание и ввод данных по координатам направления загрузки исходного листа; ввод данных по выбору работающих листоукладчиков; автоматическое определение режимов работы или отключение неработающих столов.

Принцип работы автоматизированного комплекса раскроя листового стального металлопроката представлен на рис. 5.1. Пачка исходных листов укладывается на один из двух приемных столов загрузочного устройства, в состав которого входят также один стационарный и два подвижных листоукладчика, установленных на балках портала, и механизм поворота листа.

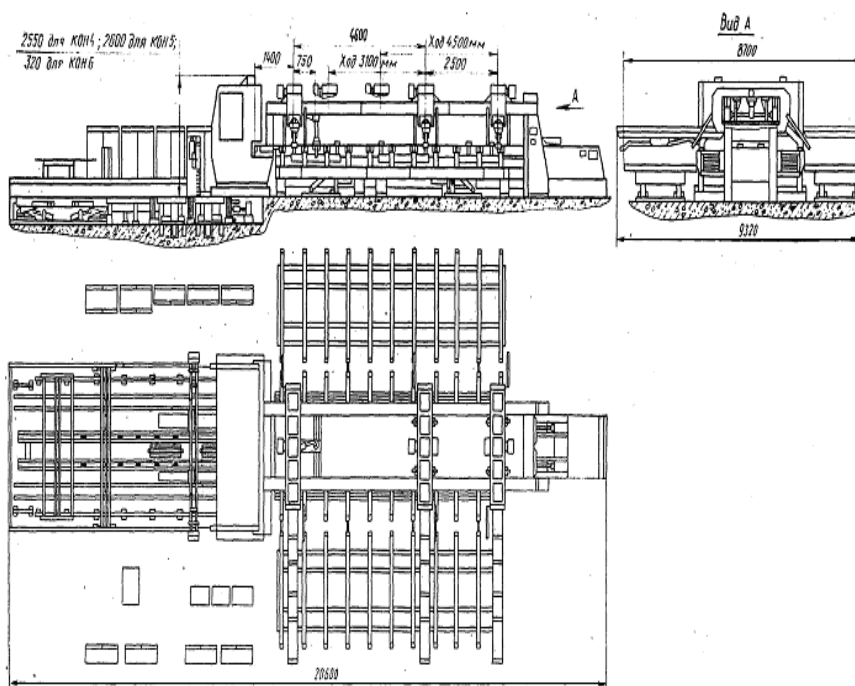


Рис. 5.1. Автоматизированный комплекс раскроя листового стального металлопроката

На скобах листоукладчиков, на катках установлены штанги, несущие подвижные каретки с плавающими зацепами. Листоукладчики ра-

ботаю́т попарно (стационарный и подвижный) в зависимости от длины заготовки. Штанги и каретки листоукладчиков движутся к пачке листов, пока зацепы не зайдут за край листа. Затем верхний лист пачки зацепом перемещается на стол подачи до срабатывания ориентирующих его упоров.

Привод подъема платформы стола осуществляется от четырех гидроцилиндров через систему рычагов. После выполнения программы привод перемещения скобы листоукладчика выключает асинхронный электродвигатель с червячным редуктором со встроенным тормозом.

5.2. Автоматизированные ковочные комплексы с программным управлением

Для выполнения основных технологических функций в состав каждого комплекса должны входить следующие компоненты основного и вспомогательного технологического оборудования: ковочный пресс; ковочный манипулятор; подъемно-поворотный стол; устройство для смены комплекта бойков; инструментальный манипулятор, устройство ввода и корректировки управляющих программ.

По основному оборудованию созданы и эксплуатируются ковочные комплексы на базе прессов усилием 40, 60 и 150 МН. На рис. 5.2 показана структура и компоновка роботизированного ковочного комплекса.

По условиям автоматизации технологических процессов рассмотрим конструкцию, назначение и принцип работы основного и вспомогательного технологического оборудования в составе указанного комплекса:

– **ковочный пресс** имеет четырехколонную трехцилиндровую конструкцию с верхним расположением рабочих цилиндров и тремя ступенями усилий. Привод пресса насосно-аккумуляторный. Рабочей жидкостью является вода с эмульсолом, подающаяся под давлением 32 МПа. Механизмы передвижения столов выполнены с приводом от двух плунжерных гидроцилиндров, обеспечивающих полный ход сто-

лов в обе стороны от оси прессы. Столы, кроме двух крайних, имеют также фиксированное положение по оси прессы, обеспечиваемое исчезающими упорами. Исчезающий упор конструктивно выполнен в виде двух вертикальных стопоров с приводом, размещенных в расточках станины под столом. Прессы оборудованы нижними боковыми выталкивателями готовых изделий из зоны обработки.

– **ковочный манипулятор** состоит из двух основных частей: захватного узла, имеющего манипулятор с клещевой головкой; передвижной рамы с ходовыми колесами.

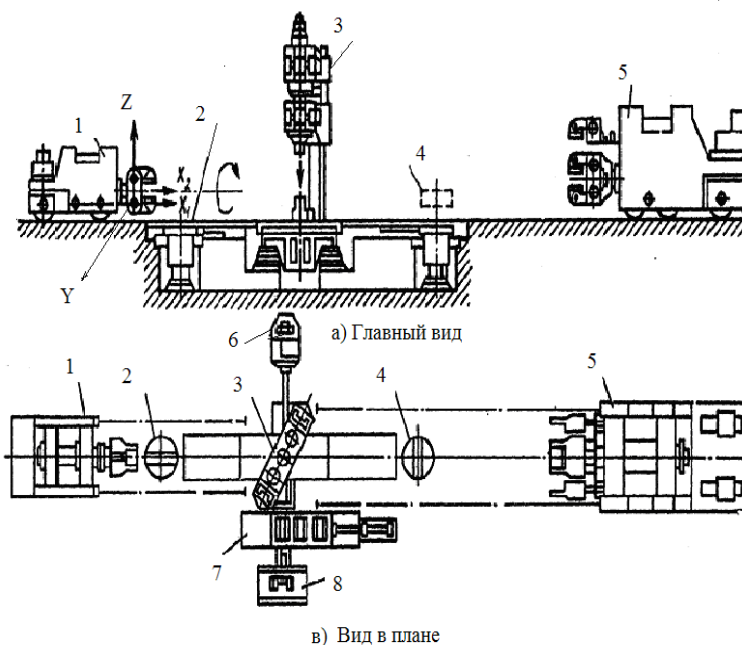


Рис. 5.2. Компоновка роботизированного ковочного комплекса с программным управлением: 1 – манипулятор; 2, 4 – поворотные столы; 3 – ковочный пресс; 5 – ковочный манипулятор; 6 – инструментальный манипулятор; 7 – передвижной стол для бойков; 8 – пульт управления по основным технологическим перемещениям манипулятора с захватом в направлении осей X, Y, Z.

Захватный узел, подвешенный на подвижной раме, выполняет захват и зажим заготовок с учетом их веса и динамических нагрузок вследствие ускорений при разгоне и торможении манипулятора с захватом и заготовкой, а также подъем и опускание, реверсивное вращение, отклонение в горизонтальной и качение в вертикальной плоскости. Передвижная рама совершает продольные перемещения. Все манипуляции могут выполняться как совместно, так и отдельно.

Манипулятор имеет следующие механизмы: гидроцилиндр захвата и зажима заготовки, находящийся в клещевой головке захватного узла, гидроцилиндр подъема и опускания передней части манипулятора, размещенный в передней подвеске, гидроцилиндр подъема и опускания задней части манипулятора, находящийся в задней подвеске, механизм вращения манипулятора с приводом от электродвигателя и планетарного редуктора, два плунжерных гидроцилиндра, поворачивающие манипулятор в горизонтальной плоскости, два механизма привода колес от гидроцилиндров через реечно-шестеренные передачи, закрепленные на подвижной раме, два гидродомкрата, размещенные в задней части передвижной рамы и приподнимающие над рельсами приводные колеса для их холостого проворачивания.

Основные параметры и размеры ковочных манипуляторов, предназначенных для работы в составе автоматических ковочных комплексов, регламентированы ГОСТ 7284-80Е, ГОСТ 17808-82 и др.

– **подъемно-поворотный стол** размещен по оси рельсового пути ковочного манипулятора и служит для подъема заготовки на уровень оси клещей манипулятора и разворота ее в горизонтальной плоскости на 180° для захвата этими клещами. Подъемно-поворотный стол имеет поворотную платформу с механизмом ее подъема;

– **устройство для смены комплекта бойков (инструмента)** состоит из подвижного инструментального стола, расположенного параллельно столу прессы, механизма поперечного перемещения и механизма установки и быстрого дистанционного крепления верхнего бойка, размещенного в корпусе, который закреплен на траверсе прессы. На инструментальном столе расположено до пяти комплектов бойков, в

соответствии с чем стол имеет пять фиксированных положений. Любой из размещенных на инструментальном столе комплектов бойков может быть установлен по оси пресса, при этом корпус нижнего бойка входит в зацепление с выступом подвижной плиты механизма поперечного перемещения, ходом которой комплект бойков подается на ось пресса. Затем траверса пресса опускается в верхний боек, фиксируется и закрепляется с помощью механизма крепления с корпусом. При смене бойков ходом подвижной траверсы верхний боек опускается на нижний и отсоединяется от корпуса. Затем траверса поднимается, и комплект бойков ходом плиты механизма поперечного перемещения передвигается со стола пресса на свободную позицию инструментального стола, совмещенную с осью пресса;

– **инструментальный манипулятор** предназначен для подачи в рабочую зону пресса инструмента и имеет основание с размещенной на нем подвижной плитой, на которой смонтирована поворотная обойма с шестью инструментальными штангами. Основание манипулятора соединено с плитой поперечной подачи бойков и перемещается к прессу при подаче в рабочую зону очередного бойка. На основании установлена плита, которая движется относительно него с помощью гидроцилиндров.

Инструментальные штанги шарнирно соединены с подъемно-поворотной обоймой и в исходной позиции занимают вертикальное нижнее положение. С помощью механизма поворота обоймы со штангами поворачивается до положения, в котором необходимый инструмент устанавливается по оси пресса. Включением механизма подъема установленная по оси пресса штанга с инструментом поднимается и одновременно переводится из вертикального положения в горизонтальное, после чего ходом плиты инструмент подается в рабочую зону пресса для установки и крепления.

6. РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ШТАМПОВКИ ИЗ ШТУЧНЫХ ЗАГОТОВОК НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

6.1. Классификация промышленных роботов

В настоящее время уровень автоматизации технологических процессов в машиностроении определяется широким внедрением в производство разнообразных по конструкции, сложности исполнения, принципу действия и функциональному назначению промышленных роботов (ПР), входящих вместе с основным и вспомогательным технологическим оборудованием в состав роботизированных технологических комплексов (РТК). Одно из основных преимуществ ПР – возможность быстрой переналадки для выполнения задач, различающихся последовательностью и характером манипуляционных действий. Поэтому применение ПР наиболее эффективно в условиях частой смены объектов производства, а также для автоматизации ручного или малоквалифицированного труда. В основном на машиностроительных заводах ПР используются на операциях сварки, окраски, сборки, для обслуживания кузнечно-прессового, литейного оборудования и др.

Говоря об общей классификации робототехнических систем, можно указать следующие их большие классы:

- манипуляционные;
- мобильные движущиеся;
- информационные и управляющие.

Наиболее развиты и получили практическое применение манипуляционные робототехнические системы различных типов.

Мобильные движущиеся робототехнические системы представляют собой некоторые платформы или шасси, перемещением которых управляет автоматика. При этом, кроме программы маршрута движения, они имеют запрограммированную автоматическую систему адресов цели, могут автоматически производить погрузочные и разгрузочные работы и др. В промышленных целях они используются для авто-

матической доставки деталей и инструмента к станкам и от станков к складам. На таких подвижных системах могут устанавливаться манипуляционные механизмы. К системам такого рода относятся движущиеся устройства для обслуживания автоматических складов в разных отраслях народного хозяйства.

В мобильных робототехнических системах используют любые принципы движения. Они могут быть колесными, шагающими, колесно-шагающими, гусеничными, летающими, плавающими и т.п.

Информационные и управляющие робототехнические системы представляют собой некоторые комплексы измерительно-информационных и управляющих средств, автоматически производящих сбор, обработку, выдачу и передачу информации.

В промышленности – это системы автоматического контроля и управления для автоматизированных и автоматических производственных процессов, а также комплексно-механизированного (в том числе с групповым использованием промышленных роботов) производства. Подобные системы применяют и в автоматических системах проектирования, при выполнении технических и экономических расчетов и др.

Рассмотрим более подробно класс манипуляционных робототехнических систем. Их можно разделить на три вида.

1. Автоматические движущиеся роботы, автоматические манипуляторы и роботизированные технологические комплексы.
2. Дистанционно-управляемые роботы, манипуляторы, технологические комплексы.
3. Ручные, непосредственно связанные с движением рук, а иногда и ног человека.

Системы первого вида применяются в основном в промышленном производстве (промышленные роботы и роботизированные комплексы), второго – главным образом в экстремальных условиях, т.е. при наличии радиации, загазованности, взрывоопасности, условиях высоких и низких температур и давлений. Системы третьего вида применяются для погрузочно-разгрузочных и тяжелых работ.

Автоматически действующие манипуляционные роботы можно разделить на четыре рода (поколения): жестко встроенные, программные, адаптивные и «интеллектуальные». Но поскольку жестко встроенные машины по сути еще не являются роботами, их можно определить как нулевое (модернизированное) поколение. Программные роботы – первое поколение, адаптивные – второе поколение, интеллектуальные – третье поколение. Однако здесь, в отличие от вычислительной техники, поколения не сменяют друг друга, а существуют параллельно, развиваясь внутри каждого «поколения». Поэтому четвертое поколение роботов не определено, а искусственный интеллект третьего поколения может развиваться почти неограниченно по мере развития науки и техники, а также с ростом возможностей использования все новых поколений микроЭВМ.

Охарактеризуем каждое из этих поколений автоматически действующих робототехнических систем.

Жестко встроенные манипуляторы не имеют перестраиваемых программных управляющих устройств и представляют собой различной конструкции механические руки (автооператоры). Они жестко связаны с остальным технологическим оборудованием, подчиняются определенной программе технологического процесса в целом. Их применение, в частности, характерно для замены ручного труда в массовом производстве, например, на линиях сборки механизмов на часовых заводах.

Программные роботы (первое поколение роботов) имеют управляемые приводы во всех шарнирах, их система управления легко перенастраивается на различные операции. Но после каждой переналадки в автоматическом режиме они повторяют многократно одну и ту же жесткую программу, созданную для режима работы «Цикл», в строго определенных технологическим процессом условиях, с определенно расположенными оборудованием и другими предметами. Такого большинства современных промышленных роботов, выполняющих вспомогательные операции у штампов, станков, линейных машин и т.п. Такой робот будет совершать заданные программой движения до полного вы-

полнения задания. Кроме того, он требует изготовления технологической оснастки, упорядочивающей положение деталей. Но это сделать не всегда просто, а, главное жесткая оснастка затрудняет переналадку работа на новые операции. Поэтому целесообразно бывает усложнить систему управления самого робота, т.е. перейти к применению второго поколения роботов.

Второе поколение – адаптивные роботы, т.е. такие, которые могут самостоятельно в большей или меньшей степени ориентироваться в неоднозначно определенной обстановке, приспособившись к ней. Для этого их снабжают, во-первых, необходимыми датчиками, реагирующими на обстановку, и, во-вторых, системой обработки информации от датчиков для выбора сигналов адаптивного управления, т.е. гибкого изменения программы движения манипулятора в соответствии с фактической обстановкой. В настоящее время в таких системах широко используются компактные микропроцессорные устройства (контроллеры).

Адаптивные промышленные роботы необходимы во всех случаях, когда трудно обеспечить строго определенные условия работы, при обходе препятствий, при работе на конвейере с движущимися деталями, в сборочных операциях, при дуговой сварке, окраске, нанесении покрытий и в других операциях. Адаптивные роботы второго поколения эксплуатируются на производстве и постоянно совершенствуются.

Третье поколение – интеллектуальные роботы с разнообразными сенсорными устройствами, с микропроцессорной обработкой информации, устройствами распознавания и анализа ситуации, с автоматической выработкой роботом решения о своих дальнейших действиях, для выполнения нужных технологических операций в неопределенной или меняющейся обстановке – это роботы с элементами искусственного интеллекта.

Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы по классификационной схеме делятся на пять родов:

- манипуляторы с командным управлением,
- копирующие манипуляторы,

полуавтоматические манипуляторы,
роботы с супервизорным управлением,
роботы с диалоговым (интерактивным) управлением.

Только два последних из них названы роботами, так как они наряду с дистанционным управлением имеют полностью автоматический режим работы.

Манипуляторы с командным управлением характеризуются тем, что человек-оператор включает по отдельности приводы каждого манипулятора дистанционно путем нажатия на соответствующие кнопки или тумблеры. Такие манипуляторы применяют, например, на обитаемых подводных аппаратах.

В таком же командном режиме часто производится «обучение» промышленного робота с пульта управления. По аналогичному принципу работают и так называемые телеоператоры, находящиеся в опасной зоне.

Копирующие манипуляторы, находящиеся в опасной зоне, управляются дистанционно человеком – оператором с удаленного безопасного места при помощи командного устройства, кинематика манипулятора адекватна сигналам управления. При этом движение каждого сустава задающего механизма передается на соответствующий сустав рабочего манипулятора по принципу следящей системы. Такие манипуляторы применяют для работ при наличии радиации, загазованности и в других экстремальных условиях.

Полуавтоматические манипуляторы, в отличие от копирующих, в качестве задающего устройства на пульте оператора имеют компактную многостепенную управляющую рукоятку, кинематика которой может быть произвольной, удобной для малых движений руки человека. Снимаемые с неё электрические сигналы преобразуются с помощью специализированного вычислителя в сигналы управления на приводы манипулятора. Здесь возможны различные алгоритмы управления.

Роботы с супервизорным управлением характеризуются тем, что элементы выполняемых ими операций запрограммированы и могут воспроизводиться автоматически. Человек-оператор, наблюдающий

дистанционно за действиями робота, установленного в опасной зоне, подает только отдельные корректирующие команды, по которым включается та или иная программа автоматических действий робота. За человеком остается лишь функция распознавания обстановки и принятая решений. После подачи им целевой команды робот действует по определенной программе. Если этот робот является адаптивным, то человек-оператор может подавать более редкие и более «глобальные» команды.

Роботы с комбинированным управлением – это роботы, в которых сочетаются автоматические режимы (как у роботов с супервизорным управлением) с режимами управления от руки (как у полуавтоматического или копирующего манипулятора). Их применяют на необитаемых подводных аппаратах, во взрывоопасных и горячих цехах, для безлюдной работы в шахтах, в атомной энергетике и т.п. Такое комбинированное управление используют в различных типах телеоператоров.

Роботы с диалоговым (интерактивным) управлением, как правило, являются интеллектуальными, а отличаются от супервизорных тем, что робот не только принимает команды человека для их исполнения, но и сам активно участвует в распознавании обстановки и принятии решения, помогая в этом человеку-оператору.

Наконец третий вид манипуляционных робототехнических систем (ручные) делятся на шарнирно-балансирные манипуляторы и экзоскелетоны (усилители конечностей человека).

Шарнирно-балансный манипулятор представляет собой многозвенный механизм с приводами в каждом шарнире, которые при любой величине удерживаемого манипулятором груза (в пределах его грузоподъемности), при любом расположении звеньев в пространстве находятся в равновесии. Поэтому человек, взявшись за рукоятку манипулятора, легко может перемещать большой груз. Двигая рукоятку, человек осуществляет подачу управляющих сигналов, при этом вся работа по перемещению груза выполняется приводами, размещенными в суставах манипулятора. Такие системы удобны для погрузочно-разгрузочных работ.

Экзоскелетоны – многозвенные механизмы, звенья которых непосредственно сопряжены с руками или ногами человека. В шарнирах механизмов, соответствующих суставам человека, в этом случае также помещены управляемые двигатели, берущие на себя всю тяжесть работы. Движения самого человека формируют лишь сигналы управления. Такие системы применяют для усиления конечностей человека. Это бывает полезно для выполнения тяжелых работ и движения по труднопроходимой местности. Экзоскелетоны можно встраивать, например, в водолазные костюмы для облегчения и усиления действий водолазов, когда это необходимо.

Типы, на которые делится каждый род (поколение) роботов, различаются принципами и техникой построения управляющих устройств, приводом в шарнирах манипулятора, числом звеньев манипулятора, грузоподъемностью, видом сенсорных (чувствительных) устройств, математическим программным обеспечением и т.п.

Для полной ориентации объекта необходимы три степени подвижности, которые обычно реализуются тремя вращательными парами, осуществляя повороты захвата в горизонтальной, вертикальной плоскостях и вокруг оси захвата.

Промышленные роботы могут быть колесными, гусеничными и шаговыми. Тип рабочей зоны – одна из важных характеристик. Это траектория, описываемая при прохождении рабочим органом предельно достижимых положений.

Для общей характеристики достаточно определить тип рабочей зоны: рабочая зона на плоскости, в сфере и объеме, ограниченном поверхностью в виде параллелепипеда, цилиндра, шара или их комбинаций. Этим типам соответствуют разные системы координат.

Грузоподъемность – это масса перемещаемых изделий и орудий труда. Подразделяются на:

- сверхлегкие (ряд грузоподъемностей 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,63; 1,0 кг);
- легкие (1,5; 2,5; 4,0; 6,3; 10,0 кг);
- средние (16, 25, 63, 100 кг);

- тяжелые (160, 250, 400, 630, 1000 кг);
- сверхтяжелые (свыше 1000 кг).

Тип приводов – пневматический, гидравлический и электромеханический. Часто применяют комбинации, например, тип привода захвата может отличаться от типа приводов звеньев манипулятора.

Типы систем управления разделяют по принципу управления: роботы с программным управлением, роботы с сенсорными чувствительными устройствами и роботы с искусственным интеллектом.

В первом случае работает жесткая программа. Во втором – управление ведется с учетом фактического состояния внешней среды, в третьем – робот снабжают чувствительными сенсорными устройствами в виде тактильных, локационных, телевизионных, оптических и других устройств.

Системы управления роботов с сенсорными чувствительными устройствами делятся на неадаптивные и адаптивные. Роботы с искусственным интеллектом являются дальнейшим развитием роботов с сенсорными чувствительными устройствами в части алгоритмов функционирования и соответствующего сенсорного обеспечения.

По типу движения по отдельным степеням подвижности системы управления ПР делятся на СУ непрерывного (контурного) и дискретного (позиционного) управления движением.

По виду систем управления (СУ) ПР СУ делятся на системы индивидуального и группового управления.

Под классом точности позиционирования и воспроизведения траекторий обычно понимается абсолютная точность позиционирования захвата, однако более объективно класс точности определяется относительной погрешностью позиционирования или воспроизведения траекторий.

Относительная погрешность – это величина, характеризующая точность ПР и равная отношению абсолютной ошибки перемещения захвата в заданную точку к минимальному расстоянию от оси ближайшей к основанию робота кинематической пары до границы рабочей зоны, выраженная в процентах. ПР различают также по типам исполне-

ния – нормальное, пылезащитное, теплозащитное, взрывобезопасное и т.п.

Еще один признак – «назначение» по степени универсальности:

- специальные ПР – для деталей одного типа;
- специализированные – для деталей одного класса;
- универсальные ПР.

При классификации существующих и создаваемых роботов могут быть использованы различные подходы, наиболее распространенными из которых являются разделение (ПР) по поколениям.

К ПР первого поколения относятся наиболее простые, легко перестраиваемые автоматы, вся последовательность действий которых заранее определяется жесткой программой. Для таких систем оператор является единственным источником управления. Информация о требуемых действиях вводится в процессе обучения робота в запоминающее устройство. Информация, вводимая в процессе программирования, включает в себя данные о последовательности движений и положений звеньев манипулятора в соответствующие моменты времени.

Для жестко программируемых роботов в процессе обучения могут быть применены три способа программирования: ручной, полуавтоматический, автоматический. При ручном способе оператор участвует во всех этапах программирования, имитируя перемещение захвата манипулятора в нужные точки рабочей зоны. При этом координаты точек записываются в кодах на устройство программирования. При полуавтоматическом программировании оператор участвует в нескольких этапах формирования программы. При автоматическом – задача оператора сводится к укрупненному формированию программы и предварительных данных управляющему устройству.

ПР второго поколения представляют собой гибко программируемые устройства, оснащенные средствами, позволяющими получать информацию о свойствах внешней среды. Причем изменения окружающей обстановки должны быть заранее определены так, чтобы в ходе выполняемой работы робот мог автоматически скорректировать программу в соответствии с ними (неадаптируемые ПР). Более сложные,

так называемые адаптивные (сенсорные) роботы могут выполнять различные операции в условиях заранее неизвестных изменений внешних и внутренних параметров.

К промышленным роботам третьего поколения относятся устройства с развитой сенсорной системой, высоким уровнем автоматизации и самостоятельности поведения в изменяющейся неупорядоченной среде. Их называют интегральными роботами. Роль человека в управлении ими должна сводиться лишь к принципиальному анализу обстановки, принятию решений, носящих обобщенный характер, и выдаче целевых указаний на языке микропрограмм.

Принципиально ПР состоят из несущего корпуса (станины), расположенного в зависимости от исполнения на колесном (гусеничном) ходу, магнитных подушках, порталах, неподвижно на фундаментах и др. Построение кинематической схемы привода основных звеньев ПР включает один или несколько манипуляторов с захватными устройствами. В конструкции ПР имеются приводы различного принципа действия (гидравлический, пневматический, электромеханический, магнитный и др.). Для работы в автоматическом режиме в состав ПР входит программное устройство различного принципа действия или управляющие вычислительные комплексы, в том числе со свойствами выполнения адаптивных или интеллектуальных функций заданного уровня сложности.

Характер и последовательность выполняемых функций ПР определяется составленными алгоритмами его работы, по которым составляется программа работы ПР с построением необходимых ходограмм перемещения исполнительных органов (для синхронизации и оптимизации их работы) и соответствующих циклограмм в зависимости от состава и назначения РТК.

Пример РТК для горячей штамповки из штучной заготовки на базе одного из вариантов ПР представлен на рис. 6.1.

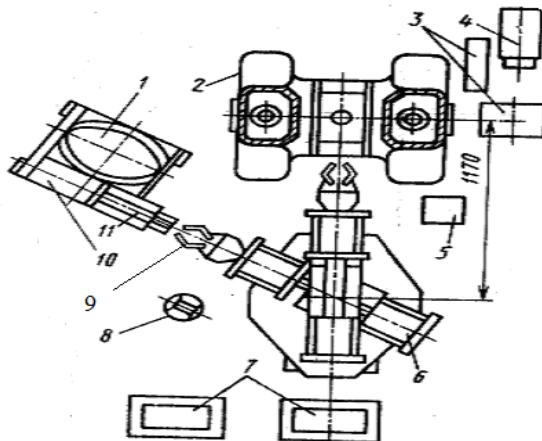


Рис. 6.1. Схема РТК для горячей штамповки из штучной заготовки:

- 1 – питатель (загрузочное устройство); 2 – основное технологическое оборудование – пресс; 3 – блоки электропитания и электрооборудования; 4 – насосная станция гидропривода и смазки; 5 – тара для готовых деталей; 6 – робот; 7 – пульт управления и блоки электроники; 8 – устройство контроля температуры нагрева заготовок (пирометр); 9 – захватное устройство; 10 – устройство выдачи заготовок с питателя для захватного устройства; 11 – индуктор для нагрева заготовок.

Для более детального изучения конструкции и работы РТК рассмотрим принцип построения и работы РТК для штамповки деталей из штучной заготовки (рис. 6.2). В состав РТК входят: кривошипный пресс 1, промышленный мини-робот (ПМР-0,5-200КВ) 2, электронное цикловое программное устройство (ЭЦПУ-6030) 3, ориентирующее устройство магазинного типа 4. В операциях ОМД промышленные роботы используются, в основном, для загрузки заготовок на позицию штамповки, удаления готовых деталей и отходов, а также в качестве транспортных средств для передачи заготовок с одной позиции штамповки на другую.

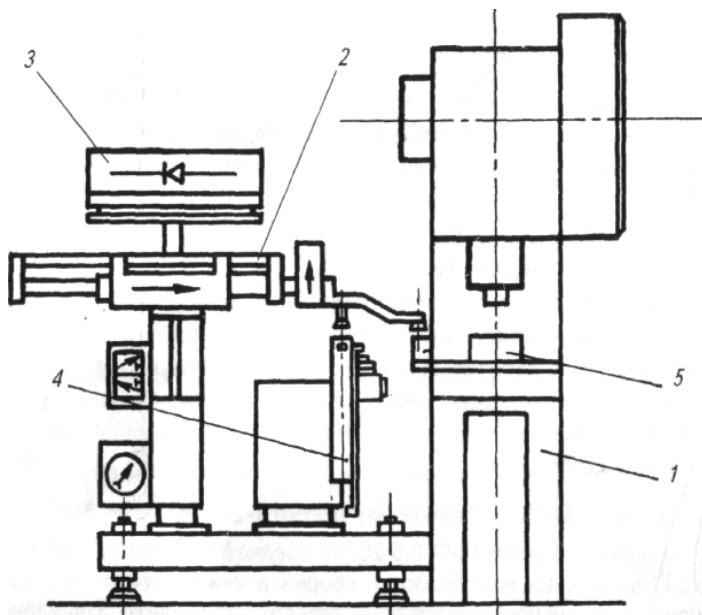


Рис. 6.2. Состав роботизированного комплекса: 1 – кривошипный пресс; 2 – промышленный мини-робот; 3 – электронное цикловое программное устройство; 4 – ориентирующее устройство магазинного типа; 5 – штамп

В технологической последовательности РТК робот берет заготовку на позиции выдачи (ориентирующее устройство 4), переносит ее на позицию штамповки (штамп 5). По окончании технологической операции штамповки робот удаляет отштампованную деталь в тару или переносит ее на следующую операцию обработки. После этого цикл повторяется. Управление работой РТК в режиме «Цикл» или «Автомат» осуществляется с пульта циклового управления ЭЦПУ-6030 после набора и установки программы по разработанному алгоритму работы РТК.

6.2. Промышленный робот ПМР-0,5-200КВ

Робот (рис. 6.3) предназначен для автоматизации операций штамповки, механической обработки, сборки, а также других технологических процессов, где необходимо осуществлять функции взятия, переноса и установки заготовки на технологическое оборудование для обработки.

Робот ПМР-0,5-200КВ имеет модульную конструкцию. В его состав входят: модуль поворота (В-240) 1; стойка (СК-8А) 2, предназначенная для закрепления манипулятора и распределения сжатого воздуха; пневмоцилиндр привода манипулятора (ПД-200) 3; кисть для вертикального перемещения рабочих органов робота (К-25) 4; захватное устройство (двух типов – клещевое УЗК 6 и вакуумное УЗВ-200 5); пульт циклового управления (ЭЦПУ-6030) 7; блок подготовки воздуха (ПБ-1 16/10) 8.

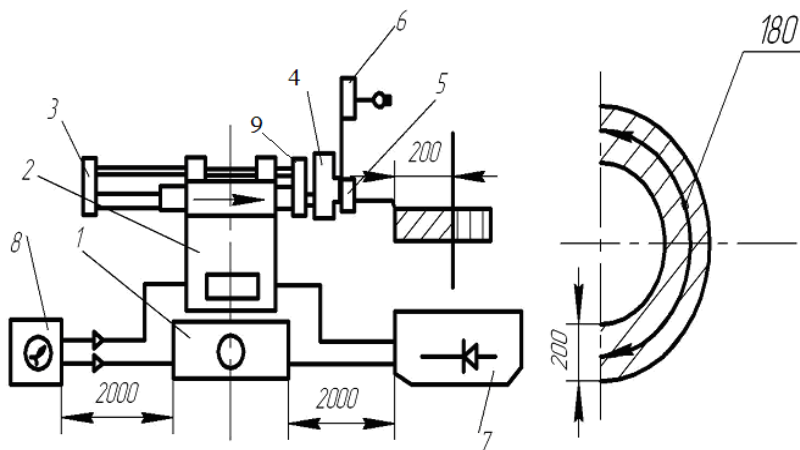


Рис. 6.3. Структурная схема промышленного робота ПМР-0,5-200КВ:
1 – модуль поворота (В-240); 2 – стойка (СК-8А); 3 – пневмоцилиндр привода манипулятора (ПД-200); 4 – кисть (К-25); 5 – захватное устройство вакуумное УЗВ-200; 6 – захватное устройство клещевое УЗК; 7 – пульт циклового управления (ЭЦПУ-6030); 8 – блок подготовки воздуха (ПБ-1 16/10);
9 – манипулятор

Типовой пример построения алгоритма и программы РТК

Пусть манипулятору требуется перенести деталь из точки *a* в точку *b*. Используем для этой операции захватное устройство манипулятора. В исходном положении захватное устройство открыто и находится в точке *b*. На рис. 6.4 показана последовательность перемещений манипулятора (вид сверху), а в табл. 6.1 – вариант программы (вариант 1), записываемой в запоминающее устройство системы управления.

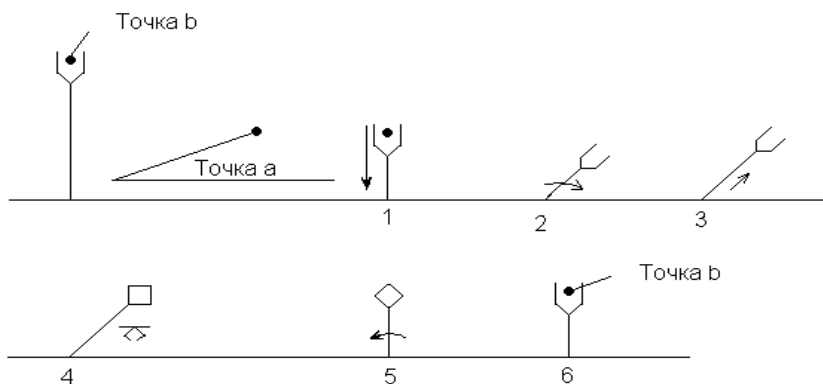


Рис. 6.4. Последовательность перемещения манипулятора:
1, 2, ... – номера позиций (перемещений) исполнительного устройства (ИУ) манипулятора

Таблица 6.1 – Символика перемещений исполнительного устройства ПР

Номер перемещения промежуточной точки	Символика перемещения	Комментарий
1	●	Перемещение назад
2	↻	Поворот по часовой стрелке
3	⊗	Выдвижение вперед
4	◊	Захватное устройство закрыто
5	↺	Поворот против часовой стрелки
6	⌞	Захватное устройство открыто

После составления и набора программы на устройстве программирования необходимо проверить ее выполнение сначала в режиме «КОМАНДА», а затем в режиме «ЦИКЛ». Если все команды отрабатываются промышленным роботом правильно, то пульт управления переключается в режим «АВТОМАТ» и РТК начинает работать в автономном режиме. Характеристики мини-робота приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Характеристики мини-робота

Масса перемещаемого изделия, не более, кг	0,5
Число степеней подвижности (без захвата)	3
Величина горизонтального перемещения манипулятора, мм	200
Величина вертикального перемещения кисти, мм	35
Максимальный угол поворота манипулятора, град	180
Погрешность позиционирования, мм при линейных перемещениях	0,05
при повороте	0,1
Средняя скорость, не менее, мм/с горизонтального перемещения	220
вертикального перемещения	100
Средняя скорость поворота, не менее, град/с	90
Время захвата и освобождения заготовки, не более, с	0,3
Способ управления	Программный
Число программируемых точек по каждой степени подвижности	2
Тип привода	Пневматический
Режимы работы	Ручной, Команда, Цикл, Автомат
Масса мини-робота, не более, кг	90
Габаритные размеры манипулятора, мм	1100x300x540

Манипулятор мини-робота состоит из двухпредельного пневмоцилиндра и стойки, смонтированных на модуле поворота. Для эксплуатации мини-робота на его манипулятор устанавливается кисть с различ-

ными вариантами захватов. Устройство управления ЭЦПУ-6030 монтируется отдельно и соединяется с манипулятором кабелями.

Сжатый воздух подается к электропневматическим клапанам манипулятора через узел подготовки воздуха, который обеспечивает постоянство необходимого давления, подачу воздуха и смазки в пневмоцилиндры привода манипулятора и захвата. Электропневматические клапаны установлены в манипуляторе на каждое движение. Каждый клапан снабжен дросселем, установленным на выходе, при помощи которого можно регулировать скорость движения.

Работа манипулятора производится по конечным регулируемым упорам. Амортизация выдвигения и поворота манипулятора осуществляется специальными гидравлическими демпферами. Амортизация подъема-опускания кисти осуществляется дросселированием подачи воздуха.

Последовательность и количество движений устанавливается набором программы на устройстве управления ЭЦПУ-6030 установкой переключателей согласно кодам команд на верхнем и нижнем рядах переключателей в соответствии с принятой схемой реализации технологического процесса.

Сигнал о выполнении каждого движения, за исключением захвата, выдают магнитоуправляемые электрические контакты (КЭМ) при подходе к ним постоянных магнитов, установленных на подвижных частях робота. Только после получения сигнала о выполнении текущего движения происходит выдача команды на выполнение последующего движения. При отсутствии сигнала от КЭМ о выполнении движения происходит остановка мини-робота до получения сигнала. Конструкция робота ПМР-0,5-200КВ включает как специальные, так и унифицированные детали и узлы.

Электронное цикловое программное устройство ЭЦПУ-6030 для циклового программного управления роботом предназначено для управления манипуляторами с позиционированием по упорам и соответствующим технологическим оборудованием (рис. 6.5). Оно рассчитано на обработку 30 шагов программы.



Рис. 6.5. Электронное цикловое программное устройство

Пульт управления предназначен для оперативного управления устройством и отображения состояния робота. С пульта управления можно задать один из следующих режимов работы устройства: РУЧНОЙ, КОМАНДА, ЦИКЛ, АВТОМАТ.

В режиме РУЧНОЙ команды на манипулятор задаются с пульта управления и поступают на блок усилителей и далее на манипулятор для управления его подвижными органами. Контроль положения исполнительных органов манипулятора осуществляется с помощью табло индикации состояния звеньев манипулятора.

В режиме КОМАНДА устройство обеспечивает обработку одного кадра программы, набранной на программноносителе. После обработки команд, заданных в кадре, происходит остановка устройства.

В режиме ЦИКЛ устройство обеспечивает однократную обработку всех кадров программы.

В режиме АВТОМАТ устройство обеспечивает многократную обработку рабочего цикла робота.

При нажатии кнопки режима РУЧНОЙ на звено манипулятора выдается команда, мнемоническое изображение которой нанесено на табло над кнопкой, табло при этом загорается.

На пульте управления (рис. 6.6) расположены следующие органы управления:

- а) переключатель РЕЖИМОВ РАБОТЫ, устанавливающий один из четырех режимов работы (АВТОМАТ, ЦИКЛ, КОМАНДА или РУЧНОЙ);
- б) 12 кнопок ручного управления звеньями манипулятора;
- в) кнопка ПУСК, используемая для запуска устройства;
- г) кнопка СТОП, используемая для остановки устройства, работающего по программе;
- д) кнопка СБРОС СЧК, предназначенная для обнуления счетчика кадров;
- е) кнопка +1 СЧК, предназначенная для пуска программы с произвольного шага;
- ж) кнопка СЕТЬ.

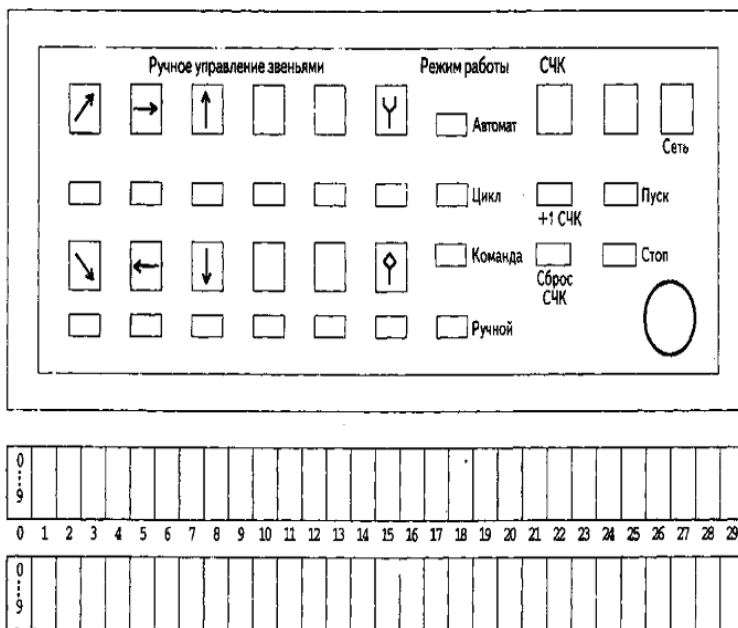


Рис. 6.6. ЭЦПУ 6030: Программоноситель и пульт управления

На пульте также размещены следующие элементы индикации:

- а) табло индикации состояния звеньев манипулятора;
- б) табло РАБОТА, отображающее работу устройства по заданной программе;
- в) табло десятичной индикации номера шага СЧК;
- г) табло СЕТЬ.

Кнопка ПУСК функционирует только в режимах АВТОМАТ, ЦИКЛ, КОМАНДА.

Программоноситель (рис. 6.6) выполнен в виде двух наборных полей из многопозиционных переключателей и размещен в верхней части устройства в специальной нише, закрываемой крышкой. Каждый кадр программы может содержать одну или две команды, набираемых на верхнем и нижнем полях программоносителя.

Выключение устройства (в том числе и аварийное) осуществляется нажатием кнопки аварийного отключения устройства, расположенной в верхней части корпуса.

Программа составляется по циклограмме работы робота, которая разбивается по шагам. Максимальное число шагов рабочего цикла (а соответственно и программы) – 30. Программоноситель, на котором набирается программа, выполнен в виде двух наборных полей (рядов) многопозиционных переключателей по 30 штук (число шагов программы) в каждом поле (ряду).

Наличие верхнего и нижнего полей программоносителя позволяет исполнять одну или две команды. Если в кадре при программировании соответствующая команда набирается на верхнем поле, а на нижнем поле вместо знака * устанавливается цифра 0, то данный кадр состоит из одной команды. Кадр также состоит из одной команды, если на верхнем поле вместо знака * устанавливается цифра 0.

Кадр совместной (параллельной) отработки формируется из двух команд, набираемых в одном шаге на верхнем и нижнем полях. Переход к следующему шагу происходит только после отработки предыдущих команд управления звеньями манипулятора, набранных на программоносителе.

Составление, набор и отладка программы работы РТК

Составление программы начинается с записи цепочки логической последовательности срабатывания всех элементов робота и технологического оборудования (кадров программы). При этом необходимо предусмотреть все движения манипулятора, необходимые для осуществления требуемой последовательности перемещения и обработки детали.

Составление программы всегда целесообразно сочетать с построением циклограммы, на которой по оси абсцисс отработка той или иной команды откладывается в масштабе времени. Время отработки команды определяется из паспортных данных промышленного робота и оборудования и может быть рассчитано по формуле:

– $t = s/v$, [сек] – для линейных перемещений, где s – величина данного линейного перемещения, [м]; v , [м/сек] – скорость перемещения на пути s соответственно.

– $t = \alpha/\omega$, [сек] – для угловых перемещений, где α – величина углового перемещения, [град]; ω – скорость углового перемещения, [град/сек].

Время цикла работы робота $T_{ц}$ при выполнении конкретной производственной задачи по построенному алгоритму и заданной набранной программе равно алгебраической сумме отдельных дискретных отрезков времени t_i выполнения всех дискретных перемещений:

$$\left(T_{ц} = \sum_{i=1}^n t_i \right).$$

Например, для выполнения конкретной задачи для робота на верхнем поле (ряду переключателей) и нижнем поле (ряду переключателей) программноносителя набираются цифровые коды, обеспечивающие выполнение той или другой команды заданной программы (табл. 6.3).

В каждом кадре может быть записана одна или две команды, набранные на верхнем и нижнем поле (ряду переключателей) программноносителя.

Таблица 6.3. – Алгоритм (состав команд и порядок их выполнения) и программа (коды команд, числитель – верхнее поле, знаменатель – нижнее поле).


№	Команда	Код	Линейное перемещение, мм	Время, с	Циклограмма
1	поворот (вправо)	1/0		0,9	
2	выдвижение захвата	3/0		1,0	
3	опускание захвата	0/1		0,35	
4	захват заготовки	0/5		0,3	
5	подъем захвата	0/2		0,35	
6	втягивание захвата	4/0		1,0	
7	поворот (влево)	2/0		0,9	
	и т. д.				

Стандартные коды команд приведены в табл. 6.4. Система стандартных команд разбита на 4 группы:

1. команды управления звеньями манипулятора (12 команд),
2. команды управления технологическим оборудованием (6 команд),
3. команды опроса датчиков (4 команды) и выдержки времени (команды опроса используются для проверки блокировочных сигналов со спецдатчиков, расположенных на манипуляторе или технологическом оборудовании);
4. команды управления – пропуск кадра, переход к нужному кадру и т. д.

Если в кадре при программировании соответствующая команда набирается на верхнем или нижнем поле, а на другом поле набирается цифра 0, то данный кадр состоит из одной команды. Кадр совместной обработки формируется из двух команд, например, команды «вперед» и «вверх» могут быть записаны или отдельно в двух кадрах 3/0 и 0/2 и выполняться последовательно, или в одном кадре 3/2, при этом они выполняются одновременно (совместно, параллельно). Кадры совместной обработки используются для оптимизации программы с целью уменьшения общего времени цикла работы робота.

Таблица 6.4 – Стандартные коды команд

Группа	Команда	Название команды	Обозначение	Код	
				верхнее поле	нижнее поле
1	1	Звено 4-2 поворот вправо		2	0
	2	« 1-2 поворот влево		1	0
	3	« 2-1 манипулятор вперед		3	0
	4	« 2-2 манипулятор назад		4	0
	5	« 3-1 опускание захвата		0	2
	6	« 3-2 подъем захвата		0	1
	7	« 4-1 втягивание захвата		0	3
	8	« 4-2 поворот манипулятора		0	4
	9	« 5-1 манипулятор вперед		5	0
	10	« 3-1 опускание захвата		6	0
	11	« 6-1 выкл. захвата		0	5
	12	« 3-2 подъем захвата		0	6
2	13	Тех команда 1		9	1
	14	« 2		9	2
	15	« 3		9	3
	16	« 4		9	4
	17	« 5		9	5
	18	« 6		9	6
3	19	Опрос датчиков 1		7	0
	20	« 2		8	0
	21	« 3		0	7
	22	« 4		0	8
4	23	Выдержка времени		0	9
	24	Пропуск		9	7
	25	Переход		9	8
	26	Остановка		9	9
	27	Конец программы		0	0

Исходной задачей работы робота и всего РТК является технологический процесс, по содержанию которого составляется алгоритм (точное и понятное предписание исполнителю совершить последовательность заданной совокупности действий, направленных на решение роботом поставленной задачи за конечное число шагов) работы робота с последующим программированием и установкой (набором) программы по указанному алгоритму на программонosite.

Основой для построения алгоритма работы РТК является модель, построенная методами математического моделирования, которая позволяет глубоко и объективно представить технологический процесс и построить алгоритм. В данном случае модель представляет собой логико-математический набор цифр и функций, определяющих назначение её компонентов.

Методы кодирования на языке программирования и комментирование программы работы робота или автомата.

Кодирование состоит в получении правильной программы из некоторых простых логических структур. Оно базируется на строго доказанной теореме о структурировании, которая утверждает, что любую правильную программу можно написать с использованием следующих основных логических структур:

- следование (линейная);
- разветвление (нелинейная);
- циклическая.

Также возможны различные комбинации указанных структур для создания правильных программ. Получаемые программные продукты с использованием этих трех основных структур также являются правильными программами. Особенностью процесса является то, что каждая структура имеет один вход и один выход. Применяя процессы итерации и синтеза основных структур, можно получить программу любого размера и сложности. При таком подходе возникает необходимость в безусловных переходах и метках, построении различных моделей процессов создания программ.

6.4. Выбор методов тестирования программ работы роботов в составе РТК или автоматических линий производства

Тестирование – (тестовые прогоны) – это процесс многократного выполнения программы с целью выявления ошибок. Тестовый прогон считается удачным, если он позволяет выявить ошибки, или же эффективность тестового набора определяется вероятностью обнаружения с его помощью некоторого числа прогнозируемых ошибок.

Трудность тестирования состоит в том, что процесс этот творческий, плохо поддающийся формализации. Тестирование – одна из составляющих частей более общего понятия отладки программ. Выделяют четыре метода тестирования:

- статистический;
- детерминированный;
- стохастический;
- в реальном времени.

Статистический метод основан на особенностях структурного построения программ и обработки данных в них. Операторы и операнды текста программы анализируются в семантическом виде, поэтому этот метод по содержанию является семантическим тестированием и делает программу наглядно читаемой, позволяет проводить тестирование отдельных модулей ручным методом, без использования ЭВМ. Этим методом можно найти от 30 до 80 процентов ошибок логического проектирования и кодирования. Он способствует существенному увеличению производительности и повышению надежности программ, позволяет раньше обнаружить ошибки, и тем самым уменьшить количество и степень исправлений, если сами исправления логически достоверны и не вносят в тестируемую и корректируемую программу ещё большие ошибки.

Детерминированный метод является наиболее трудоемким и детализованным и подразделяется на *структурное тестирование* и *функциональное тестирование*.

Структурное тестирование программы предполагает детальное изучение текста (логики) программы и построение таких входных наборов данных, которые позволили бы, при многократном выполнении программы, обеспечить выполнение максимально возможных маршрутов, логических ветвлений. Использование этого метода вполне оправдано, потому что нецелесообразно подходить к только что созданной программе как к неизвестному продукту для его тестирования.

Функциональное тестирование требует многократного выполнения программы на ЭВМ с использованием специальным образом подобранных тестовых наборов и вариантов данных. Производится контроль каждой комбинации исходных данных и соответствующих им результатов. Детерминированное тестирование, в силу трудоёмкости, рекомендуется применять для отдельных модулей в процессе сборки программы или для небольших программных комплексов. При тестировании программного продукта по этому методу невозможно перебрать все комбинации исходных данных и проконтролировать результаты функционирования по каждой из них. Поэтому для комплексного тестирования программ применяется стохастическое тестирование.

Стохастическое тестирование предполагает использование в качестве исходных данных множество случайных величин $x_i \in X$ с определенными свойствами и соответствующими распределениями $\forall x_i, F(x_i) = \{F_1, F_2, \dots, F_i\} [x_i \in X]$, где x_i – характеристические элементы множества $\{X\}$ со свойствами F_i . Соответственно для сравнения результатов используется также закон распределения выходных случайных величин, где отклонения ε могут подчиняться закономерностям, существенно отличающимся от закона нормального распределения, принятого для формирования достоверных программ. В зависимости от специфики программного продукта можно определить предел, когда влияние систематических программных факторов C_i является доминирующим над случайными слагаемыми μ_i , и распределение погрешностей можно считать соответствующим нормальному закону распределения. В этом случае для любого текущего момента времени t работы программы сумма всех погрешностей $\varepsilon(t) = \sum \mu_i + C_i \leq [\varepsilon]$. Тогда закон

распределения погрешностей по времени работы программы можно

представить в виде: $\varepsilon_{\Sigma t} = \frac{1}{t_i - t_0} \int_{t_0}^{t_i} \frac{1}{\sigma_0 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[x_i - \mu_0 - C_i(t)]^2}{2\sigma_0^2}}$, где σ_0 – дис-

персия распределения выходных случайных величин в момент времени t_0 . Диапазоны значений $\varepsilon_{\Sigma t}$ могут быть достаточно разнообразными, но допустимыми значениями для слагаемых C_i является их равномерное распределение по времени работы программы, характеризуемое линейной зависимостью. Практика показывает, что закон распределения погрешностей может значительно отличаться от нормального и для текущего момента времени t_i значения C_i уже могут представляться функцией, характеризующей нелинейное изменение величины C_i для текущего состояния работы программы.

Стохастическое тестирование применяется для обнаружения ошибок, но для диагностики и локализации приходится переходить к детерминированному тестированию с использованием конкретных значений исходных данных из области изменения ранее использовавшихся случайных величин. Стохастическое тестирование наилучшим образом подвергается автоматизации путем использования случайных значений (генераторов случайных величин).

Тестирование в реальном времени. Программные продукты, предназначенные для работы в системах реального времени, должны проходить тестирование в реальном масштабе времени. В процессе тестирования проверяются результаты обработки исходных данных с учетом времени их поступления, длительности и приоритетности обработки, динамики использования памяти и взаимодействия с другими программами. При обнаружении отклонений результатов от ожидаемых для локализации и исправления ошибок необходимо фиксировать время отклонений и переходить к детерминированному тестированию.

7. СВЯЗЬ (СИНХРОНИЗАЦИЯ) РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ В СТРУКТУРЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ И ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ. ЦИКЛОГРАММЫ

При компоновке автоматических линий и гибких производственных модулей используются схемы последовательного, смещенного и комбинированного цикла совместной работы их компонент, а графическое представление цикла в виде циклограммы характеризует взаимодействие во времени движения всех основных единиц оборудования и вспомогательных механизмов в АСУ ТП. Циклограммы строятся на полный цикл работы основного технологического агрегата, включая средства автоматизации и все механизмы, в том числе и блокирующие. Наиболее универсальными и применяемыми являются циклограммы в прямоугольных координатах, которые позволяют согласовать взаимодействие оборудования, устройств и механизмов как в период их совместной работы, так и при остановке. Например, циклограмма комбинированного цикла работы (рис. 7.1) как усовершенствованной разновидности последовательного цикла показывает, что работа оборудования (пресса) и средств автоматизации также происходит последовательно, но действия частично совмещены во времени и потери времени меньше за счет исключения t_{BA} и t_{BP} и за счет того, что они частично совмещены во времени: $t_{ц} < t_{ман.} + t_{авт.}$.



Рис 7.1. Циклограмма комбинированного цикла работы

Таким образом, комбинированный цикл имеет все основные преимущества последовательного при более высокой производительности. Для полной синхронизации совместной работы всех компонент необходимо одновременно строить и ходограммы их линейных и угловых перемещений с последующим совмещением с циклограммами.

8. ПРИВОД СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Приводы средств автоматизации индивидуальные или от прессы на примере варианта кузнечно-штамповочного производства (рис. 8.1) должны обеспечивать движение захватного органа с заготовкой (деталью) и без нее.

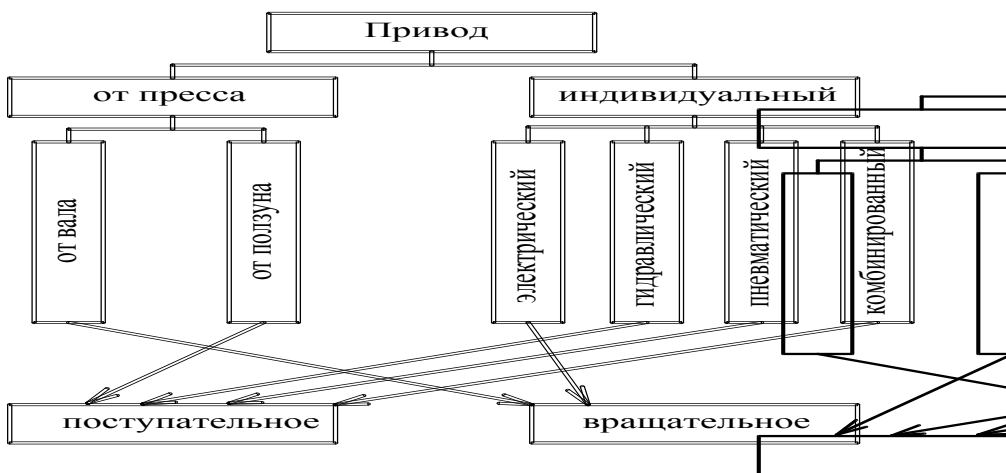


Рис. 8.1. Схема приводов в системах автоматизации КШП

Выбор типа привода зависит от особенностей устройств автоматизации, вида заготовок, типов захватного органа, вида прессы и т.д. Индивидуальный привод обеспечивает оптимальную скорость перемещения деталей или заготовок, позволяет более рационально компоновать автоматические линии и робототехнические комплексы.

В составе приводов используются преобразующие механизмы, которые характеризуются передаточным отношением, которое определяет соотношение скоростей ведомого звена привода ω_{II} , v_{II} и скорости его ведущего звена ω_3 , v_3 . Оно может быть либо безразмерным (i) или назначается размерность (длина – м; угол поворота – α^0).

Постоянное передаточное отношение имеют механизмы, состоящие из шестеренных, цепных, реечных, червячных и аналогичных звеньев.

Механизмы с переменным передаточным числом имеют, как правило, конструкцию рычажных, кривошипно-коленных и т.п. типа звеньев при одном или нескольких рычажных кривошипно-коленных соединениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Фомин, Г.Г.* Механизация и автоматизация широкополосных станов горячей прокатки [Текст] / *Г.Г. Фомин, А.В. Дубейковский, П.С. Гринчук.* – М.: Металлургия, 1999. – 321 с.
2. *Екимов, К.К.* Механизация и автоматизация кузнечно-штамповочного производства [Текст] / *К.К. Екимов.* – М.: Металлургия, 1980. – 182 с.
3. *Вендеров, А.М.* Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем [Текст] / *А.М. Вендеров.* – М.: Финансы и статистика, 2005.
4. *Конноли, Т.* Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика [пер. с англ.] / *Т. Конноли, К. Бегг.* – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2003.
5. *Попов, Е.А.* Технология и автоматизация листовой штамповки [Текст] / *Е.А. Попов, В.Г. Ковалев, И.Н. Шубин.* – М.: Изд. МВТУ, 2000. – 480 с.
6. *Михеев, В.А.* Автоматические линии и комплексы кузнечно-штамповочного производства: учеб. пособие [Текст] / *В.А. Михеев, С.Ф. Глуштенко* [и др.]. – Самара: изд-во СГАУ, 2004. – 168 с.
7. *Ковальчук, Е.Г.* Основы автоматизации машиностроительного производства: учебник для машиностроительных спец. вузов [Текст] / Под ред. *Ю.М. Соломенцева.* – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 312 с.
8. Промышленные работы: Справочник / *Ю.Г. Козырев* – М.: Машиностроение, 1988.– 392 с.
9. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами: в 2 т. / Под ред. *Т. Харрисона.* – М.: Мир, 1975.
10. Попов Ю.П., Письменный Г.В. Основы робототехники. – М.: Высшая школа. 1990-224 с.
11. Проектирование автоматизированных участков и цехов / Под ред. член.-корр. РАН *Ю.М. Соломенцева.* – М.. Высшая школа, 2003-272 с.
14. Вольфрам, П. Основы автоматизации / *П. Вольфрам, И. Адамски;* [пер. с нем. *В.В. Иванова*]. – М.: Высш. шк., 1990 – 141 с.

Учебное издание

Глустенко Станислав Федотович

**ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОМД**

Электронное учебное пособие

Редактор И.И. Спиридонова
Доверстка И.И. Спиридонова

Арт. 36 /2015.

федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)» (СГАУ)
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во СГАУ 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

ISBN 978-5-7883-1043-5



9 785788 310435

5 0000