



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Технология машиностроения»**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**Рабочая программа, задания  
и методические указания**

**Минск  
БНТУ  
2014**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Технология машиностроения»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ

Рабочая программа, задания  
и методические указания к курсовому проекту  
для студентов-заочников специальности  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 621.865.8:378.147.091.313(075.4)

ББК 32.816я7

А22

Составители:

*С. И. Романчук, П. Г. Сухоцкий,*

*И. С. Фролов, Л. В. Курч*

Рецензенты:

*В. И. Туромша, А. В. Гулай*

В методических указаниях изложена учебная программа дисциплины «Автоматизация производственных процессов в машиностроении» для самостоятельного изучения студентами-заочниками, а также приведены варианты индивидуальных заданий по курсовому проекту, излагаются содержание и порядок его выполнения, требования к оформлению и объему.

## ВВЕДЕНИЕ

«Автоматизация производственных процессов в машиностроении» является одной из профилирующих дисциплин, изучаемых студентами на стадии завершения обучения по специальности «Технология машиностроения». Целью преподавания этой дисциплины является приобретение студентами специальных знаний и умений, необходимых для организации высокоэффективных автоматизированных производственных процессов в машиностроении.

В процессе изучения этой дисциплины студент должен ознакомиться:

с общими закономерностями и тенденциями развития современного автоматизированного производства;

основами построения технологических процессов автоматизированного производства;

принципами построения автоматизированных станочных систем, цехов и предприятий;

методами управления производственными процессами с применением современных средств автоматики и вычислительной техники;

основами применения промышленных роботов и манипуляторов для повышения эффективности производства.

Изучение дисциплины базируется на знании общетеоретических, общеинженерных и специальных дисциплин, таких как «Теория резания», «Теория автоматического управления технологическими системами», «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки», «Гидро- и пневмопривод и гидро- и пневмоавтоматика», «Электротехника, электрические машины и аппараты», «Электроника и микропроцессорная техника» и др.

В свою очередь, эта дисциплина служит теоретической основой для изучения других специальных предметов, например, «САПР технологических процессов», «Проектирование механосборочных участков и цехов» и др.

Разделы, посвященные средствам автоматизации, должны постоянно совершенствоваться, отражая прогресс в этой области и используя наиболее прогрессивные конструктивные и технологические решения. Изучение дисциплины включает освоение учебного материала программы по рекомендуемой литературе на установочных и обзорных лекциях, в процессе лабораторных занятий, а также при самостоятельном выполнении курсового проекта.

Литература по дисциплине не ограничивается рекомендуемым списком, который периодически обновляется и дополняется.

## **1. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

### **1.1. Введение**

Цель и основные задачи дисциплины. Автоматизация – основа технической политики в области промышленного производства. Роль отечественных ученых в развитии автоматизации производства. Тенденции и проблемы автоматизации процессов машиностроения.

Литература: [1]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [12]; [16].

### **1.2. Основные положения автоматизации производства**

Основные понятия и определения. Этапы развития автоматизации производственных процессов в машиностроении. Классификация автоматического оборудования и технологии производства. Общая концепция и стратегия автоматизации производства. Организационно-технические предпосылки автоматизации. Классификация гибких производственных систем (ГПС). Укрупненная структура сквозного цикла производственного процесса. Особенности системного подхода при создании автоматизи-

зированных производств. Автоматизация процессов машиностроения для различных типов производств.

Литература: [1]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [12]; [16]; [17]; [25].

### **1.3. Производительность труда и экономическая эффективность в автоматизированном производстве**

Технико-экономические преимущества, обеспечиваемые автоматизацией производства. Производительность труда в автоматизированном производстве. Пути повышения производительности. Уровни и способы автоматизации производственного процесса. Показатели и критерии эффективности автоматизации производства. Методы расчета, оценки и анализа производительности автоматических машин и систем. Баланс производительности автоматизированного технологического оборудования. Пути повышения производительности в автоматизированном производстве. Эффективность и прогрессивность новой техники.

Литература: [1]; [2]; [5]; [6]; [8]; [18].

### **1.4. Производственный процесс как объект автоматизации, его этапы и особенности**

Анализ производственного процесса при автоматизации. Общие требования к технологичности конструкций изделий при автоматизированном производстве. Этапы проектирования автоматизированного производственного процесса. Анализ исходных данных, выявление конструктивно-технологической общности деталей при автоматизации производства. Формирование целевых структур производственной системы. Определение функциональной структуры автоматизированного производственного процесса. Определение состава основного технологического оборудования при автоматизации производства. Компонировка технологической и транспортной систем при автоматизации производства.

Литература: [1]; [2]; [3]; [5]; [6]; [18]; [22].

## **1.5. Автоматизация загрузки оборудования**

Назначение и виды загрузочных устройств. Магазинные загрузочные устройства. Бункерные загрузочные устройства. Вибрационные бункерные загрузочные устройства. Методы и средства автоматизированного ориентирования изделий. Механизмы поштучной выдачи заготовок. Накопители и питатели. Автооператоры. Захваты. Автоматизация транспортно-загрузочных операций с помощью промышленных роботов.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [6]; [8]; [14]; [15]; [17]; [18]; [19]; [20]; [21]; [25].

## **1.6. Автоматизация обработки заготовок**

Процесс резания – объект автоматического управления. Автоматическое управление параметрами обработки. Адаптивное управление режимами обработки. Способы автоматизации рабочего цикла на станках в единичном, серийном и массовом производствах. Методы обеспечения заданной точности обработки. Определение наладочного размера. Автоматизация процесса установки, статической и динамической настройки станочных систем. Автоподналадчики. Автоматизация обработки корпусных деталей. Автоматизация обработки деталей типа тело вращения.

Литература: [1]; [2]; [7]; [11]; [14].

## **1.7. Автоматизация процессов сборки**

Состояние и перспективы автоматизации сборочных работ. Особенности автоматизированного технологического процесса сборки. Технологичность изделий, сборочных операций и деталей при автоматизированной сборке. Основные методы достижения заданной точности при автоматизированной сборке. Ориентация деталей при автоматической сборке. Сборка сопряжений по цилиндрическим поверхностям с гарантированным зазором и натягом. Автоматизация сборки резьбовых

соединений. Автоматизация сборки соединений заклепками. Автоматизация сборки соединений методом пластического деформирования. Автоматическая пайка. Автоматизация склеивания деталей. Оборудование для автоматической сборки.

Литература: [2]; [3]; [4]; [7]; [8]; [23]; [24]; [25].

### **1.8. Автоматизация контроля машиностроительного производства**

Цель и значение автоматизации контроля в машиностроении. Классификация видов технического контроля. Особенности контроля в автоматизированном производстве. Системы автоматического контроля в автоматизированном производстве. Технические средства контроля в автоматизированном производстве. Автоматический контроль размеров и положения заготовок перед обработкой. Контроль процессов механической обработки. Автоматический контроль деталей в процессе обработки. Техническое диагностирование состояния оборудования. Автоматический контроль состояния режущего инструмента. Автоматизированное оборудование для контроля и сортировки деталей. Системы технического зрения. Координатно-измерительные машины.

Литература: [1]; [2]; [3]; [4]; [16]; [17]; [18]; [19].

### **1.9. Комплексная автоматизация машиностроительного производства**

Комплексная автоматизация производств различных типов. Автоматические линии, их классификация, структуры и компоновки. Автоматические линии с гибкой и жесткой связями. Автоматические роторные и роторно-конвейерные линии. Гибкие станочные системы. Переналаживаемое производство с гибким транспортом.

Литература: [1]; [2]; [4]; [5]; [6]; [8]; [9]; [10]; [13]; [14]; [16]; [17]; [18]; [22]; [25].

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Анализ применения промышленных роботов (ПР) для загрузки технологического оборудования усложняется, когда перед одним ПР стоит задача обслуживания нескольких единиц оборудования в заданной последовательности. Исследование функционирования ПР, загружающего и разгружающего в определенной последовательности это оборудование, представляет значительный интерес и включает в себя изучение производительности роботизированных систем.

Для выполнения любой работы требуются определенные затраты времени:

$$T = t_p + t_b,$$

где  $T$  – время, в течение которого производится обработка;

$t_p$  – время, затрачиваемое на рабочие ходы;

$t_b$  – время, затрачиваемое на вспомогательные ходы при выполнении всего цикла обработки заготовки.

Если за период рабочего цикла  $T$  автоматическая машина выпускает одно изделие, то при условии бесперебойности работы ее цикловая производительность

$$Q_{\text{ц}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_b}.$$

Если производится не одно, а  $P$  изделий, то цикловая производительность

$$Q_{\text{ц}} = \frac{P}{T}.$$

Если в автоматической машине отсутствуют вспомогательные ходы ( $t_b = 0$ ;  $T = t_p$ ) и технологический процесс происходит непрерывно, то цикловая производительность

$$Q_{ц} = \frac{1}{t_p} = K.$$

Величину  $K$  называют технологической производительностью рабочей машины или наибольшей технологической производительностью. Повышение технологической производительности достигается интенсификацией режимов обработки, применением новых прогрессивных технологических процессов, сокращением длины обрабатываемого участка, приходящегося на каждый инструмент, совмещением операций между собой и другими методами.

В автоматизированном оборудовании дискретного действия со вспомогательными ходами цикловая производительность всегда меньше технологической

$$Q_{ц} = K\eta,$$

где  $\eta$  – коэффициент производительности ( $\eta < 1$ ).

Однако для того чтобы оценить фактическую производительность автомата, автоматической линии, гибкой производственной системы, необходимо учесть также внецикловые потери:

$$Q_{\Phi} = \frac{1}{T + \sum t_{\Pi}} = \frac{1}{t_p + t_b + \sum t_{\Pi}},$$

где  $\sum t_{\Pi} = \frac{\sum Q_{\Pi}}{z}$  – внецикловые потери, т. е. простои, приходящиеся на одну деталь.

Таким образом, фактическая производительность всегда меньше цикловой

$$Q_{\text{ф}} = Q_{\text{ц}} \eta_{\text{ис}},$$

где  $\eta_{\text{ис}}$  – коэффициент использования ( $\eta_{\text{ис}} < 1$ ).

Причины простоев – различные факторы, часть которых является регламентированными (планово-предупредительная смена инструмента, профилактика или подналадка, уборка и очистка, сдача смены и т. д.), а часть – случайными (отказы систем и их устранение, перебои в снабжении заготовками, инструментом и т. д.). Простоем является и время, потраченное на изготовление деталей с браком.

Для исследования функционирования ПР и анализа производительности предложены две компоновочные схемы роботизированных технологических комплексов (РТК) механообработки – круговая с напольным ПР, работающим в цилиндрической, сферической или угловой системе координат (компоновка 1), и линейная с ПР порталного типа (компоновка 2), работающим в угловой или декартовой системе координат (рис. 2.1). Также в состав РТК входят три станка (поз. Б, В, Г), входные (поз. А) и выходные (поз. Д) групповые (межучастковые) накопители и пристаночные одно- и двухместные индивидуальные (межоперационные) накопители. Планировочные схемы условно заданы в общем виде.

Расчет геометрических параметров РТК с ПР, работающим в цилиндрической системе координат, не вызывает затруднений. На рис. 2.2, а показано расположение рабочей зоны станка и пристаночного накопителя в вертикальной плоскости относительно ПР с цилиндрической системой координат. Для выхода из станка ПР должен последовательно выполнять перемещение

$$x = r_2 - r_0 \text{ и } z = h_2 - h_0.$$

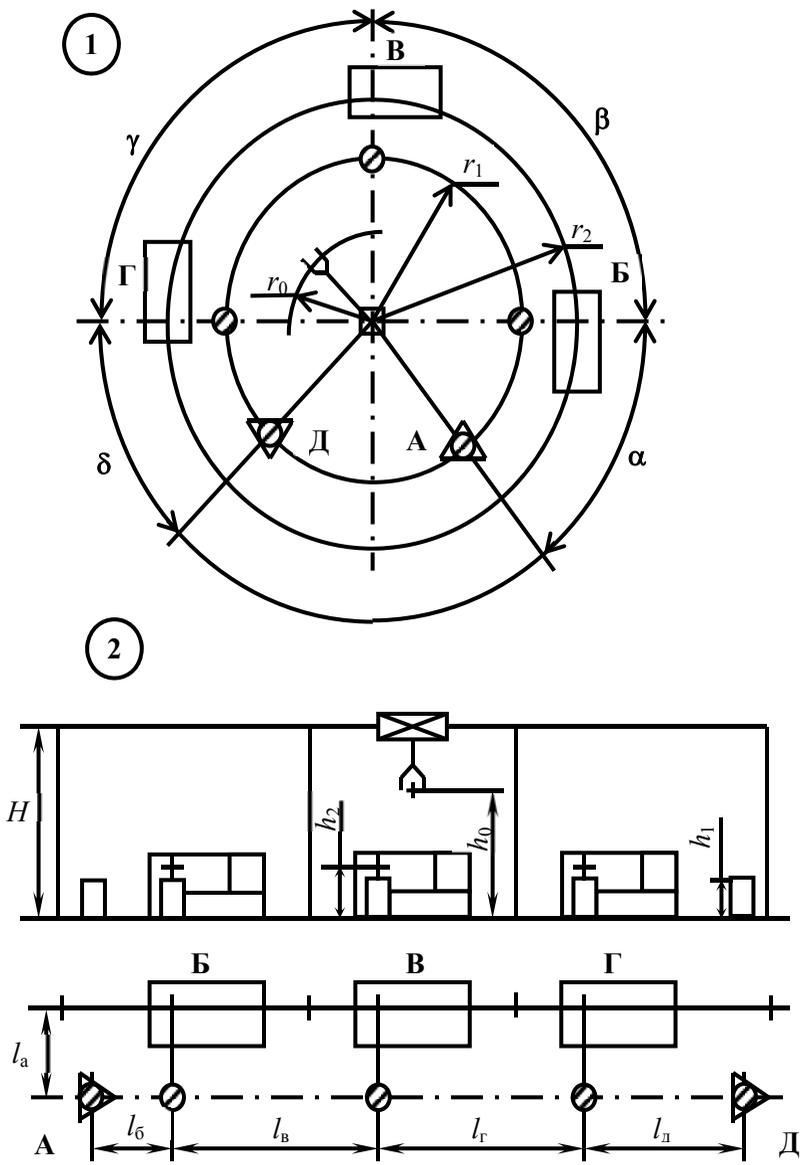


Рис. 2.1. Базовые компоновочные схемы РТК механообработки:  
 1 – круговая компоновка с групповым ПР напольного типа;  
 2 – линейная компоновка с групповым ПР порталного типа

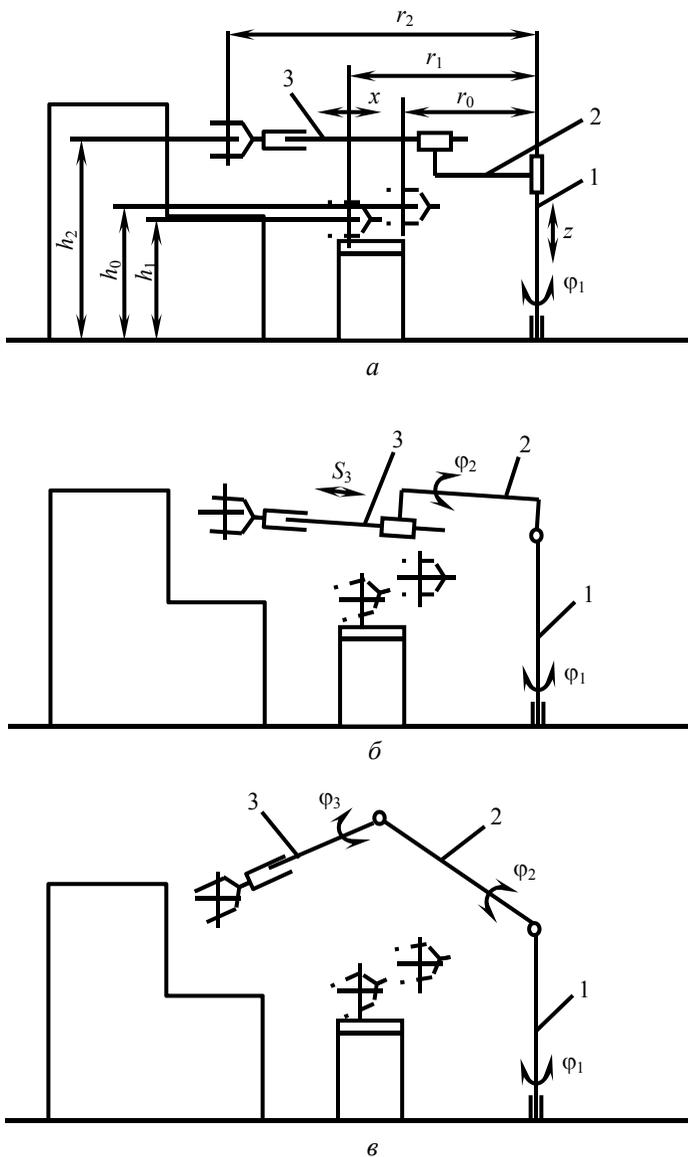


Рис. 2.2. Рабочие зоны РТК механообработки при использовании ПР, работающих в различных системах координат:  
*a* – напольный ПР в цилиндрической системе координат;  
*б* – в сферической; *в* – в угловой

Поворот вокруг оси  $Z$  на угол  $\varphi_1$  осуществляется только по дуге радиусом  $r_0$  и на уровне  $h_0$  (исходное положение); вход в рабочую зону станка – последовательно в обратном порядке, работа с накопителями – аналогично в соответствии с их расположением.

ПР со сферической системой координат (рис. 2.2, б) для выхода из станка в исходное положение должен последовательно выполнить перемещение

$$S_3'' = \sqrt{(h_2 - l_1)^2 + r_2^2} - \sqrt{(h_0 - l_1)^2 + r_0^2}$$

и поворот на требуемый угол  $\varphi_2''$ ; вход в рабочую зону станка – последовательно в обратном порядке. При необходимости воспользоваться пристаночным накопителем, ПР последовательно выполняет поворот на требуемый угол  $\varphi_2'$  и перемещение

$$S_3' = \sqrt{(h_1 - l_1)^2 + r_1^2} - \sqrt{(h_0 - l_1)^2 + r_0^2}.$$

Значения перемещений  $\varphi_2'$  и  $\varphi_2''$  легко получить геометрическим построением плана перемещений в вертикальной плоскости, принимая во внимание, что длина первого звена  $l_1 = 1050$  мм. Поворот от станка к станку вокруг оси  $Z$  на угол  $\varphi_1$  осуществляется аналогично ПР, работающему в цилиндрической системе координат. Все необходимые траектории ПР в РТК получаются комбинированием полученных перемещений при изменении угла  $\varphi_1$ .

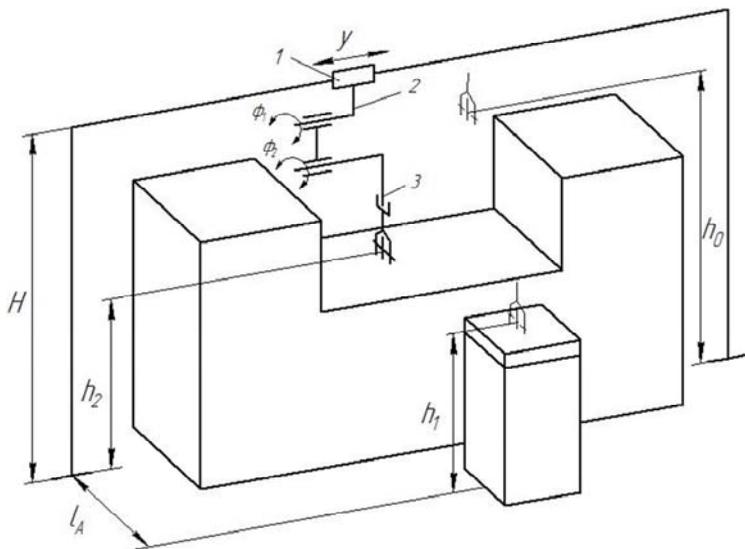
Робот с угловой системой координат (рис. 2.2, в) может выполнять перемещение звеньев 2 и 3 на углы  $\varphi_2''$  и  $\varphi_3''$  для выхода из станка в исходное положение с последующим поворотом вокруг оси  $Z$  на требуемый угол  $\varphi_1$ . Если принять, что длины звеньев  $l_1 = 1050$  мм и  $l_2 = l_3 = 850$  мм, то построением

плана перемещений нетрудно оценить значения углов  $\varphi_2''$  и  $\varphi_3''$ . Аналогично получают значения углов поворота  $\varphi_2'$  и  $\varphi_3'$ , требуемых для взаимодействия с накопителем. Все необходимые траектории ПР в РТК получают комбинированием полученных значений  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ .

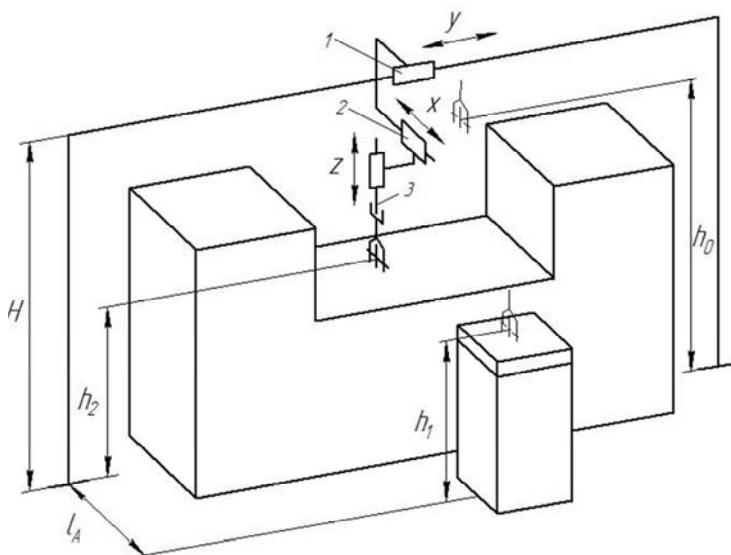
Следует отметить также, что для реализации полного цикла загрузки-разгрузки станков ПР должен осуществить некоторые ориентирующие движения как в рабочей зоне станка, так и в рабочей зоне накопителей, например: ориентацию и ввод заготовки в патрон станка, переориентацию сдвоенного схвата при перегрузке станка, поиск свободной ячейки и укладку детали в накопитель и т. д. Чтобы не перегружать исходные данные, для расчета условно можно принять, что любое элементарное вспомогательное движение осуществляется за время  $t_{всп} = 0,2$  мин. Если перемещения включают несколько элементарных движений, время необходимо просуммировать в соответствии с количеством элементов движения.

Отдельно, с помощью величин  $t_{зак} = 0,1$  мин. и  $t_{захв} = 0,1$  мин., оценивается время на закрепление (зажим) заготовки в патроне станка и раскрепление (захват) обработанной детали соответственно. Также величину  $t_{захв}$  можно использовать при оценке загрузки-выгрузки накопителей. Приведенные здесь допущения следует использовать и при анализе компоновок РТК с ПР портального типа.

ПР портальной компоновки, работающий в угловой системе координат (рис. 2.3, а), должен выполнить поворот звеньев 2 и 3 на углы  $\varphi_2''$  и  $\varphi_3''$  соответственно для выхода из станка в исходное положение с последующим линейным перемещением по оси  $Y$  на требуемое расстояние. Для взаимодействия с пристаночным накопителем выполняется поворот звеньев 2 и 3 на углы  $\varphi_2'$  и  $\varphi_3'$ . Если принять  $H = 2,6$  м;  $l_1 = 0,4$  м;  $l_2 = l_3 = 0,85$  м, то построением плана перемещений не трудно получить искомые значения углов  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ .



*a*



*б*

Рис. 2.3. Промышленный робот портальной компоновки, работающий:  
*a* – в угловой; *б* – в декартовой системе координат

Портальный ПР, работающий в декартовой системе координат (рис. 2.3, б), осуществляет выход из зоны станка в исходное положение вертикальным перемещением по оси  $Z$  до уровня  $h_0$ , т. е.

$$z = h_0 - h_2.$$

Для выхода в рабочую зону пристаночного накопителя помимо вертикальных перемещений

$$z = h_0 - h_1$$

требуются линейные перемещения по оси  $X$  на расстояние  $x = l_a$ . Общая зона обслуживания формируется сочетанием перемещений по всем трем осям.

После определения геометрических параметров ПР определяют допустимые скорости перемещения заготовки или детали при обеспечении заданной точности позиционирования.

Для определения скорости линейного позиционирования по координате  $x$  в диапазоне перемещений  $L_x = 0,05-0,8$  м может быть использована эмпирическая формула

$$v_x = \frac{2L_x^4 \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}},$$

где  $\Delta l$  – погрешность линейного позиционирования, мм;

$M$  – масса объекта манипулирования, кг.

С дальнейшим увеличением  $L_x$  возможности увеличения  $v_x$  уменьшаются, и при  $L_x = 0,8-2$  м используется формула

$$v_x = \frac{1,6L_x^4 \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}.$$

Аналогично с учетом диапазона перемещений определяют скорости линейного позиционирования по координате  $Y$ .

Рассчитанные значения скоростей линейного позиционирования по соответствующим координатам, превышающие значения скоростей, указанных в паспортных данных выбранного ПР, принимаются в соответствии с техническими характеристиками ПР.

Скорость вертикального перемещения схвата можно рассчитать по формуле

$$v_z = \frac{a_z \sqrt{L_z} \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}},$$

где  $a_z$  – коэффициент, зависящий от конструкции привода:

- при гидравлическом приводе  $a_z = 3$ ,
- при электромеханическом приводе  $a_z = 3,5$ ,
- при пневматическом приводе  $a_z = 4$ ;

$L_z$  – длина пути при вертикальном перемещении, м.

Для определения допустимой быстроходности устройств поворота может быть использована формула

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{\varphi} \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_k)^4}},$$

где  $\omega$  – угловая скорость,  $c^{-1}$ ;

$\varphi$  – угол поворота руки, рад;

$\delta$  – погрешность углового позиционирования, с;

$L_k$  – вылет консоли руки робота, м.

Для определения погрешности углового позиционирования используют формулу

$$\delta = \frac{\Delta l}{L_k} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600,$$

где  $\Delta l$  – погрешность линейного позиционирования, м;

$L_k$  – вылет консоли руки робота, м.

Далее определяют время перемещения.

В большинстве ПР используется закон изменения скорости движения, близкий к трапецеидальному. При трапецеидальном законе изменения скорости время  $T$  отдельного движения может быть определено по формуле

$$T = \sqrt{\frac{L}{a_k}} \cdot \frac{1 + K(v / \sqrt{a_k L})^2}{v / \sqrt{a_k L}}, \quad (2.1)$$

где  $L$  – длина перемещения по соответствующей координате, м;

$a_k$  – ускорение при торможении-разгоне,  $\text{м/с}^2$ ;

$K$  – коэффициент, зависящий от соотношения ускорений при разгоне и торможении;

$v$  – скорость установившегося движения,  $\text{м/с}$ .

На практике установлено, что оптимальные скорости перемещения исполнительных устройств достигались при ускорении  $a_k = 4\text{--}5 \text{ м/с}^2$ . Целесообразно также принять  $K = 1$ , т. е. модули ускорения при разгоне и торможении принять одинаковыми.

Если вращательное движение рассматривать приведенным к определенному радиусу, то данную расчетную формулу можно использовать и для вращательного движения. Таким образом, время отдельного вращательного движения может быть определено по формуле

$$T = \sqrt{\frac{\varphi}{\varepsilon_k}} \cdot \frac{1 + K(\omega / \sqrt{\varepsilon_k \varphi})^2}{\omega / \sqrt{\varepsilon_k \varphi}},$$

где  $\varphi$  – угол поворота руки, рад;

$\varepsilon_k$  – угловое ускорение при торможении-разгоне,  $\text{с}^{-2}$ ;

$K$  – коэффициент, зависящий от соотношения ускорений при разгоне и торможении ( $K = 1$ );

$\omega$  – угловая скорость,  $\text{с}^{-1}$ .

Угловое ускорение определяется по формуле

$$\varepsilon_k = \frac{a_k}{L_k},$$

где  $a_k$  – ускорение при торможении-разгоне, м/с<sup>2</sup>;

$L_k$  – вылет консоли руки робота, м.

На основе полученных расчетных значений геометрических и кинематических параметров можно построить циклограмму работы РТК, а также провести анализ и оценку производительности.

### 3. РАСЧЕТ ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

Расчет механических хватных устройств включает:  
нахождение сил, действующих в местах контакта заготовки и губок;

определение усилий привода;

проверку отсутствия повреждений поверхности детали при захватывании;

расчет на прочность деталей хватных устройств. Последний ведется по обычным методикам расчета деталей машин.

Расчет сил, действующих в местах контакта хватного устройства с объектами манипулирования, ведется по формулам табл. 3.1.

Различают следующие схемы удержания объектов в механическом хватном устройстве:

- деталь поддерживается губкой хватного устройства, силы трения мало влияют на механизм удержания детали или не влияют совсем (схемы 5, 6, 7 в табл. 3.1);

- деталь удерживается благодаря запирающему действию губок при ограниченном влиянии сил трения (схемы 2 и 3 в табл. 3.1);

- деталь удерживается силами трения (схемы 1 и 4 в табл. 3.1).

Таблица 3.1

Формулы для расчета сил, действующих в местах контакта заготовки и элементов захвата для различных вариантов исполнения части А (табл. 3.2)

Расчетная схема		Расчетные формулы
№ п/п	Варианты исполнения губок захвата	
1		$N_1 = N_2 = \frac{P}{2f};$ $F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2} = \frac{P}{2}$
2		$N_1 = \frac{P \sin \alpha}{f(1 + \sin \alpha)};$ $N_2 = N_3 = \frac{P}{2f(1 + \sin \alpha)};$ $F_{\text{тр}1} = \frac{P \sin \alpha}{1 + \sin \alpha};$ $F_{\text{тр}2} = F_{\text{тр}3} = \frac{P}{2(1 + \sin \alpha)}$
3		$N_1 = N_2 = \frac{P \sin \alpha_2}{2f(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)};$ $N_3 = N_4 = \frac{P \sin \alpha_1}{2f(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)};$ $F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2} = \frac{P \sin \alpha_2}{2(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)};$ $F_{\text{тр}3} = F_{\text{тр}4} = \frac{P \sin \alpha_1}{2(\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2)}$

Продолжение табл. 3.1

Расчетная схема		Расчетные формулы
№ п/п	Варианты исполнения губок захвата	
4		$N_1 = \frac{P \cos \theta}{2f};$ $N_2 = \frac{P \cos \theta}{2f} + P \sin \theta;$ $F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2} = \frac{P \cos \theta}{2}$
5		$N_1 = \begin{cases} \frac{P \sin(\alpha - \theta)}{\cos \alpha} & \text{при } \alpha \geq \theta, \\ 0 & \text{при } \alpha < \theta; \end{cases}$ $N_2 = \begin{cases} \frac{P \cos \theta}{\cos \alpha} & \text{при } \alpha \geq \theta, \\ \frac{P \sin(\alpha + \theta)}{\sin 2\alpha} & \text{при } \alpha < \theta; \end{cases}$ $N_3 = \begin{cases} 0 & \text{при } \alpha \geq \theta, \\ \frac{P \sin(\theta - \alpha)}{\sin 2\alpha} & \text{при } \alpha < \theta \end{cases}$
6		$N_1 = \frac{P \cos \theta}{\cos \alpha};$ $N_2 = \frac{P \sin(\alpha + \theta)}{\cos \alpha}$

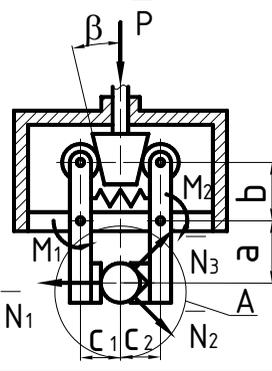
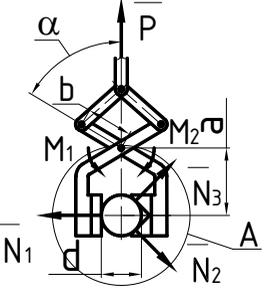
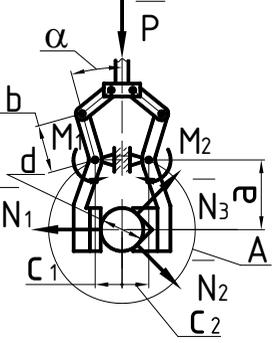
Расчетная схема		Расчетные формулы
№ п/п	Варианты исполнения губок захвата	
7		$N_1 = \begin{cases} \frac{P \sin(\alpha_2 - \theta)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} & \text{при } \alpha_2 \geq \theta, \\ 0 & \text{при } \alpha_2 < \theta; \end{cases}$ $N_2 = \begin{cases} \frac{P \sin(\alpha_2 + \theta)}{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)} & \text{при } \alpha_2 \geq \theta, \\ \frac{P \sin(\alpha_2 + \theta)}{\sin 2\alpha_2} & \text{при } \alpha_2 < \theta; \end{cases}$ $N_3 = \begin{cases} 0 & \text{при } \alpha_2 \geq \theta, \\ \frac{P \sin(\theta - \alpha_2)}{\sin 2\alpha_2} & \text{при } \alpha_2 < \theta \end{cases}$

На практике обычно встречается сложное нагружение захватных устройств, при котором имеет место комбинация описанных случаев. При этом в процессе манипулирования объектом характер и схемы удержания детали могут изменяться, поэтому расчет необходимо вести для критического случая нагружения.

Расчет усилий привода ведется по формулам табл. 3.2, где рассмотрены примеры применения клиновых, рычажных и реечных передаточных механизмов. Рычажные передаточные механизмы получили наибольшее распространение, поскольку обеспечивают выигрыш в усилиях зажима детали. По сравнению с рычажными реечные передачи имеют меньшие габаритные размеры, обеспечивают большее раскрытие губок, но не дают выигрыша в усилиях зажима объекта.

Таблица 3.2

Формулы для расчета усилий привода  
передаточных механизмов захватных устройств

№ п/п	Схема передаточного механизма	Расчетные формулы
1		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{b \eta_p} \operatorname{tg} \beta;$ <p> <math>\eta_p = 0,7-0,88</math> при осях на подшипниках скольжения;  <math>\eta_p = 0,51-0,65</math> при осях на подшипниках скольжения  <math>\beta = 4-8^\circ</math> </p>
2		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{b \eta_p} \cos \alpha;$ <p> <math>\eta_p = 0,9-0,95</math> </p>
3		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{b \eta_p} \cos \alpha;$ <p> <math>\eta_p = 0,9-0,95</math> </p>

№ п/п	Схема передаточного механизма	Расчетные формулы
4		
5		$P = \frac{\sum_{j=1}^2 M_j}{m_c z_c \eta_p};$ <p><math>m_c</math> – модуль сектора;  <math>z_c</math> – полное число зубьев сектора;  <math>\eta_p = 0,92-0,96</math></p>
6		

Расчет удерживающих моментов привода захватных устройств ведется по формулам, приведенным в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Формулы для расчета удерживающих моментов привода  
захватных устройств

Вариант исполнения губок захвата (по табл. 3.1)	Исполнение передаточного механизма (по табл. 3.2)	Удерживающий момент
1	1, 2, 3, 4, 6	$M_i = N_i a$ , где $i = 1, 2$
	5	$M_i = N_i a + F_{\text{тр}i} (c_i - d/2)$ , где $i = 1, 2$
2	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 a$ ; $M_2 = N_2 (a \sin \alpha + c_2 \cos \alpha) + N_3 (a \sin \alpha - c_2 \cos \alpha)$
	5	$M_1 = N_1 a + F_{\text{тр}1} (c_1 - d/2)$ ; $M_2 = N_2 a \sin \alpha + N_3 a \sin \alpha + (F_{\text{тр}2} + F_{\text{тр}3}) (c_2 - d/2)$
3	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 (a \sin \alpha_1 - c_1 \cos \alpha_1) + N_2 (a \sin \alpha_1 + c_1 \cos \alpha_1)$ ; $M_2 = N_3 (a \sin \alpha_2 + c_2 \cos \alpha_2) + N_4 (a \sin \alpha_2 + c_2 \cos \alpha_2)$
	5	$M_1 = N_1 a \sin \alpha_1 + N_2 a \sin \alpha_1 + (F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2}) (c_1 - d/2)$ ; $M_2 = N_3 a \sin \alpha_2 + N_4 a \sin \alpha_2 + (F_{\text{тр}3} + F_{\text{тр}4}) (c_2 - d/2)$
4	1, 2, 3, 4, 6	$M_i = N_i a + F_{\text{тр}i} (c_i - d/2)$ , где $i = 1, 2$
	5	$M_i = N_i a$ , где $i = 1, 2$

Вариант исполнения губок захвата (по табл. 3.1)	Исполнение передаточного механизма (по табл. 3.2)	Удерживающий момент
5	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 a;$ $M_2 = N_2 (a \sin \alpha + c_2 \cos \alpha) +$ $+ N_3 (a \sin \alpha - c_2 \cos \alpha)$
	5	$M_1 = N_1 a;$ $M_2 = a (N_2 + N_3) \sin \alpha$
6	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 (a \sin \alpha + c_1 \cos \alpha);$ $M_2 = N_2 a$
	5	$M_1 = N_1 a \sin \alpha;$ $M_2 = N_2 a$
7	1, 2, 3, 4, 6	$M_1 = N_1 (a \sin \alpha_1 + c_1 \cos \alpha_1);$ $M_2 = N_2 (a \sin \alpha_2 + c_2 \cos \alpha_2) +$ $+ N_3 (a \sin \alpha_2 - c_2 \cos \alpha_2)$
	5	$M_1 = N_1 a \sin \alpha_1;$ $M_2 = a (N_2 + N_3) \sin \alpha_2$

Параметры, задаваемые разработчиком (см. табл. 3.2):

$a_i, c_i$  – расстояния от точки поворота губок до  $i$ -й точки контакта;

$b$  – размер рычага;

$\alpha$  – угол рычага;

$\beta$  – угол конуса.

Определение напряжений на поверхностях контакта захватного устройства с объектом манипулирования может потребоваться как при расчете устройства, так и установлении возможности повреждения объекта при его захватывании и удержании. В ряде случаев, особенно при удержании детали благодаря силам трения, усилия, действующие в местах контакта с захватным устройством, бывают значительными. Это

может привести к повреждению поверхности детали, что недопустимо при чистовой обработке, или к повреждению зажимных губок захватного устройства.

#### 4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходные данные в соответствии с вариантом задания выбираются из табл. 4.1 и 4.2. Цифрами (1 или 2) в строке задания задана базовая компоновка (круговая или линейная, см. рис. 2.1). Индекс рядом с римской цифрой означает емкость пристаночного накопителя ( $a$  – одноместный,  $b$  – двухместный). Заглавная буква в строке задания – тип системы координат ПР (Ц – цилиндрическая, С – сферическая, У – угловая, Д – декартовая). Кроме того, для всех вариантов следует принять следующие исходные параметры:

ёмкость входного (выходного) накопителя – 10 шт.;

время установки  $t_{\text{зак}}$ , снятия  $t_{\text{захв}}$  детали – 0,1 мин;

время вспомогательных движений  $t_{\text{всп}}$  – 0,2 мин.

Для вариантов с порталной компоновкой:

расстояние от портала ПР до линии расположения накопителей  $L_A$  – 0,8 м;

высота портала  $H$  – 2,6 м.

Остальные параметры обозначены следующим образом:

$M$  – масса заготовки, кг;

$\Delta l$  – погрешность линейного позиционирования, мм;

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – углы расположения оборудования, градус;

$r_0, r_1, r_2$  – радиусы расположения исходной позиции, накопителей и оборудования соответственно, м;

$l_A, l_B, l_B, l_G, l_D$  – линейные параметры компоновочной схемы, м;

$h_0, h_1, h_2$  – уровни расположения исходной позиции, накопителей и оборудования соответственно, м;

$t_B, t_V, t_G$  – время на обработку на позициях Б, В, Г соответственно, мин.

Маршрут обработки задан в виде последовательности позиций.



Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
21	1a	Ц	25	0,5	45	90	45	0,6	0,8	1,2	-	-	-	-	1,0	0,65	1,4	4,0	3,6	3,4	А-Г-В- Б-Д	
22		С																				
23		У																				
24	2a	У	30	1,0	-	-	-	-	-	-	2,8	6,2	6,2	2,8	2,0	1,0	1,4	5,2	5,0	4,8	-/-	
25		Д																				
26		Ц																				
27	1a	С	15	0,5	30	90	30	0,6	1,0	1,2	-	-	-	-	0,8	0,65	1,4	2,8	2,6	2,0	А-Г-В- Б-Д	
28		У																				
29		У																				
30	2a	Д	25	1,0	-	-	-	-	-	-	3,2	6,0	6,0	4,6	1,8	1,0	1,4	5,0	4,2	4,2	-/-	
31		Ц																				
32		С																				
33	1B	У	15	0,2	60	60	60	0,6	1,2	1,4	-	-	-	-	1,2	0,65	1,6	3,8	4,2	3,6	А-Б-В- Г-Д	
34		У																				
35		Д																				
36	2B	Д	40	1,0	-	-	-	-	-	-	2,0	5,0	5,0	3,0	2,2	1,0	1,6	6,4	4,8	5,2	-/-	
37		Ц																				
38		С																				
39	1B	У	10	0,3	60	90	60	0,8	1,2	1,4	-	-	-	-	1,0	0,65	1,6	3,2	3,6	4,8	А-Б-Г- В-Д	
40		У																				
41		Д																				
42	2B	У	30	0,5	-	-	-	-	-	-	2,8	6,0	6,0	4,2	2,0	1,0	1,6	3,6	6,8	3,6	-/-	
43		Д																				
44		Ц																				
45	1B	С	5	0,2	60	90	30	0,8	1,0	1,4	-	-	-	-	0,8	0,65	1,6	3,4	4,0	3,8	А-Б-В- Г-Д	
46		У																				
47		Д																				
48	2B	У	20	0,5	-	-	-	-	-	-	2,0	6,0	6,0	3,2	1,8	1,0	1,6	5,2	5,2	5,8	А-Б-В- Г-Д	
49		Д																				
50		Ц																				
46	1B	Ц	15	1,0	30	90	60	0,6	1,0	1,4	-	-	-	-	1,2	0,65	1,6	3,6	3,8	6,0	А-Б-Г- В-Д	
47		С																				
48		У																				
49	2B	У	10	0,3	-	-	-	-	-	-	2,8	5,6	5,6	3,2	2,2	1,0	1,6	4,4	4,4	4,8	-/-	
50		Д																				

Параметры захватного устройства

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Параметр																									
Схема передаточного механизма по табл. 3.2	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1
Вариант исполнения губок захвата по табл. 3.1	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
Диаметр заготовки, мм	50	55	60	70	80	75	65	60	80	90	75	70	80	100	110	85	90	95	120	125	90	100	85	100	105
Масса заготовки, кг	5	5	5	10	10	10	10	10	20	20	15	15	15	30	30	20	20	20	40	40	25	25	25	30	30
Угол призмы $\alpha$ (первой призмы $\alpha_1$ ), градус	-	90	120	-	60	90	120	-	120	90	-	90	120	60	-	120	90	-	60	90	120	-	90	60	-
Угол второй призмы $\alpha_2$ , градус	-	-	60	-	-	-	90	-	-	60	-	-	-	120	-	-	120	-	-	-	120	-	-	60	-
Угол поворота плоскости разъема захвата $\theta$ , градус	-	-	-	15	0	45	60	-	-	-	0	45	60	15	-	-	-	45	60	15	30	-	-	-	60

Продолжение табл. 4.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Параметр																									
Модуль сектора $m_c$ , мм	-	-	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	-	2,5	2	3	-	-	-	3	2	3	-	-	-	2,5	2	2,5	-
Число зубьев сектора $z_c$	-	-	-	17	19	21	-	-	-	21	19	17	-	-	-	17	19	21	-	-	-	19	17	21	-
Коэффициент трения $f$	0,3	0,15	0,3	0,1	-	-	-	0,1	0,1	0,15	0,3	-	-	-	0,25	0,3	0,1	0,1	-	-	-	0,1	0,15	0,15	0,3
Вариант	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Параметр																									
Схема передаточного механизма по табл. 3.2	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2
Вариант исполнения губок захвата по табл. 3.1	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1
Диаметр заготовки, мм	70	80	65	85	100	75	65	80	130	115	75	70	80	140	130	45	55	35	85	90	70	65	75	55	50
Масса заготовки, кг	15	15	15	25	25	15	15	15	40	40	10	10	10	30	30	5	5	5	20	20	15	15	15	10	10
Угол призмы $\alpha$ (первой призмы $\alpha_1$ ), градус	60	90	120	-	120	90	-	60	90	120	-	120	60	-	90	120	90	-	60	60	-	90	120	120	-

Окончание табл. 4.2

Вариант	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Параметр																									
Угол второй призмы $\alpha_2$ , градус	-	-	60	-	-	60	-	-	-	90	-	-	120	-	-	-	120	-	-	90	-	-	-	60	-
Угол поворота плоскости разреза захвата $\theta$ , градус	10	20	30	-	-	-	40	50	60	0	-	-	-	20	30	0	50	-	-	-	30	0	10	40	-
Модуль сектора $m_c$ , мм	-	-	2,5	3,5	1,5	-	-	-	3	2	2	-	-	-	2,5	3	2	-	-	-	2,5	2,5	3	-	-
Число зубьев сектора $z_c$	-	-	21	17	19	-	-	-	17	21	19	-	-	-	17	21	19	-	-	-	21	17	17	-	-
Коэффициент трения $f$	-	-	-	0,1	0,3	0,15	0,3	-	-	-	0,3	0,35	0,3	0,1	-	-	-	0,1	0,35	0,1	0,15	-	-	-	0,3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В курсовом проекте требуется провести сравнительный анализ производительности РТК для случаев использования ПР с одним и со сдвоенным схватами, а также в вариантах с использованием пристаночного (одно- или двухместного) накопителя и без него.

Содержание курсового проекта включает следующие вопросы:

Введение.

1. Анализ компоновочной схемы РТК. Выбор моделей металлорежущих станков и ПР.

2. Алгоритм функционирования РТК.

3. Расчет геометрических и кинематических параметров. Построение циклограммы работы РТК.

4. Анализ и оценка производительности РТК. Поиск оптимального алгоритма функционирования РТК.

5. Расчет коэффициентов загрузки оборудования и ПР.

6. Расчет захватного устройства ПР.

Заключение.

Раздел по п. 1 должен содержать пример реализации заданной компоновки РТК в механообработке с использованием конкретных моделей металлорежущих станков и ПР.

Форма представления циклограммы проекта РТК может быть произвольной.

Курсовой проект выполняется в виде пояснительной записки на 30–35 страницах текста формата А4, включая рисунки, схемы, таблицы. Графическая часть проекта должна содержать:

компоновочную схему РТК;

общий вид выбранного ПР с указанием его технических характеристик;

схемы захватного устройства ПР (схему передаточного механизма и схему губок захвата);

схему алгоритма функционирования РТК;

циклограмму работы РТК.

Курсовой проект должен включать (в указанной последовательности) титульный лист, задание на курсовой проект, аннотацию (краткое содержание выполненной работы, сведения о ее объеме, количестве рисунков, таблиц, библиографических источников), оглавление, основную часть проекта, заключение, список литературы, приложения.

По указанию руководителя курсового проекта в объем может быть включен пункт по научно-исследовательской или учебно-методической работе с выполнением графической части до одного листа формата А1.

Выполненный курсовой проект подписывается студентом и руководителем и представляется на защиту в комиссию, назначенную заведующим кафедрой. При определении оценки учитываются ритмичность и качество выполнения проекта, а также фактический уровень инженерной подготовки студента.

## Литература

### *Основная*

1. Схиртладзе, А. Г. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / А. Г. Схиртладзе, В. Н. Воронов, В. П. Борискин. – Старый Оскол : ТНТ, 2011. – 611 с.
2. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / под ред. Н. М. Капустина. – М. : Высшая школа, 2007. – 415 с.
3. Основы автоматизации машиностроительного производства / под ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Высшая школа, 2001. – 312 с.
4. Автоматизация процессов машиностроения / под ред. А. Н. Дашенко. – М. : Высшая школа, 1991. – 480 с.
5. Волчкевич, М. М. Комплексная автоматизация производства / Л. И. Волчкевич, М. П. Ковалев, М. М. Кузнецов. – М. : Машиностроение, 1983. – 269 с.
6. Кузнецов, М. М. Автоматизация производственных процессов / М. М. Кузнецов, Л. И. Волчкевич, Ю. Н. Замчалов ; под ред. Г. А. Шаумяна. – М. : Высшая школа, 1978. – 431 с.
7. Корсаков, В. С. Автоматизация производственных процессов / В. С. Корсаков. – М. : Высшая школа, 1978. – 294 с.
8. Малов, А. Н. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / А. Н. Малов, Ю. В. Иванов. – М. : Машиностроение, 1974. – 368 с.
9. Дашенко, А. Н. Проектирование автоматических линий : учебное пособие / А. Н. Дашенко, А. П. Белоусов. – М. : Высшая школа, 1983. – 328 с.
10. Кошкин, Л. Н. Роторные и роторно-конвейерные линии / Л. Н. Кошкин. – М. : Машиностроение, 1983. – 376 с.
11. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю. М. Соломенцев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1980. – 536 с.

## *Дополнительная*

12. Макаров, И. М. Роботехника и гибкие автоматизированные производства : в 9 кн. / И. М. Макаров. – М. : Высшая школа, 1986. – Кн. 1 : Системные принципы создания гибких автоматизированных производств. – 175 с.

13. Организационно-технологическое проектирование ГПС / В. О. Азбель [и др.] ; под общ. ред. С. П. Митрофанова. – Л. : Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1986. – 294 с.

14. Пуш, В. Э. Автоматические станочные системы / В. Э. Пуш, Р. Пичерт, В. Л. Сосонкин ; под ред. В. Э. Пуша. – М. : Машиностроение, 1982. – 319 с.

15. Козырев, Ю. Г. Промышленные роботы : справочник / Ю. Г. Козырев. – М. : Машиностроение, 1983. – 376 с.

16. Жданович, В. Ф. Комплексная механизация и автоматизация в механических цехах / В. Ф. Жданович, Л. Б. Гай. – М. : Машиностроение, 1976. – 287 с.

17. Гибкие производственные комплексы / под ред. П. Н. Белянина, В. А. Лещенко. – М. : Машиностроение, 1984. – 384 с.

18. Гибкое автоматическое производство / В. О. Азбель [и др.] ; под ред. С. А. Майорова, Г. В. Орловского, С. Н. Халкипова. – Л. : Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1985. – 454 с.

19. Кузнецов, М. М. Проектирование автоматизированного производственного оборудования / М. М. Кузнецов, Б. А. Усов, В. С. Стародубов. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.

20. Механика промышленных роботов : учебное пособие для вузов : в 3 кн. / под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. – М. : Высшая школа, 1989. – Кн. 3 : Основы конструирования / Е. И. Воробьев [и др.]. – 383 с.

21. Автоматическая загрузка технологических машин : справочник / И. С. Бляхеров [и др.] ; под общ. ред. И. А. Клусова. – М. : Машиностроение, 1990. – 400 с.

22. Мельников, Т. Н., Вороненко В.П. Проектирование механосборочных цехов / Т. Н. Мельников, В. П. Вороненко ; под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

23. Косилов, В. В. Технологические основы проектирования автоматического сборочного оборудования / В. В. Косилов. – М. : Машиностроение, 1976. – 248 с.

24. Научные основы автоматической сборки машин / под ред. М. П. Новикова. – М. : Машиностроение, 1976. – 317 с.

25. Роботы и автоматизация производства / Р. Асфаль [и др.] ; пер. с англ. М. Ю. Евстигнеева [и др.]. – М. : Машиностроение, 1989. – 448 с.

## Содержание

Введение .....	3
1. Рабочая программа.....	4
2. Методические указания к изучению дисциплины.....	8
3. Расчет захватного устройства .....	19
4. Исходные данные.....	27
5. Содержание и объем курсового проекта .....	33
Литература.....	35

Учебное издание

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Рабочая программа, задания  
и методические указания к курсовому проекту  
для студентов-заочников специальности  
1-36 01 01 «Технология машиностроения»

Составители:

**РОМАНЧУК** Сергей Иванович  
**СУХОЦКИЙ** Павел Геннадьевич  
**ФРОЛОВ** Игорь Станиславович  
**КУРЧ** Леонид Витальевич

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 12.11.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 2,27. Уч.-изд. л. 1,77. Тираж 250. Заказ 1372.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.