

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТОВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки  
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»  
дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 621.9  
ББК 30.605  
П 38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения «30» октября 2018 г.,  
протокол № 5

Составитель канд. техн. наук, доц. А. В. Капитонов

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

Даны рекомендации для проведения практических занятий по теме курсового проекта, целью которых является формирование знаний о проектировании роботов и робототехнических системах, навыков конструкторских решений в проектировании робототехнических систем, а также обучение методам расчета конструкции и параметров робота и его составных частей.

Учебно-методическое издание

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТОВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:

Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.

Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский  
университет», 2018



## Содержание

Практическое занятие № 1. Обзор по теме курсового проектирования, исследование актуальных вопросов в области робототехники, постановка задач, обоснование принятого решения .....	4
Практическое занятие № 2. Расчет и оптимизация параметров роботизированного комплекса по теме курсового проекта, определение основных параметров, разработка рекомендаций и предложений .....	11
Практическое занятие № 3. Выполнение основных расчетов, разработка эскизов, схем, выполнение чертежей, оформление курсового проекта .....	18
Список литературы.....	23



## **Практическое занятие № 1. Обзор по теме курсового проектирования, исследование актуальных вопросов в области робототехники, постановка задач, обоснование принятого решения**

### **Обзор по теме курсового проектирования. Актуальные вопросы в области робототехники.**

Курсовой проект по дисциплине «Проектирование роботов и робототехнических систем» призван закрепить теоретические знания студентов в области робототехники, способствовать получению студентами практических навыков применения этих знаний при конструкторско-технологическом проектировании. Данная работа – это второй этап освоения методов проектирования промышленных роботов, а также роботизированных систем для специальности 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Роботизация возникла как реакция на потребность автоматизации вспомогательных ручных операций на производствах с вредными условиями труда и на производствах с высоким уровнем автоматизации технологических процессов. Основной задачей роботов в автоматизированном производстве является выполнение в производственном процессе двигательных функций, осуществляемых в неавтоматизированных производствах руками человека. Эффективное решение этой задачи в автоматизированном производстве расширило область применения роботов в непромышленной сфере (например, при выполнении транспортно-складских операций). Повышение качественных показателей воспроизведения движения привело к тому, что роботы стали использоваться в таких важных областях основного производства, как сварка, нанесение покрытий, сборка и контроль.

В данном проекте робот предназначен для обслуживания основного технологического оборудования и выполняет операции загрузки и разгрузки основного оборудования, транспортно-складские операции.

Наряду с разработкой технологических процессов, ориентированных на применение роботизированных технологических комплексов (РТК), для организации среды необходимо изготовление вспомогательного оборудования, дополняющего систему «станок – робот» до комплекса. Производство заданной детали средне- и крупносерийное. В таких случаях к основному и вспомогательному оборудованию предъявляются требования быстрой переналадки и переконфигурации, т. к. оно характеризуется прежде всего ограниченным временем производства продукции при большом ее объеме и ограниченной номенклатуре. Эти типы производства характеризуются значительными капиталовложениями, которые не могут окупиться за срок выпуска изделий одной номенклатуры. Поэтому снижение времени подготовки производства и себестоимости продукции зависит от заложенной в проект гибкости использования оборудования. Эффективным методом построения этого производства являются гибкие автоматизированные участки (ГАУ) и гибкие автоматизированные линии (ГАЛ) на основе универсальных станков и станков с ЧПУ, объединяемых с помощью промышленных роботов в предметные робототехнические комплексы.

## **Постановка задач по теме курсового проектирования. Обоснование принятого решения.**

### *1 Анализ исходных данных для разработки РТК.*

Проектирование начинается с анализа задания. Прежде всего при создании РТК требуется оценить степень готовности заготовки к производству в автоматическом режиме. Такая оценка позволяет определить необходимость создания новых или возможность использования уже разработанных ориентирующих и подающих устройств (в том числе промышленных роботов (ПР)) для автоматизации рассматриваемой технологической операции.

В процессе выполнения этого этапа работы анализируются точность обработки и шероховатость поверхностей, которые необходимо обеспечить при обработке детали. Рассматриваются возможные методы обработки, которыми может быть обеспечена заданная шероховатость поверхностей и точность размеров, а также оборудование, которое может быть применено для обработки. Анализируются вопросы удобства базирования и закрепления заготовки при ее автоматической обработке, определяются базовые поверхности и оценивается точность обработки при различных схемах базирования. Определяется возможность автоматического ориентирования и подачи заготовок в рабочую позицию.

Все заготовки, подлежащие ориентированию, с точки зрения штучного захвата из общей массы можно разделить на бункеруемые (автоматическое ориентирование возможно) и небункеруемые (автоматическое ориентирование невозможно).

Для бункерируемых заготовок их геометрическая форма не должна позволять сцепляться с другими деталями. Заготовка должна иметь первичное ориентирование в бункере, устойчивое положение на лотках бункера и транспортирующего устройства, удобный и надежный захват манипулятором робота.

Масса заготовок имеет значение для выбора типа ПР, загрузочно-ориентирующих и захватывающих устройств.

Физико-механические свойства материала, из которого изготавливают деталь, определяют выбор метода ориентирования и тип захватывающего устройства.

### *2 Выбор станочного оборудования.*

Данный этап проектирования связан с разработкой маршрутного технологического процесса и является решающим в выборе моделей технологического оборудования, ПР и вспомогательных устройств, комплектующих РТК. Для этого используют данные, полученные ранее (анализ исходной информации и последовательность изготовления детали).

Выбор технологического оборудования осуществляется в зависимости от типа производства, габаритных размеров заготовки и требуемой точности обработки. Входящее в состав РТК технологическое оборудование (станки с ЧПУ, полуавтоматы) должны обеспечивать:

- полную автоматизацию цикла обработки детали;
- надежное базирование и автоматический зажим заготовки в рабочей зоне;
- свободный доступ захватного устройства ПР в рабочую зону;

- стыковку системы управления и электроавтоматики с ПР и вспомогательными устройствами для преобразования и передачи технологических команд;
- механизированное или автоматизированное удаление стружки;
- контроль наличия детали в рабочей зоне, правильности ее расположения и базирования в зажимных приспособлениях;
- автоматизацию ограждения рабочей зоны.

Целесообразность применения той или иной модели ПР определяется соответствием конструктивно-технологических параметров их функциональному назначению:

- числом степеней подвижности для выполнения требуемого объема операций (действий);
- соответствием манипуляционных возможностей схемам загрузки и зонам обслуживания основного технологического оборудования;
- минимальным количеством вспомогательных устройств и простейших средств автоматизации, необходимых для правильного течения технологического процесса;
- простотой и краткостью цикла переналадки, высоким коэффициентом использования и минимальным временем простоя основного технологического оборудования;
- обеспечением требований техники безопасности.

Выбор вспомогательных устройств осуществляется в зависимости от типа, формы, массы, материала и размеров деталей, технологических схем оборудования и серийности производства.

Для обработки деталей типа тел вращения применяются токарно-винторезные станки. При автоматизации производства необходимо использование станков с ЧПУ. В курсовом проектировании для РТК могут быть применены, например, токарно-винторезные станки с ЧПУ САК 6140, САК 6150, САК 6166, САК 6180 или другие аналогичные. Эти станки предназначены для автоматической токарной обработки по двум координатам X и Z, в том числе для нарезания метрической, конической, дюймовой, модульной и питчевой резьбы. Жесткость станины и широкий диапазон частоты вращения шпинделя и подач позволяют полностью использовать все возможности современных инструментов при обработке различных материалов и обеспечивают отличную повторяемость при серийной обработке деталей.

### *3 Выбор средств технологического оснащения.*

Технологическая оснастка включает приспособления, инструменты и средства контроля. Технологическое оборудование РТК оснащается быстродействующими, стандартными или унифицированными приспособлениями, обеспечивающими точность установки заготовок и быструю переналадку.

При определении режущего инструмента учитывается метод обработки, материал обрабатываемой детали, размеры и конфигурация. Выбранный инструмент должен отвечать повышенным требованиям по жесткости, скорости смены и наладки на размер, стойкости, стабильному отводу стружки. Выбор средств

контроля производят с учетом характеристик точности мерительного инструмента и измеряемого параметра.

#### 4 Технологический маршрут обработки детали.

Пример оценки технологичности конструкции и маршрута обработки детали.

##### 4.1 Назначение и конструкция детали.

Деталь вал относится к деталям типа тел вращения. Вал имеет шпоночный паз  $8 \times 25$  мм, который передает крутящий момент, а также отверстие диаметром 10 мм перпендикулярно центральной оси, служащее для циркуляции масла. На цилиндрической поверхности диаметром 16 мм присутствует резьба М16-6g, предназначенная для соединения вала с другими деталями.

В качестве материала для детали используется сталь 40Х ГОСТ 4543–71.

В таблице 1 представлен химический состав вала из стали 40Х.

Таблица 1 – Химический состав стали 40Х

Cu, %	Cr, %	Ni, %	Mn, %	Si, %	P, %	S, %	C, %	Fe, %
До 0,3	0,80...1,10	0,3	0,50...0,80	0,17...0,37	До 0,035	До 0,035	0,36...0,44	~97

В таблице 2 представлены механические свойства стали 40Х вала.

Таблица 2 – Механические свойства стали 40Х

$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_m$ , МПа	$\delta$ , %	$a_n$ , Дж/см <sup>2</sup>	НВ
655	490	1	59	217

На рисунке 1 показан эскиз вала.

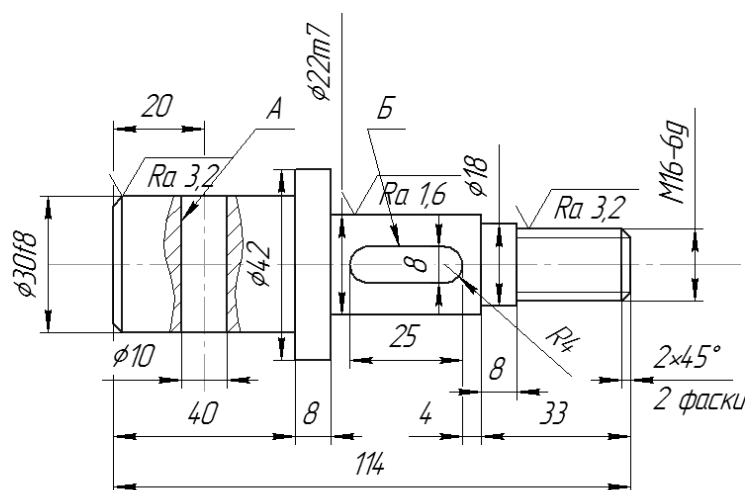


Рисунок 1 – Эскиз детали вал

В соответствии с ГОСТ 14.202–73 рассчитываем показатели технологичности конструкции детали.

Средний квалитет точности обработки детали:

$$T_{cp.} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i},$$

где  $T_i$  – номер качества точности  $i$ -й поверхности;

$n_i$  – количество размеров деталей, обрабатываемых по  $T_i$  качеству.

Точность поверхностей детали показана в таблице 3.

Таблица 3 – Точность поверхностей детали

Квалитет точности $IT$	7	8	14
Количество размеров $h$	1	1	11

$$T_{cp.} = \frac{7 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 14 \cdot 11}{1 + 1 + 11} = 13.$$

Коэффициент точности обработки

$$K_{m.ч.} = 1 - \frac{1}{T_{cp.}};$$

$$K_{m.ч.} = 1 - \frac{1}{13} = 0,92.$$

Средняя шероховатость поверхностей

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ra \cdot n_i}{\sum n_i},$$

где  $R_a$  – значение шероховатости  $i$ -й поверхности;

$n_i$  – количество поверхностей, имеющих шероховатость  $R_{ai}$ .

Для расчета  $Ш_{cp}$  составляем исходную таблицу 4 шероховатости детали.

Таблица 4 – ж Шероховатости поверхностей детали

Шероховатость $R_a$ , мкм	1,6	3,2	12,5
Количество поверхностей $n$	1	2	10

$$Ш_{cp} = \frac{1,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 2 + 12,5 \cdot 10}{13} = 10,23.$$

Коэффициент шероховатости детали

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}};$$



$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{10,23} = 0,9.$$

Конструкция вала является достаточно технологичной и позволяет обеспечивать заданные требования известными технологическими способами. При этом на всех операциях обеспечивается соблюдение принципа единства и постоянства баз.

#### 4.2 Выбор заготовки.

Метод получения заготовок для деталей машин определяется назначением и конструкцией детали, техническими требованиями, масштабом и серийностью выпуска, а также экономичностью изготовления. Выбрать заготовку – значит установить способ ее получения, наметить припуски на обработку каждой поверхности, рассчитать размеры и указать допуски.

Так как деталь является валом и диаметры ступеней вала отличаются значительно, то в качестве заготовки будем использовать штамповку из стали 40Х.

4.3 Маршрутный технологический процесс изготовления детали представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Маршрутный техпроцесс изготовления вала из стали 40Х

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Модель станка	Режущий инструмент, размеры, марка инструментального материала	Технологическая база
1	2	3	4	5
000	Заготовительная (штамповка)			
005	Фрезерно-центровальная  1 Фрезеровать торцы. 2 Сверлить отверстия центровочные	MP-76	Фреза торцевая, Т5К10. Сверло центровочное, Р6М5	Наружная цилиндрическая поверхность
010	Токарная с ЧПУ  Установ А 1 Черновое точение цилиндрических поверхностей Ø 30, Ø 42. 2 Чистовое точение цилиндрической поверхности Ø 30. 3 Точение фаски 2 × 45°.  4 Центрование отверстия Ø 10. 5 Сверление отверстия Ø 10.	HAAS ST-10	Резец проходной, Т15К6.  Резец резьбовой, Т15К6.  Сверло центровочное, Р6М5.  Сверло спиральное, Р6М5. Фреза шпоночная, Р6М5. Метчик, Р6М5.	Центровые отверстия, торец



Окончание таблицы 5

1	2	3	4	5
010	Установ Б 1 Черновое точение цилиндрических поверхностей $\varnothing 16, \varnothing 18, \varnothing 22$ . 2 Чистовое точение цилиндрических поверхностей $\varnothing 16, \varnothing 22$ . 3 Тонкое точение цилиндрической поверхности $\varnothing 22$ . 4 Точение фаски $2 \times 45^\circ$ . 5 Фрезерование шпоночного паза $8 \times 25$ . 6 Нарезать резьбу М16-6g	НААС ST-10Y	Резец проходной, Т15К6. Резец резьбовой, Т15К6. Сверло центровочное, Р6М5. Сверло спиральное, Р6М5. Фреза шпоночная, Р6М5. Метчик, Р6М5	Центровые отверстия, торец
015	Термическая			
020	Моечная			
025	Контрольная	Стол ОТК		

При выборе черновых, промежуточных и чистовых баз соблюдается принцип постоянства и совмещения баз. Приведенное количество операций и их последовательность полностью обеспечивают заданную точность поверхностей детали, форму и их взаимное расположение. Параметры оборудования позволяют обрабатывать данную деталь исходя из позиций размеров, точности обработки и производительности. При обработке резанием широко применяется высокопроизводительный инструмент.

### Задания к практическому занятию

- 1 Выполнить анализ исходных данных для разработки РТК в соответствии с заданием на курсовое проектирование.
- 2 Выполнить анализ на технологичность детали в соответствии с заданием.
- 3 Разработать технологический маршрут обработки детали в РТК.

## Практическое занятие № 2. Расчет и оптимизация параметров роботизированного комплекса по теме курсового проекта, определение основных параметров, разработка рекомендаций и предложений

### Выбор промышленного робота (ПР).

В роботизированных технологических комплексах механической обработки, как правило, используют промышленные роботы двух типов: напольные и порталные.

Напольные роботы с выдвижной рукой применяют для обслуживания станков с открытой рабочей зоной спереди: токарных, сверлильных, фрезерных, шлифовальных и т. п.

Для выбора промышленного робота, работающего в составе РТК, необходимо отметить основные требования, которым должен соответствовать промышленный робот:

- грузоподъёмность, номинальная грузоподъёмность робота должна превышать массу заготовки не менее чем на 10%;
- система координат и число степеней подвижности (обычно применяются промышленные роботы с цилиндрической или прямоугольной системой координат; оптимальное число степеней подвижности для роботов, обслуживающих станок, – 3...6);
- наибольший вылет руки R (должен обеспечивать доставку заготовки в рабочую зону станка, должен быть больше, чем расстояние от оси поворота робота до рабочей зоны станка);
- наименьший вылет руки;
- погрешность позиционирования (определяет точность установки детали в приспособление, поэтому не рекомендуется выбирать роботы с погрешностью позиционирования более  $\pm 1$  мм).

В качестве примера выбираем промышленный робот (рисунок 1, таблица 1).

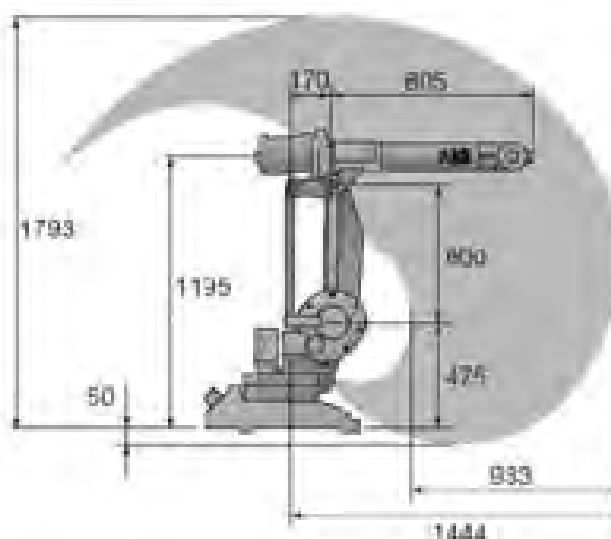


Рисунок 1 – Промышленный робот модели IRB 1410

Таблица 1 – Технические характеристики робота модели IRB 1410

Технические характеристики	Значение
Грузоподъемность, кг	5
Число рук	1
Число степеней подвижности	6
Привод	Пневматический
Радиус действия, м	1,44
Число программируемых координат	3
Погрешность позиционирования, ±мм	0,05
Исполнение	Напольное, потолочное,
Наибольший вылет руки R, мм	805
Степень защиты	Clean room ISO класс 5
Масса, кг	120

### Конструирование и расчет захватного устройства (ЗУ).

#### 1 Выбор типа ЗУ.

В качестве примера захватного устройства разработан механизм схвата (рисунки 2). Схват проектируется с учетом массы, геометрических параметров детали, а также технических характеристик робота.

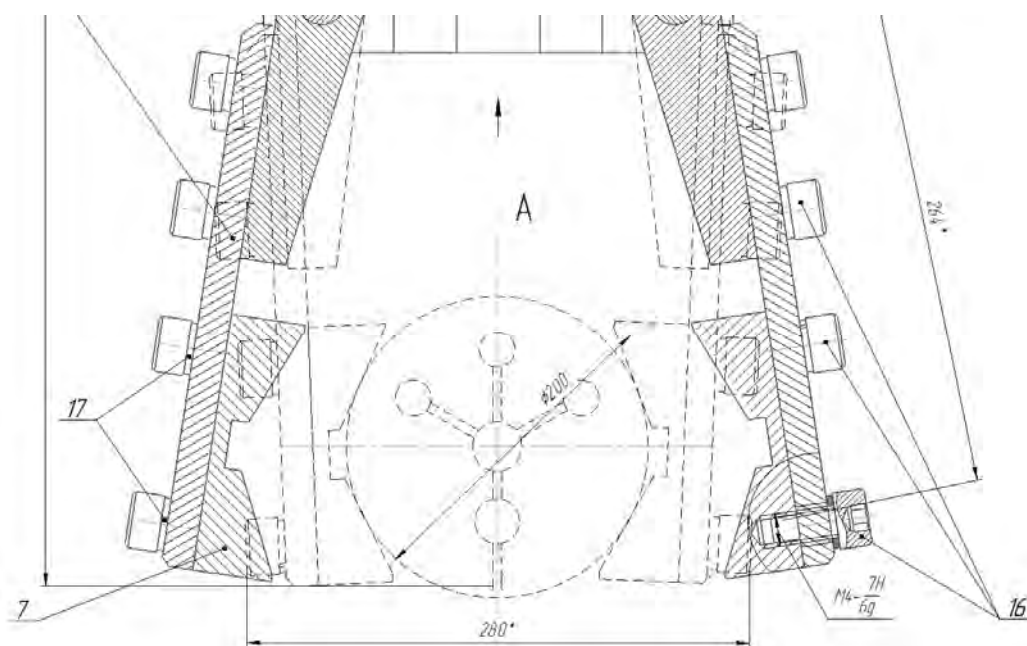


Рисунок 2 – Механизм захватного устройства (схвата)

Схват крепится на руке робота фланцем, который на четырех винтах прикреплен к компактному тянущему короткоходовому пневмоцилиндру Festo одностороннего действия серии AEVULQZ. На пневмоцилиндре с другой стороны закреплен корпус схвата. Шток пневмоцилиндра шарнирно соединен рычагами.

Последние также шарнирно соединены с опорными рычагами, на которых закреплены планки, к которым крепятся губки схвата. Для замыкания схвата сжатый воздух подают в штоковую полость цилиндра, шток тянет короткие рычаги, которые поворачивают длинные рычаги, и заготовка зажимается в призмах. Пружина в безштоковой полости предназначена для приведения схвата в исходное разжатое положение.

На рисунке 3 показана схема шарнирно-рычажного захватного устройства.

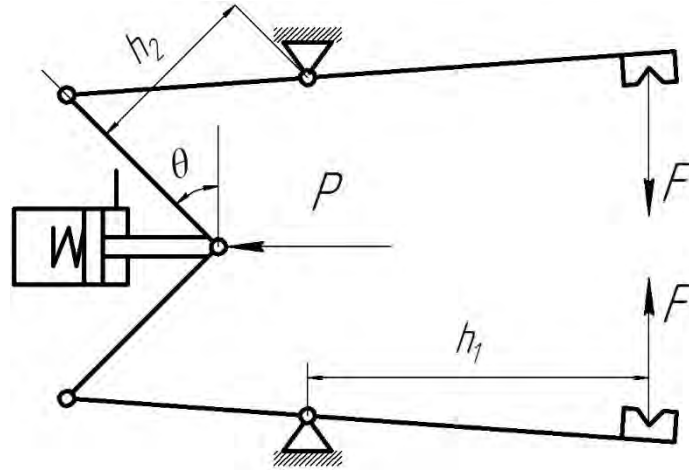


Рисунок 3 – Схема шарнирно-рычажного захватного устройства

Усилие захватывания определяют из предположения, что удержание объекта манипулирования происходит за счет сил трения, создаваемых этим усилием:

$$F = K_1 K_2 K_3 m g ,$$

где  $m$  – масса объекта манипулирования;

$g$  – ускорение свободного падения;

$K_1$  – коэффициент безопасности,  $K_1 = 1,2 \dots 2,0$ . Принимаем  $K_1 = 1,2$ ;

$K_2$  – коэффициент, зависящий от максимального ускорения  $A$ , с которым ПР перемещает объект, закрепленный в захватном устройстве. Для пневматических роботов  $A \approx g$ .  $K_2 = 1 + A/g = 1 + 1 = 2$ ;

$K_3$  – коэффициент передачи, зависящий от конструкции захвата и расположения в нем объекта манипулирования,

$$K_3 = \frac{\sin \theta}{2\mu} ,$$

где  $\theta$  – половина угла наклона призматических губок схвата,  $\theta = 60^\circ$ ;

$\mu$  – коэффициент трения между объектом манипулирования и губками,  $\mu = 0,15$ .

$$K_3 = \frac{\sin 60^\circ}{2 \cdot 0,15} = 2,9 ;$$

$$F = 1,2 \cdot 2 \cdot 2,9 \cdot 0,43 \cdot 9,8 = 24,9 \text{ Н.}$$

Усилие зажима для выбранной схемы

$$\frac{P}{F} = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \theta.$$

Откуда

$$P = \frac{h_1}{h_2} \cdot 2 \sin \theta \cdot F.$$

При конструировании ЗУ принимаем  $h_1 = 66 \text{ мм} = 0,264 \text{ м}$ ,  $h_2 = 0,088 \text{ м}$ , угол  $\theta = 45^\circ$ .

$$P = \frac{0,264}{0,088} \cdot 2 \cdot \sin 45 \cdot 23,9 = 124,9 \text{ Н}.$$

Определим диаметр поршня для цилиндра одностороннего действия:

$$P = p_B \frac{\pi D^2}{4} - F_{TP} - F_{ПР},$$

где  $p_B$  – рабочее давление воздуха в системе. Принимаем  $p_B = 0,6 \text{ МПа} = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ;

$D$  – диаметр поршня;

$F_{TP}$  – сила трения в уплотнениях ( $\approx 10\%$  от развиваемого усилия). Принимаем  $F_{TP} = 12 \text{ Н}$ ;

$F_{ПР}$  – усилие создаваемое пружиной (в конце хода  $\approx 10\%$  от развиваемого усилия). Принимаем  $F_{ПР} = 12 \text{ Н}$ , откуда

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot P + F_{TP} + F_{ПР}}{p_B \cdot \pi}};$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 124,7 + 12 + 12}{0,6 \cdot 10^6 \cdot \pi}} = 0,01606 \text{ м} = 16,06 \text{ мм}.$$

Принимаем ближайший стандартный диаметр поршня  $D = 16 \text{ мм}$ , шток – квадратный со стороной  $7 \text{ мм}$ .

### Выбор вспомогательного оборудования.

В состав РТК, кроме станка и робота, входят различные вспомогательные устройства, обеспечивающие его нормальное функционирование. К ним относятся ориентирующие устройства, транспортно-накопительные устройства, устройства поштучной выдачи заготовок и др.



В проекте для РТК необходимо выбрать конструкцию тактового стола или шагового транспорта, которые обеспечивают межоперационное транспортирование и подачу заготовок в ориентированном виде в рабочую зону робота.

Основными функциями вспомогательного оборудования являются:

- функция накопления;
- функция транспортирования и поштучной выдачи изделий и др.

Основное требование к выбору вспомогательного оборудования для РТК – заготовка при поступлении и удалении должна занимать требуемое положение относительно захватного устройства ПР, а рабочая зона вспомогательного оборудования должна пересекаться с рабочей зоной промышленного робота.

В качестве примера для РТК выберем тактовый стол, служащий для хранения заготовок (готовых деталей) и подачи их в зону (из зоны) захвата ПР.

Тактовый стол имеет следующие габаритные размеры:

- длина – 2000 мм;
- ширина – 650 мм;
- высота – 700 мм;
- грузоподъёмность одной пластины – 10 кг;
- число пластин – 24.

Основные размеры тактового стола и пластины приведены на рисунке 4.

На рисунке 5 показана схема установки заготовки на тактовом столе.

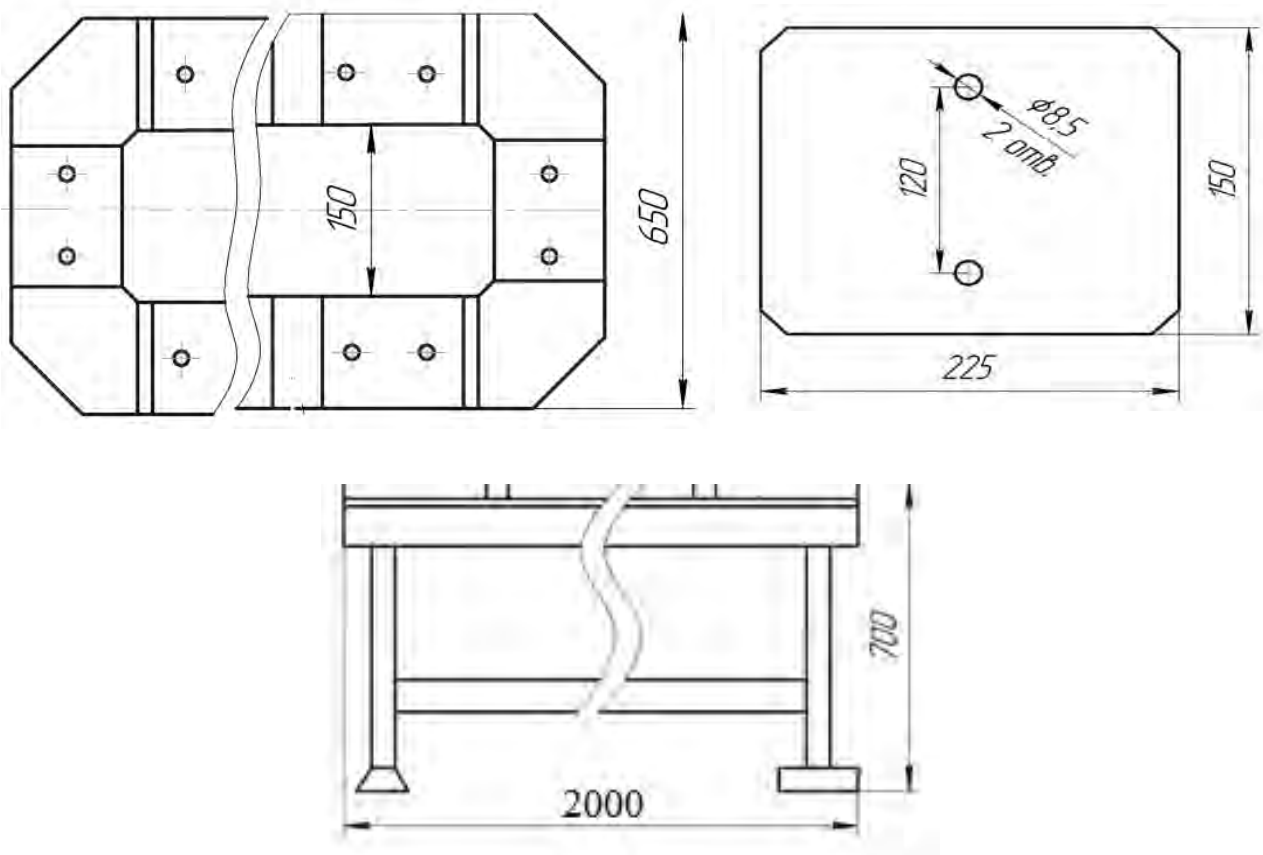


Рисунок 4 – Основные размеры тактового стола и пластины

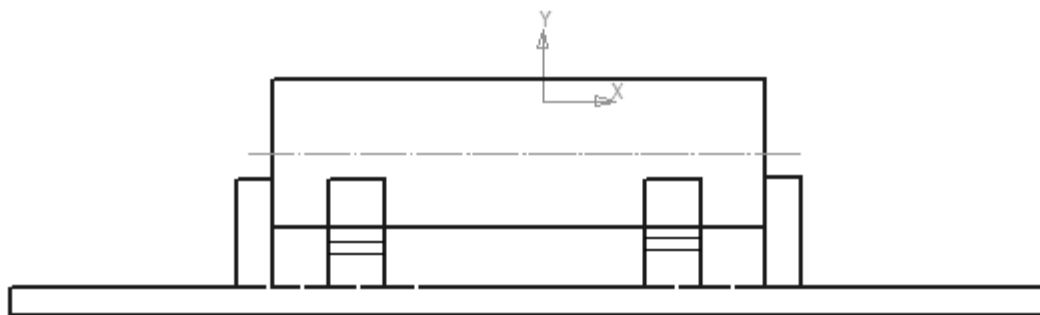


Рисунок 5 – Схема установки заготовки на тактовом столе

### **Анализ и выбор рациональной компоновки.**

При анализе возможных вариантов компоновок РТК сравнивают компоновочные схемы линейного и кругового типов.

При линейной компоновке обслуживаемое оборудование располагают по одной линии. Такие комплексы обслуживают роботы портального типа, работающие в прямоугольной (плоской или пространственной) системе координат.

Линейная компоновка оборудования имеет следующие преимущества:

- экономия производственной площади;
- удобство обслуживания оборудования;
- обеспечение беспрепятственного перемещения захватного устройства;
- удобство загрузки-разгрузки основного и вспомогательного оборудования.

При круговой компоновке станки располагают вокруг робота. Роботы, обслуживающие такие комплексы, работают в цилиндрической или сферической системе координат.

Робот и станок располагаются таким образом, чтобы рабочая зона станка находилась в зоне обслуживания робота, размеры которой определяются минимальным и максимальным вылетом руки.

На рисунке 6 показана компоновочная схема РТК кругового типа.

Круговая компоновка РТК имеет следующие преимущества:

- беспрепятственное перемещение захватного устройства ПР;
- возможность расстановки оборудования с учётом удобства подхода к нему оператора или наладчика;
- оборудование располагается вокруг робота, что приводит к экономии производственной площади.

Нужно выбрать компоновку для разрабатываемого РТК и обосновать свой выбор.

На рисунке 6 представлена компоновочная схема РТК кругового типа.



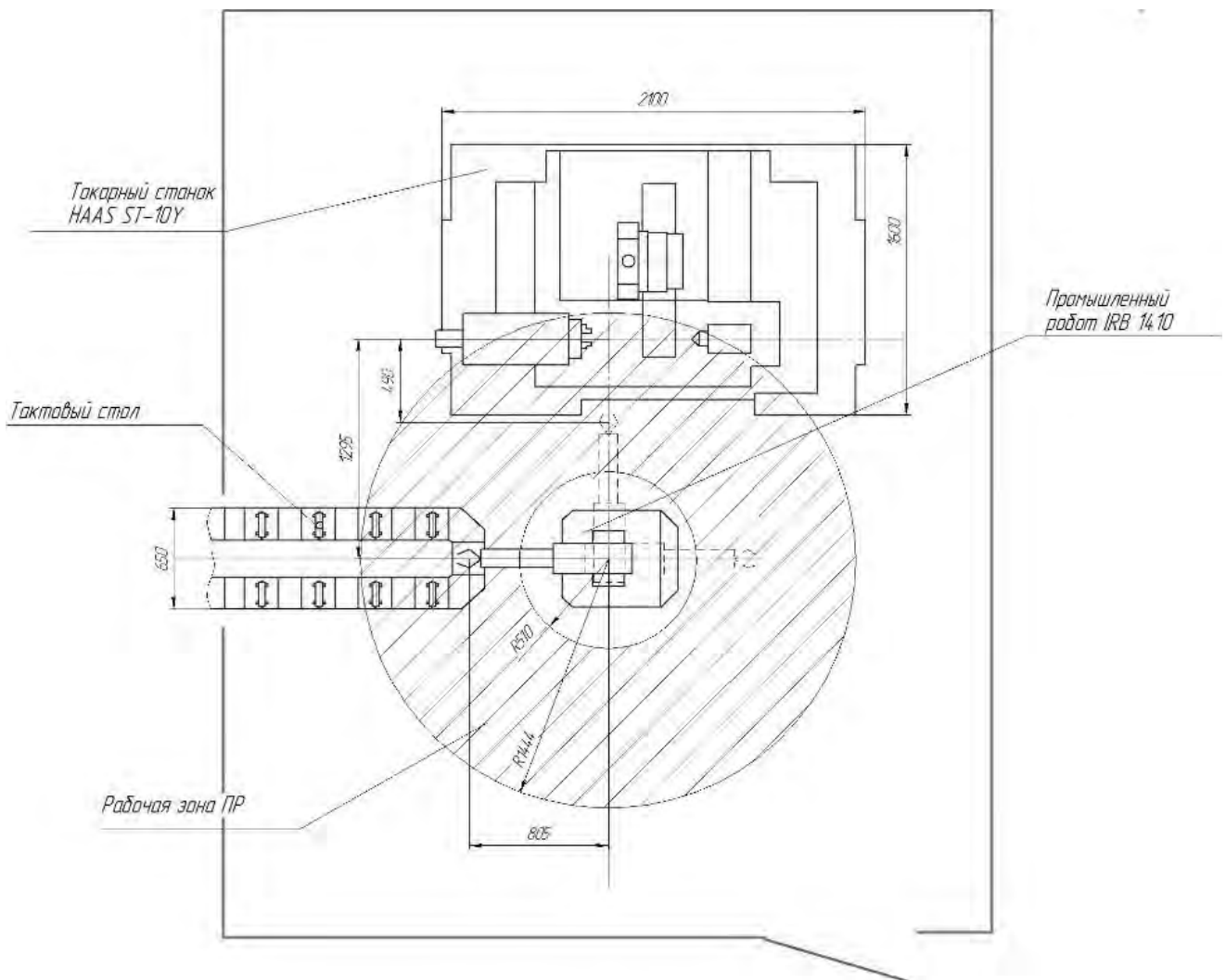


Рисунок 6 – Компоновочная схема РТК кругового типа

### Задания к практическому занятию

- 1 Выбрать промышленного робота (ПР) для разрабатываемого РТК с обоснованием.
- 2 Разработать и рассчитать загрузочное устройство для ПР.
- 3 Выбрать вспомогательное (транспортно-накопительное) оборудование для РТК.
- 4 Разработать компоновку РТК с обоснованием.

## Практическое занятие № 3. Выполнение основных расчетов, разработка эскизов, схем, выполнение чертежей, оформление курсового проекта

### Разработка траектории движения схвата ПР.

Построение траектории удобно выполнять графическим изображением пути перемещения геометрического центра захватного устройства ПР. Начало траектории связано с нулевой (исходной точкой), определяемой в соответствии с исходным положением ПР (рисунок 1).

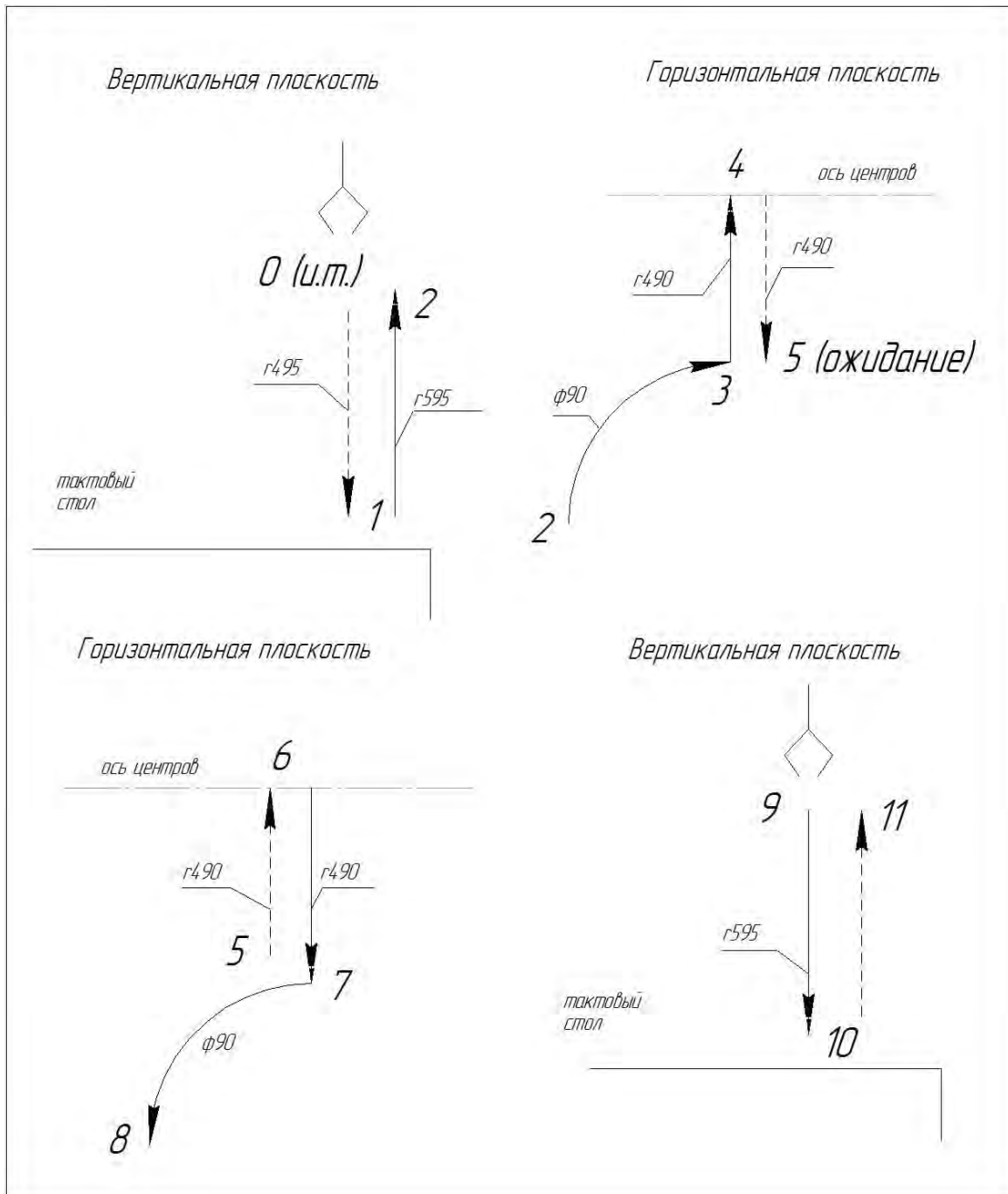


Рисунок 1 – Траектория движения схвата ПР

Размеры элементов траектории и соответствующие комментарии приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Элементы траектории перемещения захватного устройства ПР

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения
r0,1	Перемещение руки ПР вниз	495 мм
(1)	Зажим заготовки схватом ПР	–
r1,2	Перемещение руки ПР вверх	595 мм
φ2,3	Поворот руки ПР по часовой стрелке	90 <sup>0</sup>
r3,4	Перемещение руки ПР вперед	490 мм
(4)	Разжим заготовки	–
r4,5	Перемещение руки ПР назад	490 мм
(5)	Выполнение программы токарной обработки	–
r5,6	Перемещение руки ПР вперед	490 мм
(6)	Зажим заготовки схватом ПР	–
r6,7	Перемещение руки ПР назад	490 мм
φ7,8	Поворот руки ПР против часовой стрелки	90 <sup>0</sup>
r8,9	Перемещение руки ПР вниз	595 мм
(9)	Разжим заготовки	–
r9,10	Перемещение руки ПР вверх	495 мм
(11)	Поворот тактового стола	–

### Расчет кинематических характеристик ПР.

Допустимая скорость линейного позиционирования  $V_x$ , м/с, в диапазоне вылета руки промышленного робота определяется по формуле

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

где  $L_x$  – вылет руки ПР, м;

$\Delta l$  – погрешность позиционирования, мм;

$M$  – масса объекта манипулирования, кг.

### Пример расчета

$$V_x = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot \sqrt[4]{0,04}}{\sqrt[3]{0,43}} = 0,95 \text{ м/с.}$$

Допустимая угловая скорость  $\omega$ , рад/с, при повороте руки ПР относительно вертикальной оси рассчитывается по формуле



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

где  $\omega$  – угловая скорость, рад/с;

$\varphi$  – угол поворота руки, рад;

$\delta$  – погрешность углового позиционирования, с.

$$\omega = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3,14/2} \cdot \sqrt[4]{4}}{\sqrt[3]{(2 \cdot 0,8)^4}} = 0,47 \text{ рад/с.}$$

После того как определены все движения ПР и установлена последовательность их выполнения, рассчитывается время выполнения каждого движения по формулам:

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i}; \quad t_i = \frac{l_i}{V_i},$$

где  $\varphi$  – углы поворота механизмов, град;

$l_i$  – линейные перемещения механизмов, м;

$\omega_i, V_i$  – скорости углового и линейного перемещений соответственно.

Время на выполнение перемещений робота:

$$t_{01} = t_{910} = \frac{0,495}{0,95} = 0,52 \text{ с;}$$

$$t_{12} = t_{89} = \frac{0,595}{0,95} = 0,63 \text{ с;}$$

$$t_{23} = \frac{0,595}{0,95} = 0,63 \text{ с;}$$

$$t_{34} = t_{45} = t_{56} = t_{67} = \frac{0,495}{0,95} = 0,52 \text{ с.}$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.

### Расчет основных показателей РТК.

Основные показатели РТК:

- цикловая производительность  $Q_u$ ;
- коэффициент относительной загруженности ПР  $K_{зр}$ ;
- коэффициент использования ПР  $K_{иср}$ ;
- коэффициент использования основного оборудования  $K_{исо}$ ;



- коэффициент нагруженности ПР  $K_{nr}$ ;
- режим работы робота.

Таблица 2 – Результаты расчетов кинематических характеристик ПР

Элемент траектории	Линейное перемещение $l$ , м	Скорость линейного перемещения $V$ , м/с	Угловое перемещение $\varphi$ , град	Скорость углового перемещения $\omega$ , м/с	Время, с
r0,1	0,495	0,95	–	–	0,52
(1)	–	–	–	–	1
r1,2	0,595	0,95	–	–	0,63
$\varphi$ 2,3	–	–	90	0,47	0,63
r3,4	0,49	0,95	–	–	0,52
(4)	–	–	–	–	1
r4,5	0,49	0,95	–	–	0,52
(5)	–	–	–	–	1
r5,6	0,49	0,95	–	–	0,52
(6)	–	–	–	–	1
r6,7	0,49	0,95	–	–	0,52
$\varphi$ 7,8	–	–	90	0,47	0,63
r8,9	0,595	0,95	–	–	0,63
(9)	–	–	–	–	1
r9,10	0,495	0,95	–	–	0,52
(11)	–	–	–	–	1
Общее время					11,64

### Пример расчета

Цикловая производительность  $Q_{ц}$ ,  $ч^{-1}$ , определяется по формуле

$$Q_{ц} = \frac{3600}{T_p},$$

где  $T_p$  – длительность рабочего цикла,  $T_p = 124,5$  с.

$$Q_{ц} = \frac{3600}{124,5} = 28,9 \text{ ч}^{-1}.$$

Коэффициент относительной загрузки

$$K_{zp} = \frac{P_{cp}}{P},$$

где  $P_{cp}$  – среднее значение рабочей нагрузки,  $P_{cp} = 2$  кг;



$P$  – грузоподъемность робота,  $P = 5$  кг.

$$K_{cp} = \frac{2}{5} = 0,4.$$

Коэффициент использования

$$K_{up} = \frac{T_{np}}{T_p},$$

где  $T_{np}$  – время работы ПР за рабочий цикл,  $T_{np} = 11,64$  с.

$$K_{up} = \frac{11,64}{124,5} = 0,09.$$

Коэффициент использования основного оборудования

$$K_{uo} = \frac{T_o}{T_p},$$

где  $T_o$  – время работы основного оборудования за рабочий цикл,  $T_o = 109,9$  с.

$$K_{uo} = \frac{109,9}{124,5} = 0,88.$$

По результатам расчетов показателей РТК устанавливаем, что режим работы ПР легкий.

### Задания к практическому занятию

- 1 Разработка траектории движения схвата ПР.
- 2 Расчет времени использования каждого перехода работы ПР и время работы станка.
- 3 Расчет основных показателей РТК.
- 4 Разработка чертежей РТК и захватного устройства.



## Список литературы

1 **Егоров, О. Д.** Конструирование механизмов роботов : учебник / О. Д. Егоров. – Москва : Абрис ; Высшая школа, 2012. – 444 с. : ил.

2 **Иванов, А. А.** Основы робототехники : учебное пособие / А. А. Иванов. – Москва : ФОРУМ, 2015. – 224 с.

3 **Борисенко, Л. А.** Малогабаритные передаточные механизмы для мехатронных устройств : монография / Л. А. Борисенко. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2013. – 187 с. : ил.

4 **Иванов, А. А.** Основы робототехники : учебное пособие / А. А. Иванов. – Москва : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2016. – 224 с.

