

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 15.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра машиностроения

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 15.03.01*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 621.7 (073)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.Е. Ефимов, В.А. Красный, А.Д. Халимоненко*. СПб, 2020. 64 с.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» предназначены для студентов бакалавриата направления 15.03.01 «Машиностроение», направленность профиля «Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

Научный редактор проф. *В.В. Максаров*

Рецензент проф. *Д.В. Васильков* (Балтийский государственный технический университет «ВОНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

ВВЕДЕНИЕ

Целью практических занятий является приобретение студентами навыков проектирования и расчета средств технологического оснащения автоматизированного производства. В первую очередь к этим средствам относятся средства функционирования гибких производственных систем (ГПС), поэтому цель работ заключается в приобретении навыков проектирования и расчета ГПС и комплексов.

Практические работы являются самостоятельной инженерной работой студента.

Задачи практических занятий:

- закрепить теоретические знания, полученные при изучении дисциплины «Автоматизация производственных процессов в машиностроении», и расширить технический кругозор;

- научиться самостоятельно проектировать и конструировать средства автоматизации, выполнять инженерно-технические расчеты, связанные с выбором оптимального варианта ГПС, ознакомиться с элементами ГПС.

Выполнение практических работ является подготовкой к завершаемому этапу обучения студента в университете, т.е. к выполнению выпускной квалификационной работы.

Студенты, успешно выполнившие и защитившие практические работы, допускаются к экзамену по дисциплине «Автоматизация производственных процессов в машиностроении».

Задание для выполнения практических работ выдается студентам индивидуально на занятиях. Практические работы выполняются в виде пояснительной записки, печатным текстом на листах формата А4 на одной стороне листа с тем, чтобы с другой стороны можно было внести дополнения или исправления после рецензирования. Поля на листе: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху – 15 мм, снизу – 20 мм. Пояснительная записка должна иметь титульный лист, оглавление и сквозную нумерацию страниц, начиная с первой страницы - титульного листа. Номер страницы на нем не ставится. При использовании тех или иных методик расчета, теоретических положений или различных справочных материалов в тексте должны

делаться ссылки на соответствующие литературные источники, которые представляют собой порядковый номер источника в перечне используемой литературы, заключенный в квадратные скобки.

В перечне используемой литературы указываются порядковый номер источника, фамилия автора и инициалы, наименование источника, издательство и год издания.

Все рисунки в пояснительной записке должны иметь номера и названия.

Буквенные обозначения должны быть расшифрованы, указаны единицы измерения используемых и получаемых в процессе вычисления величин в международной системе СИ.

Практическая работа 1

Расчет уровня автоматизации гибкого производственного модуля

I. Цель работы

1. Приобретение навыков для определения функций работы технологического оборудования (ТО) средствами автоматизации.

2. Изучение работы гибкого производственного модуля (ГПМ) и всех средств автоматизации технологического оборудования.

3. Определение уровней автоматизации и их значения для ГПМ.

Индивидуальные данные для расчета выдаются преподавателем.

II. Основные теоретические положения

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

Автоматизацией производственного процесса называют применение энергии неживой природы в производственном процес-

се или его составных частей для выполнения и управления ими (в течение определенного периода времени) без непосредственного участия людей.

Различают автоматизацию производства трех уровней: **частичную, комплексную и полную**.

Частичная автоматизация ограничивается автоматизацией отдельных операций технологического процесса, например, с использованием станков с автоматическим управлением, в том числе станков с ЧПУ.

Комплексная автоматизация – это автоматизация производственных процессов изготовления деталей и их сборки с использованием автоматических систем машин: автоматических линий или гибких производственных систем (ГПС).

Полная автоматизация – высшая ступень автоматизации, при которой все функции контроля и управления производством в течение определенного периода времени выполняются автоматически.

Автомат (от греческого *automates* – самодействующий) является самостоятельно действующим устройством или совокупностью устройств, выполняющих по заданной программе, без непосредственного участия человека процессы, которые осуществляют передачу, использование и преобразование энергии, материалов или информации.

Современное технологическое оборудование, предназначенное для преобразования формы, размеров и свойств заготовок, также преобразует информацию (программу обработки, результаты измерения размеров заготовок и т.д.). С повышением уровня автоматизации роль информационных процессов в производстве все более повышается, чем объясняется возрастающее применение вычислительной техники на базе персональных мини-ЭВМ, как для проектирования, так и для управления производством.

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

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

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

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

Производительность производственного процесса определяется числом изделий, выпускаемых в единицу времени или в течение определенного периода времени при условии полной загрузки оборудования.

В поточном производстве производительность Π измеряется величиной, обратной такту выпуска изделий τ :

$$\Pi = \frac{1}{\tau}. \quad (1)$$

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

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

Цикловая степень автоматизации ($K_{ц}$) – отношение времени автоматической работы t_a в течение цикла к полному времени

цикла t_u :

$$K_u = \frac{t_a}{t_u}. \quad (2)$$

Рабочая степень автоматизации K_p – отношение доли штучного времени автоматической работы t_a ко всему штучному времени $t_{шт}$:

$$K_p = \frac{t_a}{t_{шт}}. \quad (3)$$

Эксплуатационная степень автоматизации K_3 – отношение суммы времен автоматической работы t_a в течение расчетного периода времени (смена, месяц, квартал, год) к расчетному периоду времени эксплуатации t_3 :

$$K_3 = \frac{t_a}{t_3}. \quad (4)$$

Степень автоматизации K_a – безразмерный показатель, позволяющий количественно оценить уровень автоматизации отдельного станка, системы станков или производственного процесса:

$$K_a = \frac{(\sum_{i=1}^{N_{руч}} K_{руч_i} + \sum_{i=1}^{N_{авт}} K_{авт_i} + \sum_{i=1}^{N_{полуавт}} K_{полуавт_i})}{n}, \quad (5)$$

где $K_{руч_i}$ – общее значение ручных функций или технологических операций (каждая отдельная функция или операция, выполняемые в ручном режиме, обычно принимаются за «0»); $K_{авт_i}$ – общее значение функций или операций, выполняемых в автоматическом режи-

ме, т.е. без участия человека. Функцию, выполняемую в автоматическом режиме, принимают за «1»; $K_{\text{полавт}_i}$ – общее значение функций или операций, выполняемых в полуавтоматическом или в автоматизированном режимах. Функцию, выполняемую под контролем человека, принимают промежуточной, равной 0.5; n – общее количество функций или технологических операций, выполняемых на отдельном станке, в системе станков или в рамках определенного производственного процесса; $N_{\text{руч}}$ – общее количество ручных функций или операций; $N_{\text{авт}}$ – общее количество автоматических функций или операций; $N_{\text{полавт}}$ – общее количество полуавтоматических или автоматизированных функций или операций.

III. Описание схемы установки и пояснения к ее элементам

Определяем общее значение ручных, автоматизированных и автоматических функций, выполняемых на станке модели 1К62 по формуле (5):

$$\left(\sum_{i=1}^{N_{\text{руч}}} K_{\text{руч}_i} + \sum_{i=1}^{N_{\text{авт}}} K_{\text{авт}_i} + \sum_{i=1}^{N_{\text{полавт}}} K_{\text{полавт}_i} \right) = \\ = 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0.5 + 0.5 + 0.5 + 0.5 + 0 + 0 + 0 = 2.0.$$

Общее количество функций, которые выполняются на станке модели 1К62 $n = 12$, тогда степень автоматизации:

$$K_a(1\text{К}62) = \frac{\sum K_i}{n} = \frac{2.0}{12} = 0.167$$

Пример: функции, выполняемые на универсальном станке модели 1К62, представляется в следующей последовательности (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Функции, выполняемые на универсальном станке модели 1К62

№ п/п	Наименование функции	Уровень автоматизации	Значение
1	Установка заготовки на станке	ручной	0
2	Закрепление заготовки	ручной	0

Продолжение таблицы 1.1

№ п/п	Наименование функции	Уровень автоматизации	Значение
3	Установка инструмента	ручной	0
4	Закрепление инструмента	ручной	0
5	Включение оборудования	ручной	0
6	Настройка инструмента на размер	автоматизированный	0.5
7	Подвод инструмента	автоматизированный	0.5
8	Обработка заготовки	автоматизированный	0.5
9	Отвод инструмента	автоматизированный	0.5
10	Отключение станка	ручной	0
11	Контроль размера	ручной	0
12	Снятие готовой детали	ручной	0
Итого			1.5

Пример: функции, выполняемые на станке с ЧПУ модели 1720ПФ30, представляется в следующей последовательности (табл.1.2).

Таблица 1.2

Функции, выполняемые на станке с ЧПУ модели 1720ПФ30

№ п/п	Наименование функции	Уровень автоматизации	Значение
1	Установка заготовки на станке	ручной	0
2	Закрепление заготовки в патроне	автоматизированный	0.5
3	Установка инструмента	ручной	0
4	Идентификация инструмента	автоматизированный	0.5
5	Поиск инструмента	автоматический	1
6	Установка нулевой точки ин-та	автоматизированный	0.5
7	Включение оборудования	ручной	0
8	Обработка заготовки	автоматический	1
9	Отвод инструмента	автоматический	1
10	Отключение станка	автоматический	1
11	Контроль обрабатываемой поверхности	автоматический	1
12	Контроль целостности режущего инструмента	автоматический	1
13	Смена инструмента	ручной	0
14	Снятие готовой детали	ручной	0
Итого			7.5

Определяем общее значение ручных, автоматизированных и автоматических функций, выполняемых на станке с ЧПУ модели 1720ПФ30 по формуле (5):

$$\left(\sum_{i=1}^{N_{\text{руч}}} K_{\text{руч}_i} + \sum_{i=1}^{N_{\text{авт}}} K_{\text{авт}_i} + \sum_{i=1}^{N_{\text{полуавт}}} K_{\text{полуавт}_i} \right) = 0 + 0.5 + 1 + 0.5 + 1 + 0.5 + 0 + 1 + 1 + 1 + 1 + 0 + 0 = 7.5.$$

Общее количество функций, которые выполняются на станке с ЧПУ модели 1720ПФ30 $n = 14$, тогда степень автоматизации:

$$K_a(1720\text{ПФ}30) = \frac{\sum K_i}{n} = \frac{7.5}{14} = 0.536.$$

На основе проведенных расчетов строится график уровней автоматизации по функциям для универсального станка модели 1К62 и для станка с ЧПУ модели 1720ПФ30, у которого предусмотрено закрепление заготовки посредством патрона с механическим зажимом, а контроль размера детали и поиск координаты режущей кромки инструмента на станке обеспечивается за счет системы контроля датчиками касания (рис. 1.1).

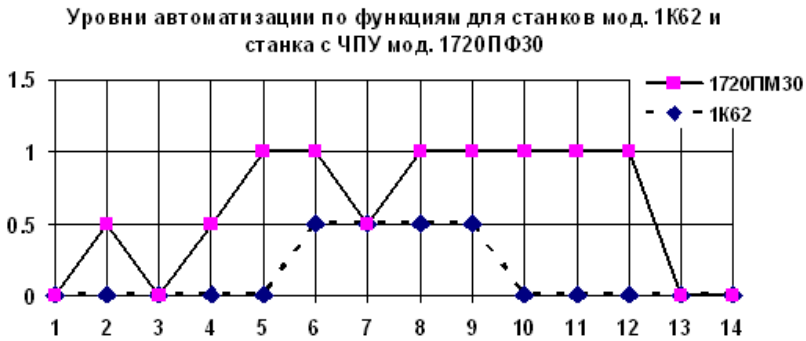


Рис. 1.1. График уровней автоматизации по функциям для универсального станка мод. 1К62 и для станка с ЧПУ мод. 1720ПФ30

IV. Порядок выполнения работы

1. Выбрать ГПМ по рис. 1.2–1.4, для которых будет производиться формализация функций работы технологического оборудования со средствами автоматизации.

2. Изучить работу ГПМ и всех средств автоматизации технологического оборудования.

3. Заполнить таблицу наименований функций, определить уровни автоматизации и их значения.

4. Определить степень автоматизации ГПМ.

5. Построить на графике автоматизацию по функциям для ГПМ.

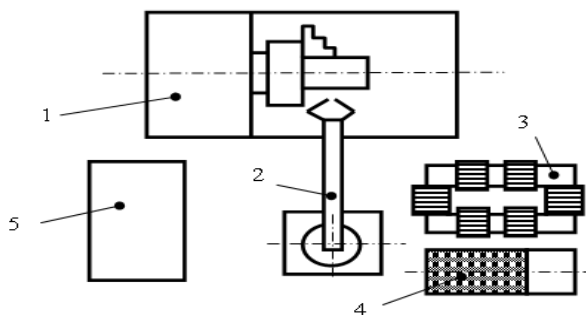


Рис. 1.2. Схема ГПМ на базе токарного обрабатывающего центра:
1 – станок модели 16Б16Т1, 2 – напольный робот, 3 – накопитель заготовок и готовых деталей, 4 – инструментальный магазин, 5 – система управления ГПМ

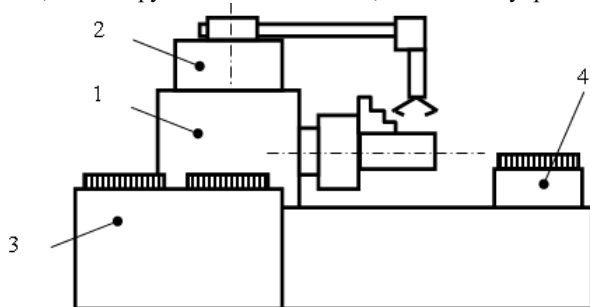


Рис. 1.3. Схема ГПМ с промышленным роботом на шпиндельной части станка:
1 – станок модели 1720Т1, 2 – промышленный робот, 3 – накопитель заготовок и деталей, 4 – инструментальный магазин

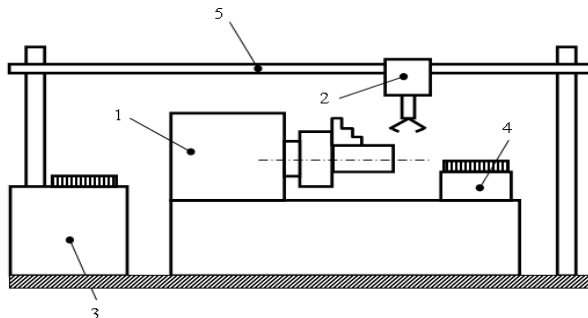


Рис. 1.4. Схема ГПМ с подвесным транспортным роботом:
 1 – станок модели 16К20Ф3, 2 – подвесной транспортный робот;
 3 – накопитель заготовок и деталей; 4 – инструментальный магазин;
 5 – подвесная транспортная линия

Практическая работа 2

Разработка алгоритма работы гибкого производственного комплекса механообработки

I. Цель работы

1. Приобретение навыков для определения функций работы гибкого производственного комплекса механообработки со средствами автоматизации.

2. Изучение работы гибкого автоматизированного участка (ГАУ) и всех средств автоматизации комплекса.

3. Построение алгоритма функционирования гибкого автоматизированного участка.

Индивидуальные данные для расчета выдаются преподавателем.

II. Основные теоретические положения

Автоматизированная система управления. В состав комплекса технических средств (КТС) входят (в соответствии с ГОСТ 24.003-84): управляющий вычислительный комплекс (УВК), средства получения, преобразования, хранения, отображения и регистра-

ции информации, устройства подачи сигналов и исполнительные устройства.

Основные функции автоматизированной системы управления (АСУ) подразделяются на управляющие, информационные и вспомогательные.

Управляющие функции АСУ – функции, результатом которых являются выработка и реализация управляющих воздействий на технический объект управления.

К управляющим функциям относятся:

- программно-логические управления оборудованием;
- адаптивное управление объектом в целом.

Информационные функции – функции системы, содержанием которых является сбор, обработка и представление информации о состоянии ГПС оперативному персоналу или передача информации для последующей обработки.

Вспомогательные функции – функции, обеспечивающие решение внутрисистемных задач.

Составные части АСУ. Для выполнения указанных функций необходимо взаимодействие следующих составных частей АСУ: технического обеспечения; программного обеспечения; информационного обеспечения; организационного обеспечения; оперативного персонала.

Состав оперативного персонала. В состав оперативного персонала входят:

- операторы, осуществляющие контроль за работой и управлением технологического объекта управления (ТОУ) с использованием информации и рекомендаций КТС;
- эксплуатационный персонал, обеспечивающий правильность функционирования КТС.

Ремонтный персонал в состав оперативного персонала не входит.

Задачи, решаемые АСУ гибкой производственной системы (ГПС). Выбор технических средств систем управления (СУ) и состав функций, подлежащих автоматизации, в значительной мере зависят от следующих факторов:

- технологии обработки; состава и компоновки ГПС;
- организации производства;
- экономической целесообразности автоматизации составляющих ГПС.

Состав функций и набор решаемых задач АСУ определяются условиями функционирования конкретных ГПС. Задачи оперативного управления:

- а) управление технологическим процессом:
 - сбор и обработка информации о ходе технологического процесса;
 - координация работы основного технологического оборудования и оборудования автоматизированной транспортно-складской системы (АТСС);
 - перераспределение ресурсов в зависимости от фактического состояния производства;
 - организация взаимодействия персонала ГПС и ЭВМ;
 - обеспечение работоспособности СУ при сбоях и перезапусках;

б) групповое управление основным технологическим оборудованием:

- управление работой устройств числового программного управления (УЧПУ) (запуск по команде ЭВМ, приостановка обработки, замена программы и т.д.);
- организация хранения на устройствах внешней памяти ЭВМ библиотек управляющих программ (УП) и документов;
- раздача УП в УЧПУ;
- в) управление АТСС:
 - прямое управление оборудованием АТСС;
 - взаимодействие с устройствами управления ГПС.

Задачи автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП): обеспечение технологичности конструкций изделия; разработка технологических процессов; проектирование средств технологического оснащения.

Для конкретных изделий гибкого автоматизированного участка (ГАУ) АСТПП должна решать следующие задачи:

- проектирование технологических процессов;
- подготовку управляющих программ для оборудования с ЧПУ;
- разработку технических заданий на проектирование средств технологического оснащения.

АСТПП для ГПС должна создаваться с учетом интеграции с АСУ для использования единого технического, информационного и программного обеспечения. При этом должно предусматриваться статическое и динамическое взаимодействие с подсистемами управления, планирования, учета и контроля.

Управление технологическим процессом. При создании системы управления ГПС необходима разработка средств, обеспечивающих автоматическую координацию работы технологического оборудования, АТСС и вспомогательного оборудования, принятие решений и регулирование технологического процесса (ТП). Принятие решений и регулирование ТП основывается на анализе информации, поступающей от объектов управления. В оперативной памяти ЭВМ строится динамическая модель ГПС в табличной форме, описывающей состояния всех элементов объекта управления. Особое место в общей системе управления ТП занимает система управления АТСС, которая выполняется самостоятельным законченным блоком, функционирующим автономно относительно длительного периода времени, что придает ГПС большую гибкость и «живучесть».

Система управления автоматизированной транспортно-складской системы должна обеспечивать выполнение следующих информационных и управляющих функций:

- прием информации о положении и состоянии оборудования и прием запросов на обслуживание;
- ведение динамической модели склада (накопителей);
- выработку рациональных принципов организации накопления и перемещения объектов обработки;
- подготовку и передачу адресов и команд, обеспечивающих выполнение транспортными механизмами последовательности перемещения объектов обработки;

- прием информации (в том числе и от оператора), контроль выполнения задания, включая накопление (складирование) и перемещение;

- диагностирование состояния оборудования и системы управления;

- выполнение процедур обмена информацией;

- возможность восстановления информации о состоянии АТСС перед перезапусками системы.

Наличие динамической модели предполагает хранение в информационной памяти микроЭВМ данных о грузах, находящихся на всех стадиях обработки - код детали; стадия обработки; номер партии; число деталей в партии запуска и транспортной партии; место (адрес) нахождения детали (транспортной партии).

Комплекс технических средств является инструментом для реализации функции системы управления ГПС и состоит из управляющего вычислительного комплекса (УВК), связанного с ним периферийного оборудования, каналов связи, средств сбора и обработки информации на элементах объектов управления.

Программное обеспечение. АСУ ГПС является системой переработки информации, работающей в реальном масштабе времени. Программно-математическое обеспечение (ПМО) состоит из пакета прикладных программ, реализующих функции системы управления, и программ, обеспечивающих ввод – вывод информации, проходящей через систему управления. Обмен информацией пользователей системой обеспечивается с помощью универсальных диалоговых средств в реальном масштабе времени.

III. Описание схемы установки и пояснения к ее элементам

На рис. 2.1 приведена схема ГАУ для обработки деталей типа «тел вращения».

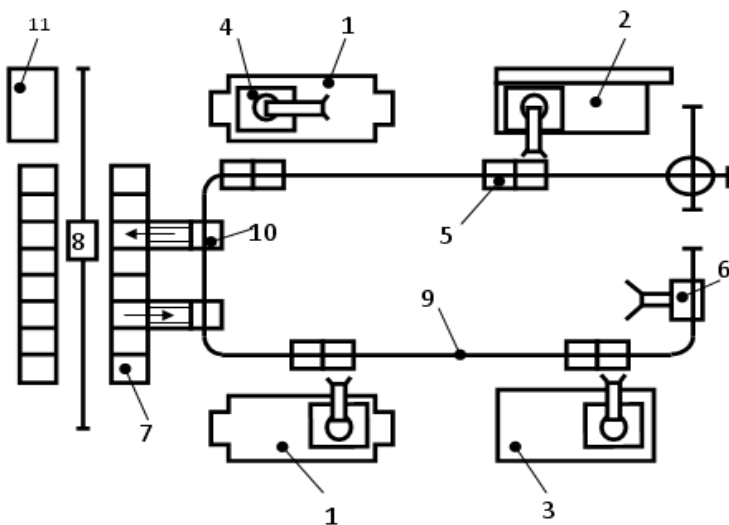


Рис. 2.1. Гибкий автоматизированный участок, с подвесной транспортной системой: 1 – станок с ЧПУ модели 16К20Ф3; 2 – станок с ЧПУ модели 1720ПФ30; 3 – станок с ЧПУ модели 1В340ПФ30; 4 – робот-манипулятор типа НЦ-31; 5 – устройство приема-выдачи; 6 – подвесной транспортный робот типа НЦ-32; 7 – стеллаж; 8 – штабелер; 9 – монорельсовая подвесная система; 10 – система приема-выдачи рольгангового (цепного) типа; 11 – секция для комплектации заготовок и настройки инструмента

Участок состоит из двух станков 1 модели 16К20Ф3, одного станка 2 модели 1720ПФ30 и одного станка 3 модели 1В340ПФ30. Каждый станок оснащен роботом-манипулятором 4 типа НЦ-31, который встраивается на корпус станка, а также устройством приема-выдачи 5. Устройство приема-выдачи 5 имеет возможность обслуживаться как приставочным роботом-манипулятором 4, так и подвесным транспортным роботом 6 типа НЦ-32. Все компоненты, обеспечивающие автоматизацию ГПМ, имеют собственные системы управления и связаны с ЭВМ станков. Связь накопителей ГПМ в АТСС 7 осуществляется штабелером 8 складской системы посредством подвесной монорельсовой системы 9 и системы приема-выдачи 10 рольгангового (или цепного) типа. ГАУ оснащен секцией 11, предназначенной для комплектации заготовок и настройки инструмента (рис. 2.1).

IV. Порядок выполнения работы

1. По схеме гибкого автоматизированного участка с подвесной транспортной системой, приведенной на рис. 2.1, рассмотреть функции работы ГПМ со средствами автоматизации и техническими средствами, обеспечивающими функционирование ГПС.

2. Изучить работу ГПМ, средств автоматизации технологического оборудования и ГАУ, состав которых включает: ГПМ на базе станков с ЧПУ моделей 16K20Ф3, 1720ПФ30, 1В340ПФ30; робот-манипулятор типа НЦ-31; устройства приема-выдачи; подвесной транспортный робот типа НЦ-32; АТСС; штабелер; монорельсовая подвесная система; системы приема-выдачи рольгангового (цепного) типа; секцию для комплектации заготовок и настройки инструмента ГПМ.

3. Разработать алгоритм функционирования гибкого автоматизированного участка с подвесной транспортной системой.

Практическая работа 3

Расчет автоматизированной транспортно-складской системы.

I. Цель работы

Целью работы является ознакомление с методикой расчета элементов автоматизированной транспортно-складской системы. Расчет выполняется на основе индивидуального задания, выданного преподавателем.

II. Основные теоретические положения

Расчет центрального накопителя в ГПС на участковом уровне производится по следующей методике:

1. Определяется число наименований деталей, обрабатываемых на ГАУ в течение месяца:

$$K_{\text{наим}} = \frac{F_{\text{М}} K_{\text{см}}}{t_{\text{об}} N}, \quad (6)$$

где $F_{\text{М}}$ – действительный месячный фонд времени работы станков, ч.; $K_{\text{см}}$ – число станков в ГАУ; $t_{\text{об}}$ – среднее время операций обработки, ч.; N – месячная программа выпуска деталей одного наименования.

2. Число ячеек стеллажа принимается на 10 % больше числа наименований деталей:

$$n_{\text{я}} = 1.1 K_{\text{наим}}. \quad (7)$$

Длина ячейки L на 150...200 мм больше размера паллеты с приспособлением и заготовкой.

3. Длина одноярусного стеллажа составит, м:

$$L_{\text{ст}} = n_{\text{я}} (L + b) + L + 2b, \quad (8)$$

где b – расстояние между ячейками и от ячеек до края стеллажа, м.

4. Длина цепочки станков ГАУ равна:

$$L_z = a K_{\text{ст}} + (K_{\text{ст}} - 1) C, \quad (9)$$

где a – длина станка, м; C – расстояние между станками по отраслевым нормативам.

Длина стеллажа не должна превышать цепочки ГПМ в ГАУ. В противном случае создают складскую систему многоярусного типа. При этом число ярусов должно равняться числу отношения длины стеллажа к длине цепочки станков. Число штабелеров с каждой стороны принимается из условия: один штабелер должен обслуживать зону действия по длине стеллажа не более 20 м.

Определение параметров зоны хранения грузов. При проектировании новой складской системы необходимо определить следующие параметры хранилища грузов: L_x – длина, B_x – ширина,

H_x – высота; x, y – число поддонов соответственно по ширине и по длине зоны хранения; z, C_y – число и высота ярусов; $r_{ш}$ – число штабелирующих машин; R – общее число поддонов, размещающихся в зоне хранения.

Исходными данными для расчетов в этом случае служат: I – запас хранения грузов, т; Q – годовой грузопоток; \bar{G} – средняя нагрузка на поддон; $I_i, Q_i, i \in \bar{1}, \bar{k}$ – запас хранения и годовой грузопоток по всем k группам грузов, перерабатываемых на складе; $n_i, i \in \bar{1}, \bar{k}$ – число наименований грузов в каждой из групп.

Задаваясь основными размерами L_x, B_x, H_x , которые определяются исходя из предварительного расчета, определяют величины $x, y, z, r_{ш}, R, I, I_i, i \in \bar{1}, \bar{k}$.

Расчетный грузопоток перерабатывают на складе с учетом увеличения оборачиваемости грузов (1/год), которую оценивают выражением:

$$\eta = \frac{Q}{I}, \quad (10)$$

На первых этапах проектирования складской системы определяются основные параметры зоны хранения грузов ориентировочно:

1. Ширина склада:

$$B = \sqrt{\frac{I \cdot k_p}{\beta \cdot G \cdot f \cdot z}}, \text{ м}, \quad (10)$$

где k_p – коэффициент, учитывающий влияние объема комплектовочных работ на длину и площадь складской системы, который задается в пределах $k_p = 1.0 \dots 2.0$; β – коэффициент, представляющий собой отношение длины стеллажа к ширине, который принима-

ется в пределах $\beta = 4 \dots 10$ в зависимости от типа склада и необходимой длины погрузочно-разгрузочных участков; G – средняя загрузка поддонов, т; f – удельное число поддонов, приходящихся на 1 м^2 зоны хранения (с учетом проходов) при складировании в один ярус по высоте (принимают для поддона размером $a \times b = 0.4 \times 0.6 - 1.28$); z – число ярусов складирования поддонов по высоте.

При размещении складской системы в отдельном здании его ширину округляют в большую сторону до ближайшей величины из ряда: $B = 6; 9; 12; 15; 18; 24; 30 \text{ м}$.

В случае, если ширина склада превышает $24 \dots 30 \text{ м}$, принимают двух- и трехпролетные складские системы.

2. Длина склада:

$$L = \beta \cdot B, \text{ м}, \quad (11)$$

3. Площадь склада:

$$S = L \cdot B, \quad (12)$$

$$S = \frac{I \cdot k_p}{G \cdot z \cdot f}, \text{ м}^2. \quad (13)$$

4. Ориентировочное число кранов-штабелеров, обслуживающих зону хранения грузов, определяют по формуле:

$$r_{\text{ш}} = \frac{R_i}{[R]} \cdot k_p, i = \bar{1}, \bar{v}, \quad (14)$$

где R_i – число поддонов с грузом i – го типа, хранящихся на складе; $[R]$ – число грузовых складских единиц в оптимальной секции хранилища, которую может обслужить один кран-штабелер при приеме и выдаче грузов целыми поддонами (принимаем для поддона размером $a \times b = 0.4 \times 0.6 - [R] = 180$ при сроке хранения

$\tau_{\text{хр}} = 0 \dots 5$ суток); ν – общее число способов хранения грузов, принятое для данной складской системы (принимается $\nu = 1 \dots 5$).

5. Срок хранения грузов $\tau_{\text{хр}}$ для определения величины $[R]$ определяется по формуле:

$$\tau_{\text{хр}} = 360 \frac{I}{Q}, \quad (15)$$

$$\tau_{\text{хр}} = \frac{362}{\eta}, \text{сут.}, \quad (16)$$

где I , Q – единовременный запас хранения грузов в складской системе и годовой грузопоток, т.

Основным вопросом при проектировании зоны хранения грузов является обоснованный выбор ее высоты и других, связанных с ней параметров: числа ярусов по высоте z , высоты яруса $C_{\text{я}}$, высоты подъема захвата груза кран-штабелера D .

Высоту яруса $C_{\text{я}}$ стеллажа (рис. 3.1) определяют по формуле:

$$C_{\text{я}} = C + \Delta + e, \quad (17)$$

где C – высота укладки груза на поддоне, Δ – собственная высота или толщина поддона или высота ножек поддона в сумме с толщиной его настила; e – расстояние по высоте от верха нижнего поддона до низа опорной поверхности, следующего по высоте поддона с грузом.

Высоту складского помещения в зоне хранения грузов принимают при использовании стеллажных кранов-штабелеров $H_x = 7.2 \text{ м}$.

Высоты складского помещения для отдельно стоящего здания округляют в большую сторону до ближайшего стандартного значения из ряда: 3.6; 4.2; 5.4; 6.0; 7.2; 8.4; 9.6; 10.8; 12.6; 14.4; 16.2;

18.0; 19.8 м.

Число ярусов по высоте определяют по формулам:

$$z = \varepsilon \left\{ \frac{D - 0.2 - h_H}{C_{я}} \right\} + 1, \quad (18)$$

$$z = \varepsilon \left\{ \frac{H - h_H - h_B}{C_{я}} \right\} + 1, \quad (19)$$

где D – высота подъема захвата груза над полом; h_H – высота над полом нижнего яруса; h_e – расстояние по высоте от низа строительных конструкций покрытия складского здания до опорной поверхности верхнего яруса стеллажей или кран-штабелера.

Расчет основных параметров складской системы определяется нормой запаса хранения n_i :

- Склад заготовок – 8...15 дней.
- Промежуточный склад – 10...15 дней.
- Склад готовых деталей – 15...20 дней.

Расчет запаса хранения грузов в АТСС определяется по формуле:

$$S_i = \frac{Q_i \cdot n_i}{360}, \text{ т}, \quad (20)$$

где S_i – годовое поступление груза соответствующего наименования (или приведенный грузопоток для группы полуфабрикатов), т/год; n_i – норма запаса хранения, дни.

При выборе основных параметров складской системы необходимо учитывать характеристики грузов – габаритные размеры, массу, геометрическую форму, пространственную ориентацию и строительные характеристики производственного помещения. В зависимости от перечисленных характеристик определяют тип, количество и параметры складского оборудования в соответствии с тех-

нологическим процессом переработки грузов, количеством перерабатываемого груза и периодичностью его поступления и отправления.

При проектировании механизированных и автоматизированных складов возможны следующие варианты информации о параметрах производственной тары:

- тип и параметры тары заданы, так как грузы поступают в цех в таре;

- тип и параметры тары не определены, но предусмотрен ряд ограничений по выбору параметров тары, например, исходя из использования унифицированных элементов в пристаночных накопителях или в транспортной системе;

- при выборе типа и параметров тары нет никаких прямых ограничений.

Выбор типа и параметров производственной тары является одним из первых этапов проектирования складской системы, так как посредством тары увязывается между собой номенклатура перерабатываемых грузов, определяются интенсивность грузопотоков, условия транспортирования и изготовления изделий, а также основные параметры самой складской системы.

К производственной таре относятся поддоны, кассеты, спутники, паллеты и специальную тару.

Увязка тары с внешними и внутренними грузопотоками должна выполняться посредством лучшего заполнения транспортных средств, т. е. путем увеличения объема транспортной партии и обеспечения беспереvalочного процесса транспортирования и складирования грузов.

В зависимости от типов и размеров изготавливаемых изделий, а также условий транспортирования и складирования размеры тары в плане выбирают из следующего стандартного ряда: 150×200, 200×300, 300×400, 400×600, 600×800, 800×800, 800×1200, 1000×1200, 1200×1600.

Потребное число единиц производственной тары на складе рассчитывают по формуле:

$$K_{\text{тp}_i} = \frac{S_i}{c_i}, \quad (20)$$

где S_i – запас хранения груза соответствующего наименования, т;
 c_i – средняя грузоподъемность тары выбранного типа, т.

Средняя грузоподъемность:

$$c_i = q \cdot k_u, \quad (21)$$

где q – максимальная грузоподъемность данного типа тары, т;
 k_u – 0.2...0.85 – коэффициент использования данного типоразмера тары по грузоподъемности.

Число спутников рассчитывают исходя из выбранного режима работы автоматизированного производства. В практике этот расчет часто производят, учитывая необходимость обеспечения работы автоматизированного участка или цеха в течение двух малолюдных смен и наличии запаса спутников с установленными заготовками еще на одну смену, что объясняется необходимостью работы автоматизированного производства в последующие сутки. Помимо того, на складе должен быть, как минимум суточный запас спутников для изготовления изделий новых партий:

$$z_c = \frac{z_1 + z_2}{k_3}, \quad (22)$$

где: z_1 – число спутников с заготовками, составляющее суточное задание ГПС; z_2 – число спутников для выполнения задания на следующие сутки; $k_3 = 1.1$ – коэффициент запаса, учитывающий разную продолжительность операций.

При $z_1 = z_2$ число спутников z_1 для выполнения суточного задания определяется по формуле:

$$z_1 = \frac{C_n \Phi_3}{n_p t_{cp}}, \quad (23)$$

где C_n – число ГПМ; Φ_3 – эффективный годовой фонд времени работы ГПС, ч; n_p – число рабочих дней в году; t_{cp} – средняя продолжительность одной детали-операции, ч (на многоцелевом станке продолжительность изготовления изделия 500×500×500 составляет примерно 0.5 ч.). Основные технические характеристики оборудования АТСС представлены в табл. 3.1–3.5.

Таблица 3.1

Основные технические характеристики кранов-штабелеров					
Модель АТСС	Грузоподъемность, кг	Высота стеллажа, мм	Габаритные размеры тары, мм		Скорость, м/с
			Длина	Ширина	
СА-ТСС-0.16	50	3400	400	400	0.2
	100				
СА-ТСС-0.25	250	4600	500	500	0.3

Таблица 3.2

Основные технические характеристики транспортных тележек				
Модель тележки	Грузоподъемность, кг	Габаритные размеры тары, мм		Скорость, м/с
		Длина	Ширина	
ТПА-0.16	50	400	400	0.5
	100			
ТПА-0.25	250	500	500	1.0

Таблица 3.3

Основные технические характеристики транспортных конвейеров				
Модель конвейера	Грузоподъемность, кг	Габаритные размеры тары, мм		Скорость, м/с
		Длина	Ширина	
КЦ-0.16 (цепной) КР-0.16 (ролик- вый)	50	400	400	0.25
КЦ-0.25; КР-0.25	250	500	500	

Таблица 3.4

Основные технические характеристики подвешенного манипулятора

Модель манипулятора	Грузоподъемность, кг	Высота подъема, мм	Скорость, м/с
МАК-1-50	50	1100	0.5
МАК-2-320	320	500	

Таблица 3.5

Основные технические характеристики шарнирно-балансирных манипуляторов

Модель ШБМ	Грузоподъемность, кг	Радиус обслуживания, мм	Скорость вертикального перемещения, мм	Вертикальное перемещение руки, мм
МПП-100	100	2600	0.35	1600
ШБМ-250	250	3000	0.40	

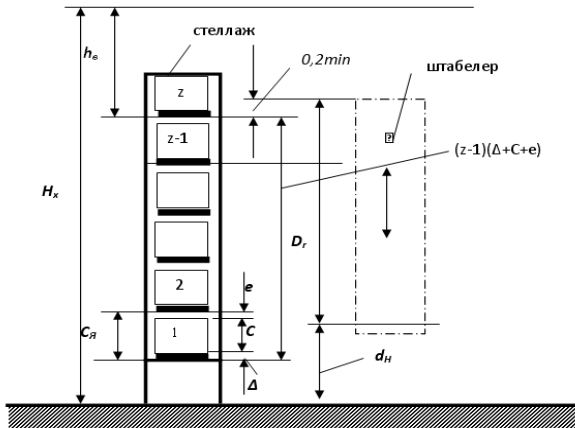


Рис.3.1. Расчетная схема автоматического склада

III. Порядок выполнения работы

1. Изучить основные теоретические положения расчета автоматизированной транспортно-складской системы.

2. Произвести расчет элементов автоматизированной транспортно-складской системы.

Практическая работа 4

Расчет элементов автоматизированной транспортно-складской системы для ГАУ обработки деталей типа «тела вращения» и корпусных деталей

I. Цель работы

Целью работы является приобретение навыков расчета АТСС и выбора ее элементов для участка механической обработки.

Индивидуальное задание выдается преподавателем. Ниже приведен пример расчета для детали типа «тело вращения».

II. Основные теоретические положения

Расчет характеристик АТСС.

Для проведения расчета элементов автоматизированной транспортно-складской системы для ГАУ обработки деталей типа «тела вращения» и корпусных деталей необходимо получить сведения о детали-представителе и производственной обстановке (наличии и количестве основного и вспомогательного технологического оборудования ГАУ).

Сведения о детали-представителе: 1. Годовой объем $N = 1000$ шт.; 2. Габаритные размеры детали: 80×450 мм.; 3. Масса детали – 5.8 кг.; 4. Масса заготовки – 9 кг.; 5. Программа выпуска деталей – 114000 шт.; 6. Деталь изготавливается в условиях средне-серийного производства.

Оборудование участка. На ГАУ имеется следующее основное технологическое оборудование. Станок токарный многоцелевой (интегрированный центр ТФЦ-600) предназначен для комплексной токарной обработки деталей (тел вращения) с выполнением фрезерных, зубообрабатывающих, сверлильно-расточных операций (рис. 4.1 и 4.2).

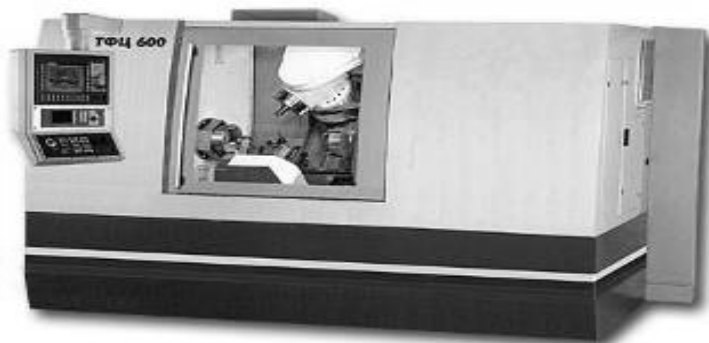


Рис. 4.1. Интегрированный центр ТФЦ-600

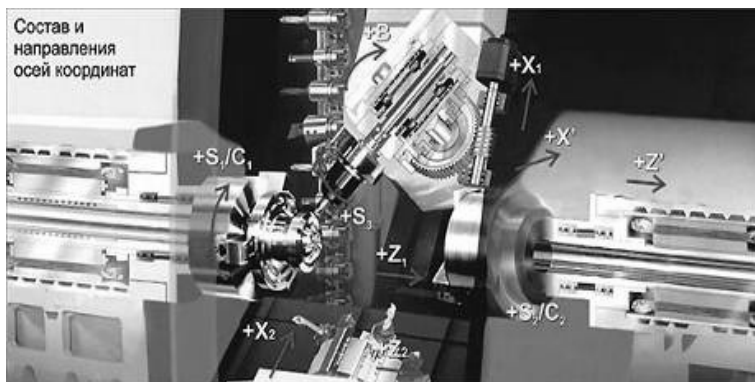


Рис. 4.2. Рабочая зона интегрированного центра ТФЦ-600

Станок обеспечивает последовательную двухстороннюю обработку с автоматической передачей детали из патрона в патрон двух шпиндельных бабок. Основные технические характеристики станка представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные технические характеристики интегрированного центра ТФЦ-600

Наименование параметров	Данные
Наибольшие размеры обрабатываемой заготовки, мм:	
• диаметр (над станиной)	660
• диаметр (над суппортом)	450
• диаметр (револьверная головка)	270
• длина	1250
Бабка передняя:	
• передняя часть шпинделя по DIN 55026	A6
• диаметр отверстия в шпинделе, мм	45
• наибольшее число оборотов шпинделя, об/мин	6300
• мощность двигателя (S1), кВт	29
Контршпиндель:	
• передняя часть шпинделя по DIN 55026	A5
• наибольшее число оборотов шпинделя, об/мин	7000
• мощность двигателя (S1), кВт	24
Токарно-сверлильно-фрезерный модуль:	
• мощность привода фрезерного шпинделя (100% ПВ), кВт	16.8
• число оборотов фрезерного шпинделя, об/мин	7000
Наименование параметров	Данные
• наибольший крутящий момент на шпинделе (100% ПВ), Нм	100
• инструментальная система	HSK-A63
• угол поворота по оси В, °	±115

Определение количества станков на участке выполняется по формуле:

$$c_{pi} = \frac{\sum T \cdot c_{ij} \cdot N_i}{60 \cdot F_{ог}}, \quad (24)$$

где $F_{ог}$ – годовой фонд времени, $F_{ог} = 3890$ ч, T – время обработки детали-представителя, $T = 12.29$ мин, N_i – годовая программа, $N_i = 114000$ шт., тогда:

$$c_{pi} = \frac{12.29 \cdot 114000}{60 \cdot 3890} = 6 \text{ станков}$$

Помимо вышеперечисленного оборудования в состав ГАУ входит моечно-сушильный агрегат МСА–031 с габаритами 4830×3375×2865 мм; координатно-измерительная машина с габаритами 1400×1340×2500 мм.

Межстаночное расстояние принимаем равным 1200 мм.

Определение количества наименований деталиустановок, изготавливаемых на участке в течение месяца, которое соответствует минимуму ячеек склада:

$$K_{\text{наим}} = \frac{60 F S}{T_{\text{ср}} N}, \quad (25)$$

где F – месячный фонд времени работы станка, ч:

$$F = \frac{F_{\text{об}} h_3}{12}, \quad (26)$$

где $F_{\text{об}} = 3890$ ч – эффективный годовой фонд времени при двухсменном режиме работы; $h_3 = 0.85$ – нормативный коэффициент загрузки оборудования, тогда:

$$F = \frac{3710 \cdot 0.85}{12} = 276 \text{ ч},$$

$S = 6$ шт. – число станков в ГПС; $T_{\text{ср}}$ – средняя станкоёмкость изготовления одной деталиустановки, мин.

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{ci}}{m}, \quad (27)$$

где T_{ci} – станкоёмкость изготовления детали-представителя на i -той операции; m – число операций технологического процесса изготовления детали-представителя; $m = 6$.

$$T_{\text{ср}} = \frac{12.29}{1} = 12.29 \text{ мин.}$$

$N = 84$ шт. – месячный объем выпуска деталей-представителей.

Тогда:

$$K_{\text{наим}} = \frac{60 \cdot 276}{12.29 \cdot 84} = 96.24 \text{ шт.}$$

Округляем до ближайшего большего целого:

$$K_{\text{наим}} \approx 97 \text{ шт.}$$

Определение оптимальной емкости склада проводим по формуле:

$$E'_c = 1.1 \cdot K_{\text{наим}}, \quad (28)$$

$$E'_c = 1.1 \cdot 97 = 107.$$

Определение размеров склада.

По размерам заготовки выбираем размеры тары 500×500 мм. В одной таре будет располагаться 5 деталей. Выбираем размеры ячейки склада $550 \times 550 \times 100$ мм. Высота стеллажа 4000 мм.

Располагается склад вдоль линии станков и выбирается однорядным (рис. 4.3).

Для обслуживания склада выбирается кран-штабелер, например, типа СА-ТСС-0.16.

Расчет количества транспортных устройств и их загрузки.

Для определения числа перемещений транспортного устройства в течение месяца воспользуемся маршрутом обработки детали-представителя.

В процессе изготовления деталь-представитель перемещается по следующему маршруту: стеллаж-станок-станок-станок-стеллаж.

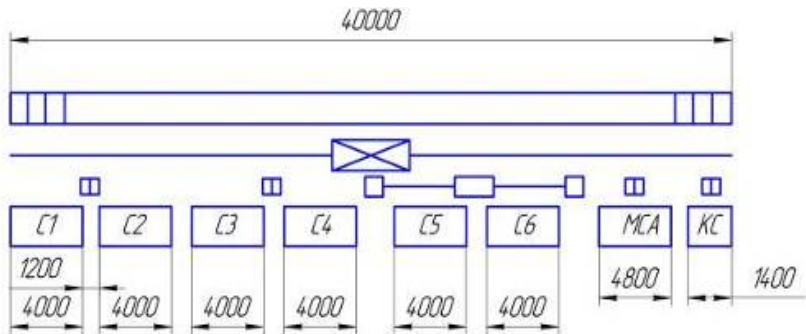


Рис. 4.3. Схема склада с краном-штабелером

Таким образом, количество перемещений транспортного устройства при изготовлении детали-представителя равно:

- стеллаж-станок – 2,
- станок-станок – 2;

При месячном объеме выпуска деталей в ГПС 84 шт., число перемещений транспортного устройства составит:

- стеллаж- станок – 3800,
- станок-станок – 3800;

Средние длины перемещений транспортного устройства составят:

- стеллаж-станок – 33.3 м,
- станок-станок – 18.1 м;

Средняя длина вертикального перемещения равна:

- стеллаж-станок – 1.75 м;

Для крана-штабелера модели СА-ТСС-0.16, выбранного для обслуживания склада, скорость горизонтального перемещения равна 1.0 м/с (60 м/мин), а скорость подъема грузозахватного органа равна 0.2 м/с (12 м/мин). Тогда время подхода крана-штабелера к заданному месту составляет:

$$T_{\text{под}} = \frac{L_{\text{хс}}}{V_x} + \frac{L_{\text{ус}}}{V_y}. \quad (29)$$

- для хода «стеллаж-станок»:

$$T_{\text{под}} = \frac{33.3}{60} + \frac{1.75}{12} = 0.69 \text{ мин.}$$

- для хода «станок-станок»:

$$T_{\text{под}} = \frac{18.1}{60} = 0.3 \text{ мин.}$$

Принимаем $T_k = 0.02$ мин, $T_{cn} = 0.15$ мин, тогда общее время составит:

$$T = 2 (T_{\text{под}} + T_k + T_{cn}), \quad (30)$$

$$T_{\text{стел ст}} = 2 (0.02 + 0.69 + 0.15) = 1.72 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{ст ст}} = 2 (0.02 + 0.3 + 0.15) = 0.94 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{кш}} = \frac{1}{60} (K_{\text{стел ст}} T_{\text{стел ст}} + K_{\text{ст ст}} T_{\text{ст ст}}), \quad (31)$$

$$T_{\text{кш}} = \frac{1}{60} (3800 \cdot 1.72 + 3800 \cdot 0.94) = 168.46 \text{ ч,}$$

$$T_{\text{кш}} = \frac{168.46}{381} = 0.44 \text{ ч.}$$

Выбор промышленного робота.

Как и при выборе станков, целесообразность применения того или иного ПР в производственных условиях определяется с учетом ряда требований:

- Соответствие грузоподъемности ПР (с учетом массы захватного устройства) массе объекта манипулирования.
- Соответствие технологических возможностей ПР (во многом

определяемых видом системы управления) содержанию необходимых манипуляций с объектом.

- Соответствие числа степеней подвижности ПР минимально необходимому их числу для выполнения требуемых операций. Обычно число степеней подвижности – 2 – 4, если на робот не накладывают дополнительных функций. Число степеней подвижности определяется содержанием манипуляционных действий, размерами и расположением рабочих зон обслуживаемого оборудования и его количеством, а также рядом других факторов.

- Соответствие размеров рабочей зоны ПР размерам, форме и расположению рабочих зон обслуживаемого оборудования.

- Соответствие скоростей перемещения рабочих органов ПР требуемой производительности процесса; соответствие погрешности позиционирования ПР требованиям по точности выполнения основных или вспомогательных операций.

- Простота цикла переналадки, конструктивной и программной стыковки с другими подсистемами ГПС, надежность, экономичность.

Для РТК механической обработки наиболее предпочтительно использование ПР с позиционной системой управления, поскольку ПР с цикловым управлением имеет ограниченные манипуляционные действия, а применение контурной системы ведет к недоиспользованию технологических возможностей робота. В качестве промышленного робота был выбран робот подвесного типа модели FANUCM-70iC/50T (рис. 4.4). Технические характеристики робота подвесного типа модели FANUCM-70iC/50T представлены в табл. 4.2.

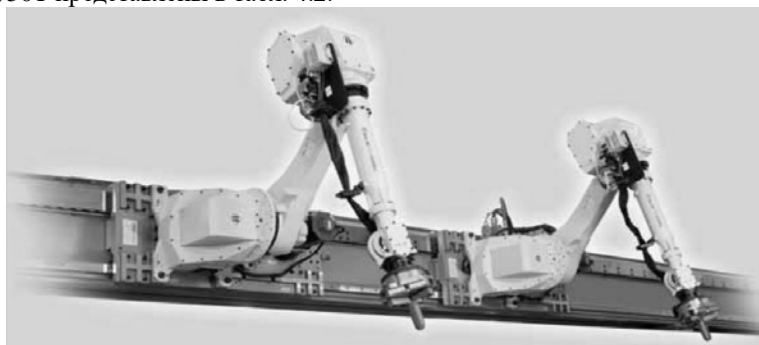


Рис. 4.4. Робот подвесного типа модели FANUCM-70iC/50T

Таблица 4.2

**Основные технические характеристики робота подвешенного типа модели
FANUCM-70iC/50T**

Наименование параметров	Данные
Контролируемые оси	6
Контроллеры	R-30iB
Грузоподъемность, кг	50
Погрешность позиционирования, мм	0.07
Вес механической части, кг	410
Радиус действия, мм	1900

III. Порядок выполнения работы

1. Изучить основные теоретические положения расчета элементов автоматизированной транспортно-складской системы для ГАУ.

2. Произвести расчет элементов автоматизированной транспортно-складской системы для ГАУ.

Практическая работа 5

Изучение структуры ГПС и основных расчетных зависимостей

I. Цель работы

Целью работы является изучение структуры ГПС и проведение расчета ее основных технико-экономических показателей. Индивидуальные данные для расчета выдаются преподавателем.

II. Основные теоретические положения

Значительные капитальные вложения для создания ГПС обуславливают необходимость минимизировать риск ошибок и поиск оптимального решения при создании их для конкретного потребите-

ля. Это в первую очередь относится к определению структуры ГПС, являющейся основополагающей во всем процессе проектирования. Оптимальная структура ГПС должна обеспечивать наивысшую производительность, качество и надежность работы при ограниченных затратах на технологическое оборудование и систему функционирования. Поэтому ошибки, допущенные на ранних стадиях проектирования, когда собственно и определяется структура ГПС, обычно приводят к увеличению сроков и стоимости проектирования, дополнительным затратам при изготовлении, внедрении и к снижению ожидаемого (планируемого) эффекта.

Выбор структуры ГПС заключается в правильном, учитывающем ситуации производственного процесса определении количества основного технологического оборудования и экономически оправданного состава системы обеспечения ее функционирования. Моделирование является единственным методом, позволяющим оценить реальное (или близкое к реальному) поведение системы и рассмотреть влияние на производительность ГПС реальных производственных ситуаций и конкретных параметров ее составляющих.

Имитационное моделирование.

Основой работы модели ГПС является многократное воспроизведение на ЭВМ отдельных ситуаций производственного процесса.

Последовательность указанных ситуаций по времени обработки, транспортирования, партиям запуска, технологическим маршрутам, надежности работы основного и вспомогательного оборудования ГПС и другим параметрам должна соответствовать реальному производственному процессу, подчиняющемуся установленным регламентам. Таким образом, рассматриваемая модель представляет собой реализацию процессов производства множества различных изделий в соответствии с этапами производственного цикла.

Однако, как и для всех моделей, качество имитационной модели определяется тем, насколько она отображает поведение моделируемой системы, что в значительной мере зависит от тех исходных данных, которые используются при имитации производственного процесса.

При оценке результатов моделирования необходимо учитывать, что она должна носить технико-экономический характер, т.е. в соответствии с ГОСТ 15467-79 учитывать соотношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации ГПС и суммарных затрат на ее создание и эксплуатацию.

Наиболее объективным показателем оптимальной структуры является рост производительности. При оценке различных вариантов структуры ГПС важнейшим условием выбора оптимального является связь расчетов производительности всей системы и ее составных частей с требованиями к их технологической надежности.

Основные положения по определению производительности ГПС вытекают из определения ее задач:

- ГПС должна быть ориентирована на выпуск комплектов деталей, число которых диктуется требованиями сборки;

- комплект деталей определяется в результате структурного анализа выпускаемых машин и образуется из множества деталей, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками;

- длительность процесса обработки деталей резанием, входящих в это множество, представляет собой случайное событие, которое зависит от вида детали, размеров обрабатываемых поверхностей, метода обработки, типа и уровня автоматизации оборудования;

- длительность процесса обработки деталей этого множества характеризуется количественными характеристиками (станкоемкостью детали, станкоемкостью операции), имеющими статистический характер распределения с параметрами: выборочная средняя станкоемкость, стандартное отклонение и размах;

- ввиду того, что полная размерная обработка осуществляется в течение нескольких смен, при определении производительности значительно проще оперировать понятием «технологическая операция», характеризующим производительность за более короткий промежуток времени.

Годовая программа выпуска.

Годовая программа выпуска определяется по формуле:

$$P_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n (T_{\text{cp}} + t_{\text{cp.п.з.}}) N_i k_j l_{\text{cp}}, \text{ станко-часов,} \quad (32)$$

где T_{cp} – выборочная средняя станкоемкость технологической операции, включающая среднее цикловое время обработки и время загрузки – выгрузки деталей, станко-ч.; $t_{\text{cp.п.з.}}$ – удельное среднее подготовительно-заключительное время, станко-ч.; N_i – годовой объем выпуска i -го изделия, шт.; $i=1,2,\dots, n$ – число наименований выпускаемых изделий, шт.; k_j – число j -х деталей, входящих в состав комплекта по i -му изделию, шт.; l_{cp} – среднее число операций, необходимых для полной размерной обработки j -х деталей, шт.

Производительность ГПС.

Производительность ГПС определяется числом технологических операций, выполняемых в ГПС за единицу времени. По аналогии с автоматическими линиями производительность ГПС подразделяется:

- на цикловую:

$$Q_{\text{ц}} = \frac{T_c}{T_{\text{cp}} S_r}; \quad (33)$$

- потенциальную:

$$Q_n = \left(\frac{T_c}{T_{\text{cp}} + t_{\text{об}}} \right) S_r; \quad (34)$$

- эффективную:

$$Q_{\text{эф}} = \left(\frac{T_c}{T_{\text{cp}} + t_{\text{об}} + t_{\text{opr}}} \right) S_r; \quad (35)$$

где T_c – время, в течение которого определяется производительность ГПС, ч.; $t_{об} = T_{об}/q$ – удельные затраты времени на плановое и внеплановое обслуживание механизмов и режущего инструмента, отнесенное к одной технологической операции, ч. (q – число технологических операций на одном станке за период T_c ; $T_{об}$ – время, затраченное на обслуживание за этот период); $t_{орг} = T_{орг}/q$ – удельные затраты времени на простои оборудования, связанные с организационными причинами, ч. ($T_{орг}$ – время простоев по организационно-техническим причинам за период T_c); S_r – количество оборудования, входящего в состав ГПС, шт.

Организационно-технический уровень ГПС.

Организационно-технический уровень ГПС определяется коэффициентом, характеризующим степень достижения цикловой производительности:

$$\eta_{о.т.у.} = \frac{Q_{эф}}{Q_{ц}}, \quad (36)$$

или

$$\eta_{о.т.у.} = \left(\frac{T_{сп}}{T_{сп} + t_{об} + t_{орг}} \right). \quad (37)$$

Разделив числитель и знаменатель на $T_{сп}$, получим:

$$\eta_{о.т.у.} = \left(\frac{1}{1 + B_{об} + B_{орг}} \right), \quad (38)$$

где $B_{об}$ - удельная, т.е. отнесенная к 1 ч работы ГПС, длительность технического обслуживания; $B_{орг}$ - удельные, т.е. отнесенные к 1 ч работы ГПС, потери времени на организационные причины.

Величина $1 - \eta_{\text{от.у.}}$ характеризует долю времени, в течение которого ГПС простаивает из-за плановых и внеплановых ремонтов, обслуживания и организационных причин. Коэффициент $\eta_{\text{от.у.}}$ характеризует степень взаимного соответствия технологического оборудования и системы обеспечения функционирования ГПС.

Количество основного технологического оборудования.

Количество основного технологического оборудования рассчитывают дифференцированно по моделям. Оборудование выбирают по параметру, в наибольшей степени выявляющему функциональное назначение и технологические возможности оборудования данного типа. Основные размеры применяемого оборудования зависят не только от размеров обрабатываемых заготовок, но и от объема выпуска деталей разных габаритов.

Оборудование должно быть взаимозаменяемым, так как при этом в значительной мере повышается надежность и работоспособность ГПС.

Количество оборудования определяется по формуле:

$$S_r = \frac{P_r}{\Phi_3}, \quad (39)$$

где P_r - годовая программа выпуска, станко-ч.; Φ_3 - эффективный фонд использования технологического оборудования в году, ч.

Рассчитанное количество оборудования округляют в большую сторону до целого числа и уточняют по результатам имитационного моделирования.

Партия запуска.

Партия запуска определяется на основе оптимизации затрат:

- прямых переменных на изготовление деталей;
- на хранение (содержание склада и соответственно хранение), которые остаются неизменными на одну деталь;
- вызванных собственно переналадкой оборудования и простоем за время переналадки, которые не зависят от размера партии, но доля, приходящаяся на деталь, снижается при увеличении партии.

Тогда:

$$m_j = \sqrt{2P'_j \frac{Z_{п.з.}}{Z_{хр}}}, \quad (40)$$

где m_j - размер партии запуска заготовок деталей j -го наименования, шт.; P'_j - годовой выпуск деталей j -го наименования, шт.; $Z_{п.з.}$ - постоянные затраты на подготовку оборудования, руб.; $Z_{хр}$ - затраты на хранение одной детали, руб.

Вместимость склада накопителя.

Вместимость склада накопителя определяется суммой объемов партий заготовок, ожидающих первоначальную обработку, и партий заготовок, находящихся на промежуточном хранении перед последующей обработкой:

$$N_{я.с.} = \frac{m_j k_{1j} k_2}{k_4 \Phi_n} [T_{пер} + T_{посл} (l_{ch} + 1)] k_3, \quad (41)$$

где $N_{я.с.}$ - число ячеек склада-накопителя, шт.; k_{1j} - вместимость транспортной тары (среднее число заготовок j -го типа, укладываемых в тару, шт.); k_2 - число партий заготовок, находящихся одновременно на обработке в ГПС, шт.; $T_{пер}$ - среднее время ожидания партии заготовок перед первоначальной обработкой, смен; $T_{посл}$ - среднее время ожидания партии заготовок перед последующей обработкой, смен; k_3 - коэффициент, учитывающий неравномерность грузооборота, равный 1.25; k_4 - число рабочих смен в сутки; Φ_n - номинальный фонд времени в году, дней.

Расчет количества транспортных средств.

Условия работы АТСС соответствуют условиям работы систем массового обслуживания (СМО) с пуассоновским законом рас-

пределения времени заявок на обслуживание (окончание обработки на станке детали или деталей, размещенных в транспортной таре).

Интенсивность потока заявок на транспортное оборудование:

$$\lambda = \frac{T_c}{2T_{cp} (S_r S_z)} + 2S_z, \quad (42)$$

где T_{cp} - выборочная средняя станкочемкость технологической опе
 $T_{cp} = \sum T_{cpj} k_{ij}$ рации, ч (в случае группового транспортирования деталей); S_z - число станков, подлежащих переналадке за расчетный период времени T_c , шт.

Первое слагаемое в формуле учитывает операции по подаче деталей (тары с деталями при групповом способе транспортирования к станку и обратно); второе – подачу оснастки к станкам, когда при переналадке оборудования она осуществляется АТСС.

Длительность обслуживания заявки зависит от типа транспортного средства, скоростных характеристик транспортного средства и протяженности трассы.

Для машин циклического действия (кранов-штабелеров, транспортных манипуляторов) длительность обслуживания при двухадресном режиме:

$$T_{обс} = 2 (t_p + t_T + t_M + t_{в.п.}), \text{ мин}, \quad (43)$$

где t_p - время разгона транспортного средства, мин; t_T - время торможения транспортного средства, мин; t_M - время движения транспортного средства на маршевой скорости, мин; $t_{в.п.}$ - время выполнения цикла взять-поставить, мин.

Для расчета времени обслуживания обычно используют средний путь движения транспортного средства на маршевой скорости, который составляет 0.3...0.5 длины трассы.

Интенсивность обслуживания:

$$\mu = \frac{1}{T_{\text{ОБС}}} . \quad (44)$$

Основным условием функционирования АТСС является $\alpha < n_{\text{Т.С}}$, где: α - коэффициент, численно равный отношению интенсивности потока заявок и интенсивности обслуживания, т.е. $\alpha = \lambda/\mu$; $n_{\text{Т.С}}$ - число транспортных средств (обслуживающих приборов).

Учитывая, что входящий поток заявок на обслуживание исходит из S_r обслуживаемых объектов ($S_r > n_{\text{Т.С}}$) и обслуживаемый объект вновь становится потенциальным источником заявки на обслуживание, т.е. находится внутри системы и генерирует ограниченный поток заявок. АТСС является типичной замкнутой СМО, для которой длина очереди определяется из выражения:

$$M_1 = \sum_{k=n_{\text{Т.С}}}^{S_r} (k - n_{\text{Т.С}}) P_k , \text{ шт.}, \quad (45)$$

где k - число заявок на обслуживание, шт.; P_k - вероятность того, что в системе на обслуживании и в очереди находится k требований:

$$P_k = \frac{S_r \alpha^k}{k (S_r - k)} P_o \quad \text{при} \quad 1 \leq k \leq S_r; \quad (46)$$

$$\frac{S_r \alpha^k}{n_{\text{Т.С}}^k n_{\text{Т.С}} (S_r - k)} P_o \quad \text{при} \quad n_{\text{Т.С}} \leq k \leq S_r,$$

Величина P_o находится из условий нормировки:

$$\sum_{k=n_{\text{Т.С}}}^{S_r} P_k = 1 \quad \text{при} \quad k = 1, 2, 3, \dots, S_r . \quad (46)$$

Среднее число обслуживаемых и ожидающих обслуживания требований:

$$M_2 = \sum_{k=n_{т.с}}^{S_r} k P_k . \quad (47)$$

Коэффициент использования оборудования:

$$\xi_1 = 1 - (M_2/S_r) . \quad (48)$$

Коэффициент простоя оборудования в ожидании обслуживания:

$$\xi_2 = M_1/S_r . \quad (49)$$

Коэффициент ξ_1 - интегральная характеристика замкнутой системы, характеризующая интенсивность эксплуатации обслуживаемого технологического оборудования; он практически равен вероятности того, что данный станок в любой момент времени будет находиться в эксплуатации. Эта характеристика справедлива при отсутствии пристаночного (буферного) накопителя. При наличии такого накопителя во избежание простоя оборудования необходимо выдержать условие $M_1 \leq T'_{cp}$, где: T'_{cp} - среднее время обработки детали или транспортного комплекта, мин. При использовании в качестве транспортных средств непрерывных видов транспорта (различного вида конвейеров) систему можно рассматривать как СМО с неограниченным количеством обслуживаемых приборов, т.е. $n_{т.с} = \infty$, и при любой интенсивности входящий поток требований начинает немедленно обслуживаться, так как в системе имеются незанятые приборы.

III. Порядок выполнения работы

1. Изучить структуру ГПС.
2. Произвести расчет основных технико-экономических показателей ГПС.

Практическая работа 6

Исследование эффективности автоматической сборки деталей с использованием промышленных роботов

I. Цель работы

Целью работы является изучение сборки деталей с использованием промышленных роботов. Индивидуальные данные для определения эффективности применения робота для сборки выдаются преподавателем.

II. Основные теоретические положения

Краткие сведения об автоматической сборке с применением промышленных роботов.

Для автоматической сборки изделий в условиях крупносерийного и серийного производств используют сборочные робототехнические комплексы (РТК), в которых сборочные операции выполняют промышленные роботы (ПР). Сборочный РТК, как правило, состоит из одного или нескольких ПР, приспособлений, инструментов и другого оборудования, на котором выполняется одна или несколько технологических операций (рис. 6.1).

ПР, входящие в состав РТК, могут выполнять следующие основные функции: транспортирование собираемых деталей на позицию сборки и их сборку; транспортирование собираемых деталей на позицию сборки, их сборку и обслуживание технологического оборудования (металлорежущих станков).

К ПР, входящим в сборочные РТК, предъявляется следующее основное требование: точность их позиционирования должна быть в пределах $\pm (0.01 \div 0.2)$ мм. В производстве сборочные РТК, как правило, объединяют в роботизированные участки, которые обладают большой гибкостью. Управление – цикловое по временному принципу – осуществляется программируемым микроконтроллером через посредство блока пневмораспределителей. Программу вводят в запоминающее устройство путем последовательного набора команд на пульте управления.

Рассмотрим технические характеристики робота ПР5-2Э, применяемого для сборочных операций:

- Грузоподъемность, кг – 0.17.
- Максимальная абсолютная погрешность позиционирования, мм – ± 0.05 .

- Число степеней подвижности – 3.

Показатели захватного устройства:

- усилие захватывания на плече 37 мм, Н, не менее – 40;
- время захватывания, с, не более – 0.1;
- время отпускания, с, не более – 0.2.

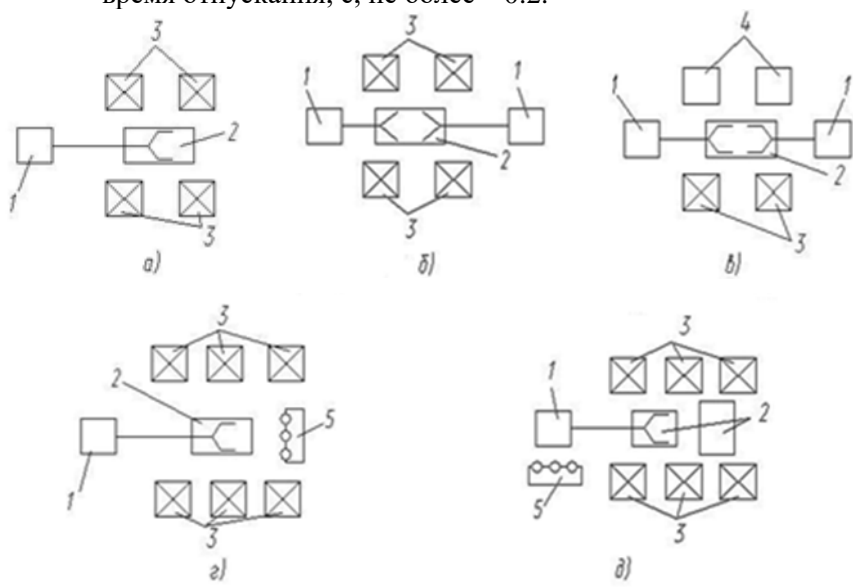


Рис. 6.1. Сборочные комплексы: а – РТК с одним ПР, выполняющим сборочные операции; б - РТК с двумя ПР, выполняющими сборочные операции; в - РТК с одним ПР, выполняющим сборочные операции и обслуживающим технологическое оборудование; г, д - РТК с одним ПР и набором быстросменного инструмента для последовательного присоединения комплектующих деталей к одной или нескольким базовым деталям: 1 – ПР, 2 – сборочные приспособления, 3 – накопители деталей и собранных изделий, 4 - технологическое оборудование, 5 – набор сменяемого автоматически сборочного инструмента и захватов

Характерные размеры захватываемого предмета, мм:

- диаметр детали, минимальный – 28;

- диаметр детали максимальный – 32;

- число программируемых точек по каждой степени подвижности – 2;

- объем пакета для хранения программы в устройстве управления, байт/команд – 512/256.

- номинальное давление сжатого воздуха – 0.4 МПа.

Программируемый микроконтроллер МКП-1 представляет собой микропроцессорное устройство, предназначенное для циклового и программно-логического управления работой технологического оборудования, в том числе ПР. Алгоритм работы микроконтроллера определяется программой, вводимой в его память. Микроконтроллер имеет модульный принцип построения, т. е. все его функциональные блоки выполнены в виде конструктивно законченных устройств (модулей) (рис. 6.2).

Программирование работы микроконтроллера.

Микроконтроллер оснащен системой команд, предназначенной для решения задач циклового и программно-логического управления дискретными производственными процессами, и обеспечивает простоту и высокую производительность программирования.

Исходная информация для составления программ может быть представлена циклограммой оборудования, блок-схемой алгоритма управления или булевых функций (рис. 6.3 и 6.4).

Система команд микроконтроллера реализована исполнительной программой, хранящейся в запоминающем устройстве модуля памяти. Исполнительная программа является неотъемлемой частью микроконтроллера, невидимой и недоступной для пользователя. Ее назначение – преобразование инструкций, введенных оператором с помощью пульта управления или поступающих от управляющей программы, в последовательности кодов машинного языка микропроцессора.

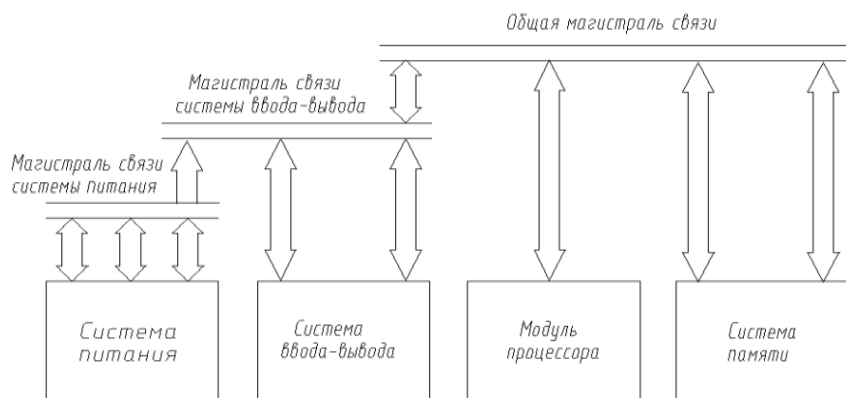


Рис. 6.2. Структурная схема микроконтроллера

Управляющая программа – программа, написанная пользователем в кодах команд входного языка микроконтроллера и обеспечивающая выполнение заданного алгоритма управления технологическим оборудованием. Она размещается в модулях энергонезависимого запоминающего устройства и сохраняется при отключении первичного питания микроконтроллера благодаря использованию батареи элементов.

Команды микроконтроллера по функциональному назначению можно разделить на следующие группы:

- 1) команды ввода-вывода;
- 2) команды управления программой;
- 3) команды управления счетчиками;
- 4) команды контроля и редактирования программ;
- 5) команды текстового контроля функциональных блоков.

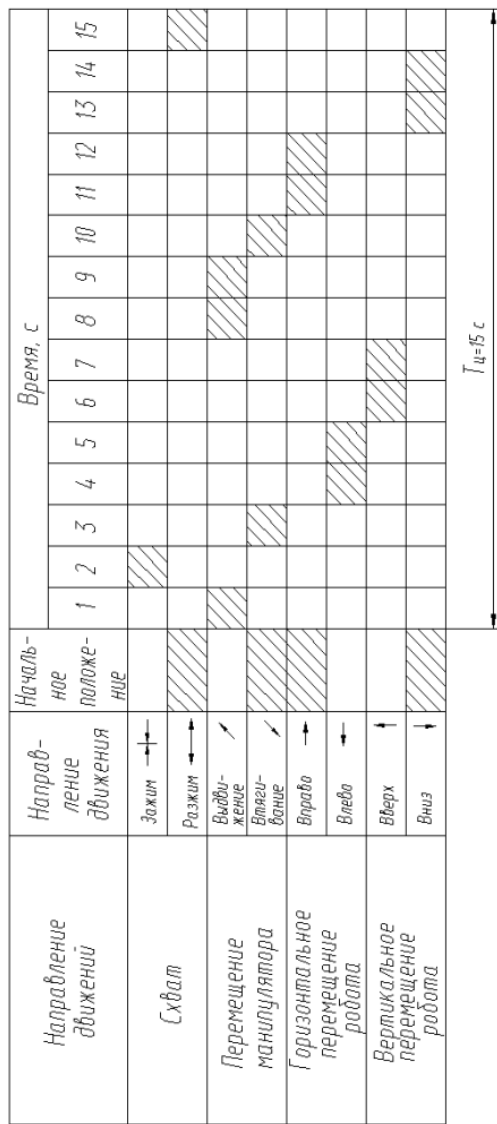


Рис. 6.3. Циклограмма работы промышленного робота ПР5-2Э-5.4.3.-16-0.5 (пример)

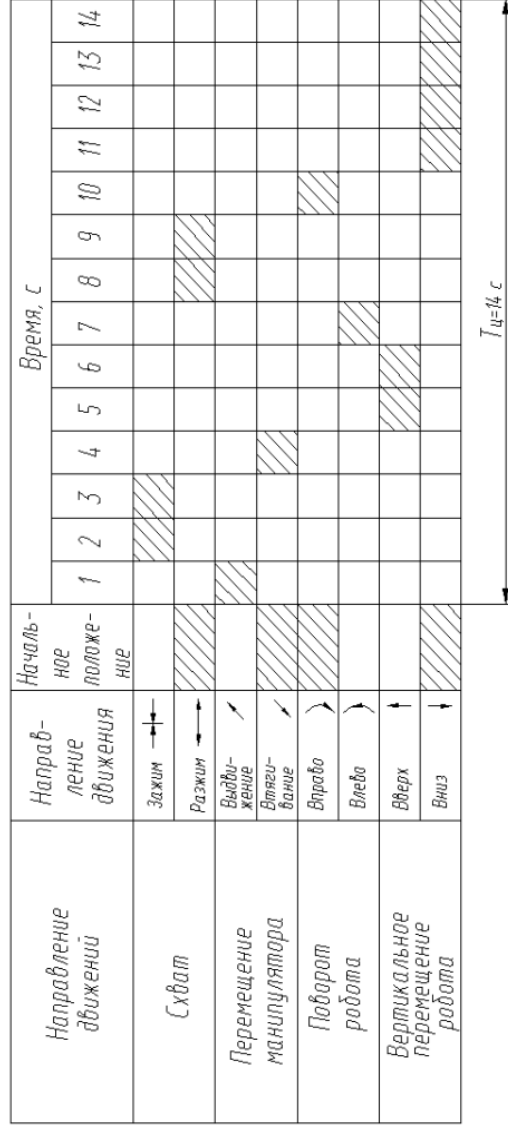


Рис. 6.4. Циклограмма работы промышленного робота ПРС-2Э-13.4.3.-16-0.5

III. Порядок выполнения работы

1. Изучить основные понятия и определения (классификация ПР, системы управления ПР, сущность агрегатно-модульного принципа конструирования ПР)
2. Изучить процесс сборки деталей с использованием промышленных роботов.
3. Произвести оценку эффективности автоматической сборки деталей с использованием ПР.

Практическая работа 7 Изучение алгоритма работы и управления ГПС механообработки

I. Цель работы

Целью работы является изучение типового алгоритма гибкого производственного комплекса механообработки. Индивидуальные задания выдаются преподавателем.

II. Основные теоретические положения

Управление технологическим процессом. При создании системы управления ГПС необходима разработка средств, обеспечивающих автоматическую координацию работы технологического оборудования, АТСС и вспомогательного оборудования, принятие решений и регулирование технологического процесса (ТП).

Принятие решений и регулирование ТП основывается на анализе информации, поступающей от объектов управления. В оперативной памяти ЭВМ строится динамическая модель ГПС в табличной форме, описывающей состояния всех элементов объекта управления.

Особое место в общей системе управления ТП занимает система управления АТСС, которая выполняется самостоятельным законченным блоком, функционирующим автономно относительно

длительного периода времени, что придает ГПС большую гибкость и «живучесть».

Система управления автоматизированной транспортно-складской системы должна обеспечивать выполнение следующих информационных и управляющих функций: прием информации о положении и состоянии оборудования и прием запросов на обслуживание; ведение динамической модели склада (накопителей); разработку рациональных принципов организации накопления и перемещения объектов обработки; подготовку и передачу адресов и команд, обеспечивающих выполнение транспортными механизмами последовательности перемещения объектов обработки; прием информации (в том числе и от оператора), контроль выполнения задания, включая накопление (складирование) и перемещение; диагностирование состояния оборудования и системы управления; выполнение процедур обмена информацией; возможность восстановления информации о состоянии АТСС перед перезапусками системы.

Наличие динамической модели предполагает хранение в информационной памяти микроЭВМ данных о грузах, находящихся на всех стадиях обработки: код детали; стадия обработки; номер партии; число деталей в партии запуска и транспортной партии; место (адрес) нахождения детали (транспортной партии).

Комплекс технических средств является инструментом для реализации функции системы управления ГПС и состоит из управляющего вычислительного комплекса (УВК), связанного с ним периферийного оборудования, каналов связи, средств сбора и обработки информации на элементах объектов управления.

Программное обеспечение. АСУ ГПС является системой переработки информации, работающей в реальном масштабе времени. Программно-математическое обеспечение (ПМО) состоит из пакета прикладных программ, реализующих функции системы управления, и программ, обеспечивающих ввод – вывод информации, проходящей через систему управления. Обмен информацией пользователей системой обеспечивается с помощью универсальных диалоговых средств в реальном масштабе времени.

На рис. 7.1 приведена схема ГАУ для обработки деталей типа

«тел вращения». Участок состоит из двух станков 1 мод. 16К20Ф3, одного станка 2 мод. 1720ПФ30 и одного станка 3 мод. 1В340ПФ30. Каждый станок оснащен роботом-манипулятором 4 типа НЦ-31, который встраивается на корпус станка, а также устройством приема-выдачи 5. Устройство приема-выдачи 5 имеет возможность обслуживаться как приставочным роботом-манипулятором 4, так и подвесным транспортным роботом 6 типа НЦ-32.

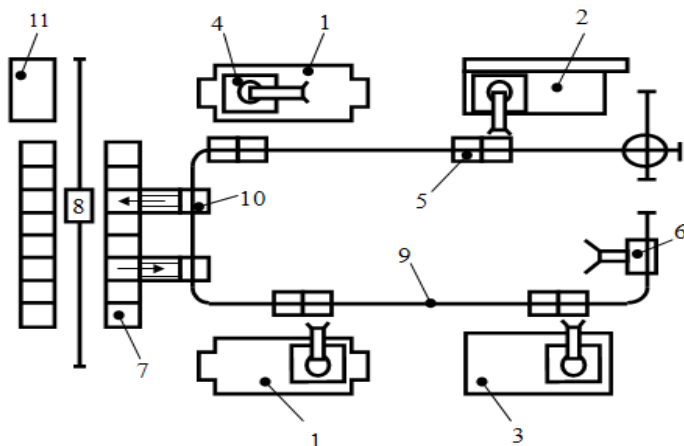
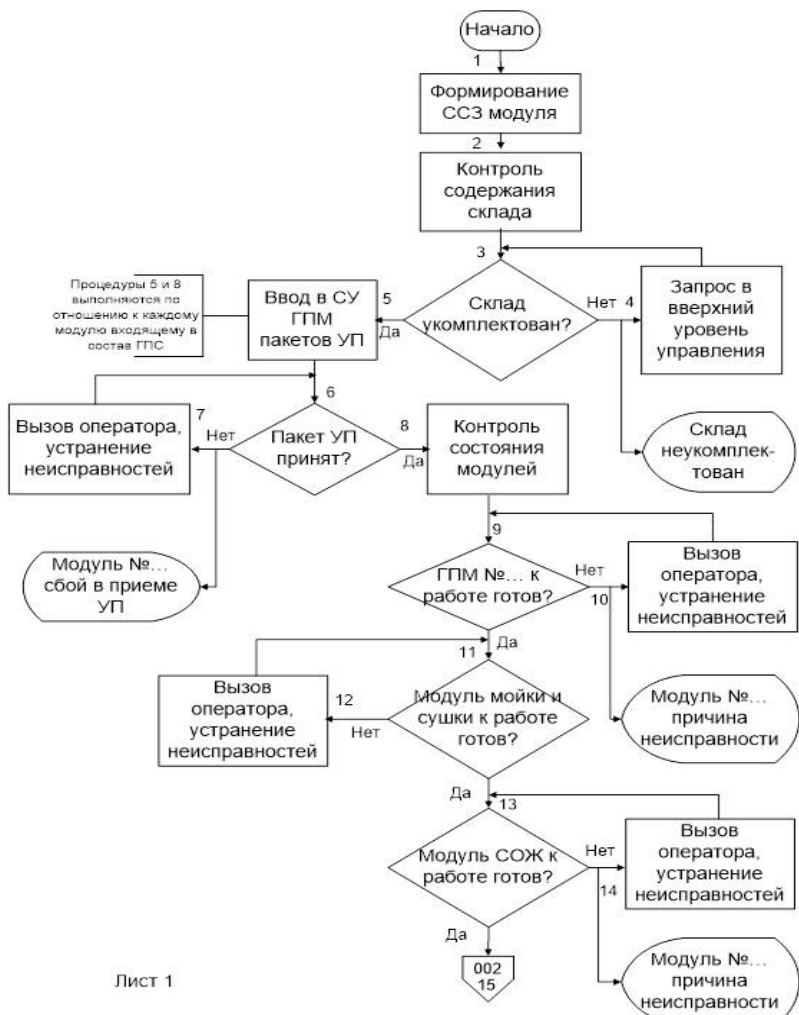


Рис. 7.1. Гибкий автоматизированный участок, с подвесной транспортной системой:

1 – станок с ЧПУ мод. 16К20Ф3; 2 – станок с ЧПУ мод. 1720ПФ30; 3 – станок с ЧПУ мод. 1В340ПФ30; 4 – робот-манипулятор типа НЦ-31; 5 – устройство приема-выдачи; 6 – подвесной транспортный робот типа НЦ-32; 7 – стеллаж; 8 – штабелер; 9 – монорельсовая подвесная система; 10 – система приема-выдачи рольгангового (цепного) типа; 11 – секция для комплектации заготовок и настройки инструмента

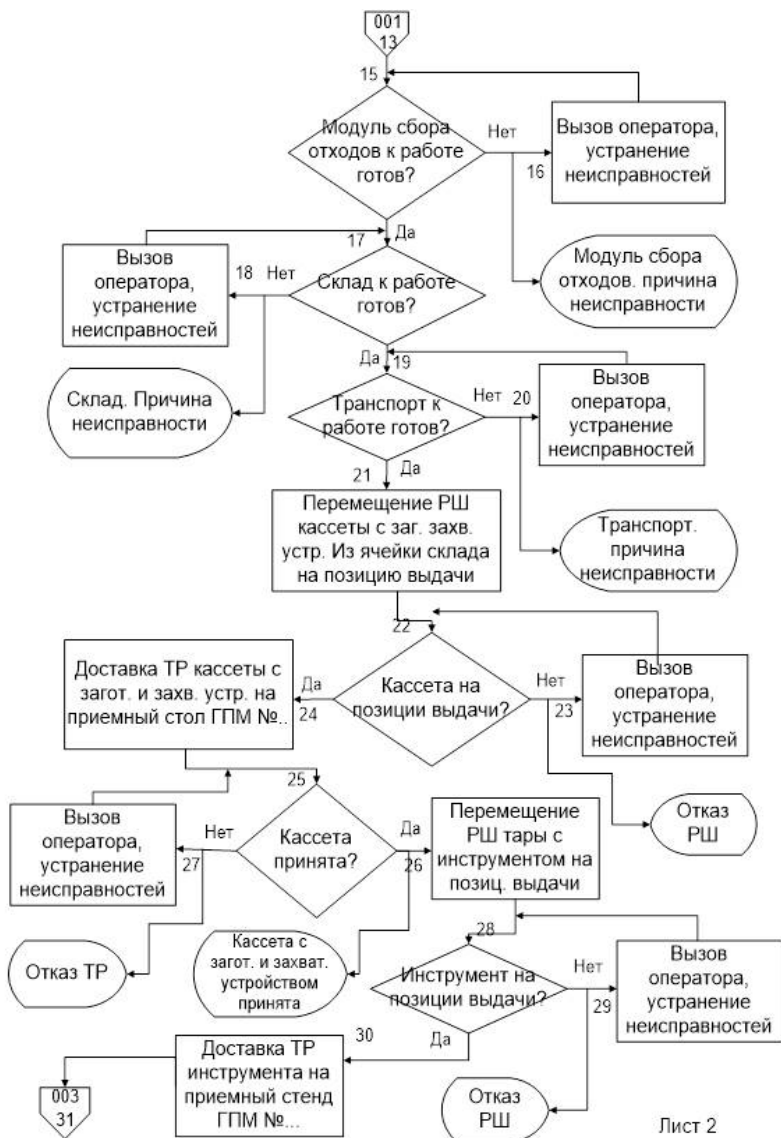
Все компоненты, обеспечивающие автоматизацию ГПМ, имеют собственные системы управления и связаны с ЭВМ станков. Связь накопителей ГПМ в АТСС 7 осуществляется штабелером 8 складской системы посредством подвесной монорельсовой системы 9 и системы приема-выдачи 10 рольгангового (или цепного) типа. ГАУ оснащен секцией 11, предназначенной для комплектации заготовок и настройки инструмента (см. рис. 5).

Типовой алгоритм функционирования ГПС механообработки приведен на схеме, представленной на рис. 7.2.



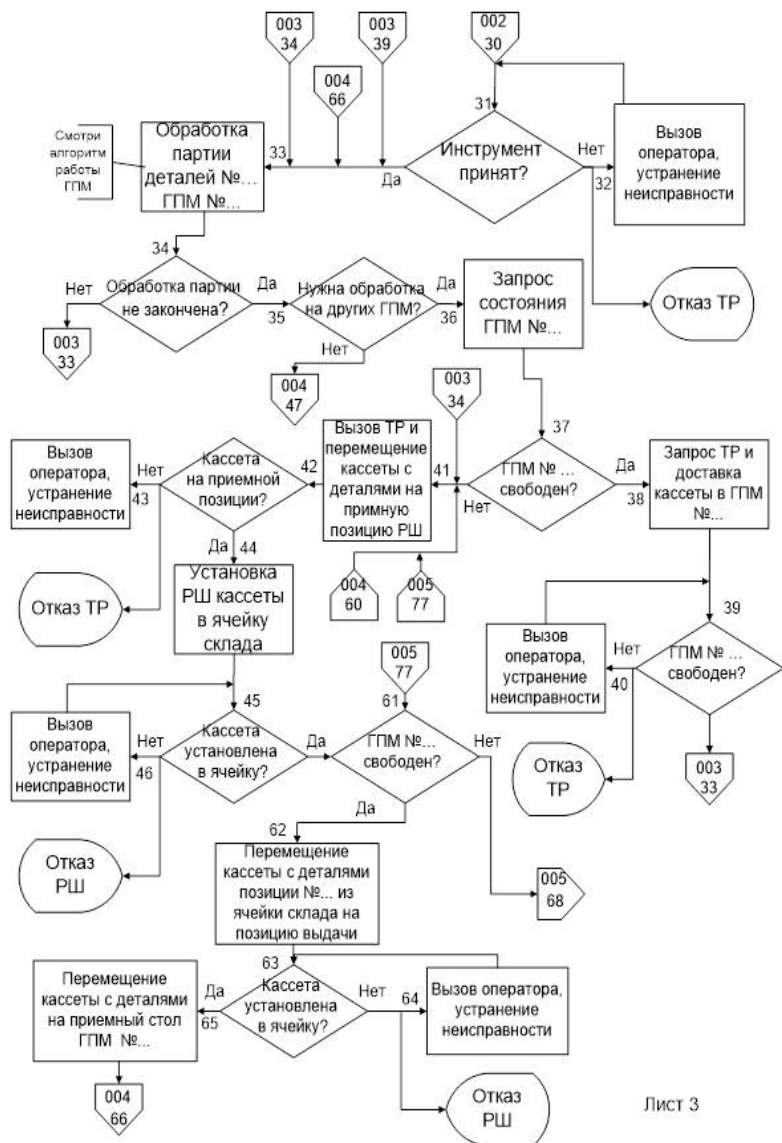
Лист 1

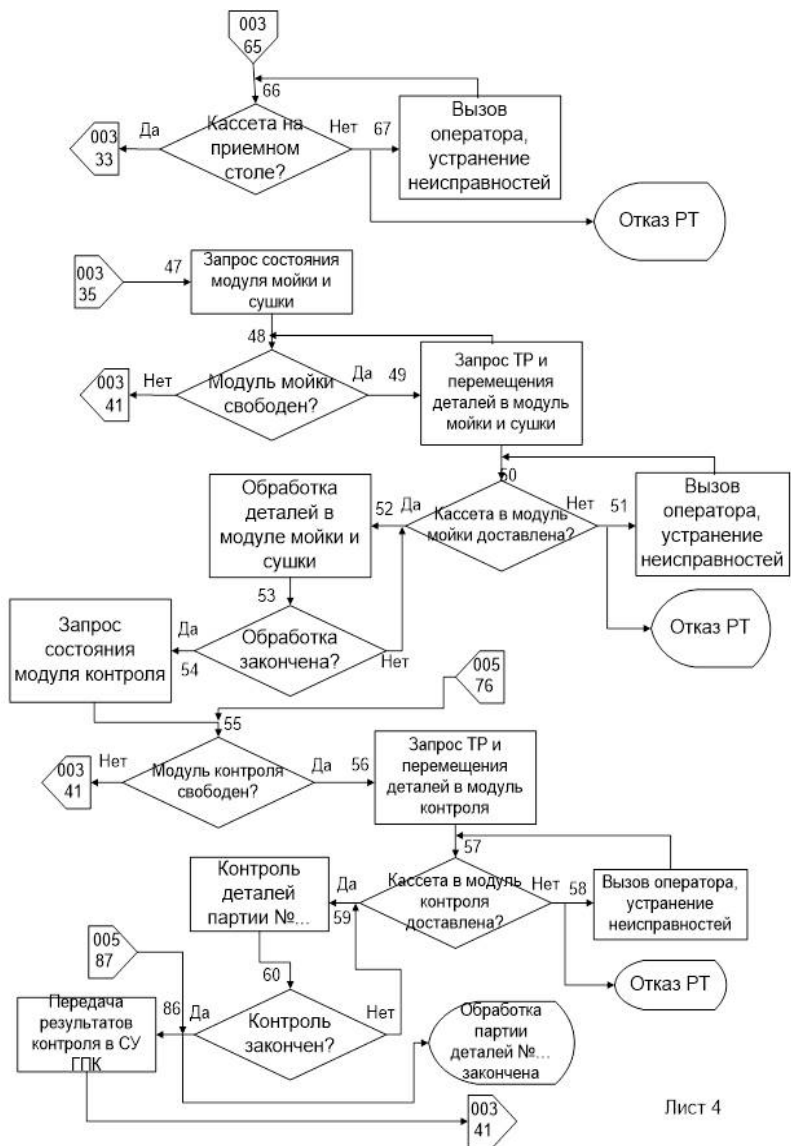
Рис. 7.2. Типовой алгоритм функционирования ГПС механообработки, Лист 1



Лист 2

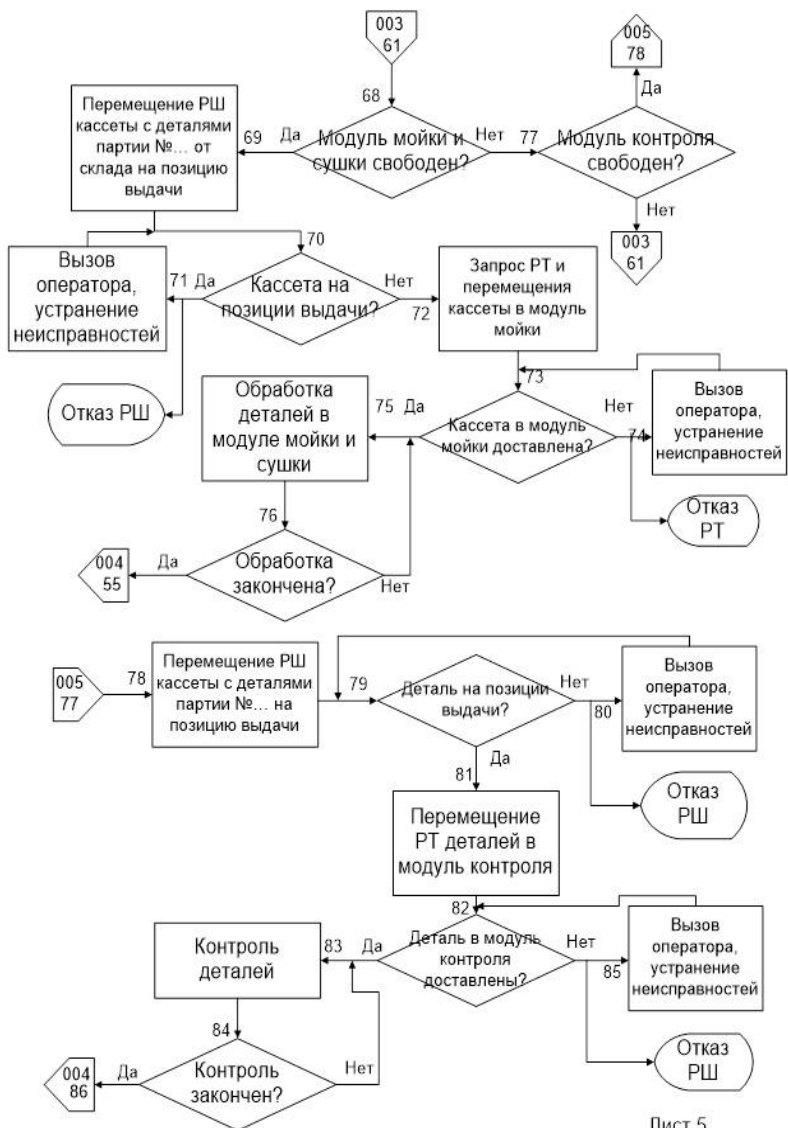
Рис. 7.2. Типовой алгоритм функционирования ГПС механообработки, Лист 2





Лист 4

Рис. 7.2. Типовой алгоритм функционирования ГПС механообработки, Лист 4



Лист 5

Рис. 7.2. Типовой алгоритм функционирования ГПС механообработки, Лист 5

III. Порядок выполнения работы

1. Изучить типовой алгоритм работы гибкого производственного комплекса механообработки.

2. Внести коррективы в типовой алгоритм работы гибкого производственного комплекса механообработки в соответствии с индивидуальным заданием.

ГЛОССАРИЙ (КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ)

Автомат – самостоятельно действующее устройство, выполняющее по заданной программе процессы.

Агрегат – сборочная единица, способная выполнять в машине определенную функцию.

АСИО - автоматизированная система инструментального обеспечения.

АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства.

АТСС – автоматизированная транспортно-складская система.

АСУ – автоматизированная система управления.

АСУО – автоматизированная система удаления отходов.

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами.

ГАЛ – гибкая автоматизированная линия.

ГАУ – гибкий автоматизированный участок.

ГАЦ - гибкий автоматизированный цех.

Гибкие механизмы – механизмы, в которых передача движения осуществляется с помощью ремней, цепей или канатов.

Гибкость по номенклатуре – способность ГПС производить разнообразные изделия.

Гибкость по объему - способность ГПС эффективно функционировать при изменяющихся объемах выпуска.

Гибкость по продукту – способность ГПС быстро переключаться на выпуск новых деталей.

ГПМ – гибкие производственные модули.

ГПС – гибкие производственные системы.

Зажим станочного приспособления – механизм для закрепления заготовки.

Изделие – предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии.

Исполнительные механизмы – механизмы, непосредственно воздействующие на обрабатываемый объект.

Корпус станочного приспособления – основная часть с базами для установки его на металлорежущий станок.

Машина – сочетание механизмов, осуществляющих преобразование энергии, материалов или информации.

Маршрутная гибкость – возможность изменения порядка выполнения операций.

Машинная гибкость – простота перестройки технологического оборудования ГПС для производства заданного множества деталей.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности ГПС и требующее для его устранения вмешательства человека.

Производственная гибкость – способность ГПС продолжать работу при отказах отдельных технологических элементов.

ПР – промышленный робот.

Работоспособность – способность ГПС выпускать продукцию заданного качества и в заданном объеме.

РТК – роботизированные технологические комплексы.

САК – система автоматизированного контроля.

САПР – система автоматизированного проектирования.

Сбой – самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности.

Структурная гибкость – возможность расширения ГПС за счет введения новых технологических модулей.

Технологическая гибкость – способность производить заданное множество типов деталей различными способами.

ТОУ – технологический объект управления.

ЧПУ – числовое программное управление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. *Максаров В.В.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении / В.В. Максаров, В.А. Красный, А.И. Кексин – СПб.: Изд-во «Лема», 2019. – 127 с.
2. *Петрова С.П.* Автоматизация технологических процессов в машиностроении / А.П. Осипов, С.П. Петрова. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 55 с.
3. *Рыжаков В.В.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. пособие / В.В. Рыжаков, В.А. Купряшин, Н.М. Боклашов.- Пенза: ПензГТУ, 2011. — 152 с.
4. *Фельдштейн Е.Э.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. пособие / Е.Э. Фельдштейн - Минск: Новое знание, 2011. — 265 с.

Дополнительный

5. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник для вузов / Н.М. Капустин [и др.] – М.: Высш. шк., 2004. – 414 с.
6. *Ганзбург Л.Б.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов / Л.Б. Ганзбург, В.В. Максаров, А.Г. Схиртладзе. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2001. – 178 с.
7. *Шимарев В.Ю.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник для студ. вузов / В.Ю. Шимарев – М.: Изд.центр «Академия», 2007. – 368 с.
8. *Веткасов Н. И.* Автоматизация производственных процессов в машиностроении./ Н. И. Веткасов, С. И. Рязанов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006.— 68 с.
9. *Михайлов В.В.* Элементы технических средств автоматизации: методические указания к выполнению лабораторных работ– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 30 с.
10. *Шимарев В. Ю.* Типовые элементы систем автоматического управления. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 275 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Практическая работа 1.....	4
Практическая работа 2.....	12
Практическая работа 3.....	18
Практическая работа 4.....	28
Практическая работа 5.....	36
Практическая работа 6.....	46
Практическая работа 7.....	52
ГЛОССАРИЙ (КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ).....	61
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	63

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 15.03.01*

Сост.: *А.Е. Ефимов, В.А. Красный, А.Д. Халимоненко*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
машиностроения

Ответственный за выпуск *А.Е. Ефимов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 28.05.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,8. Усл.кр.-отг. 3,8. Уч.-изд.л. 3,6. Тираж 50 экз. Заказ 326. С 34.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2