

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТОВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию  
для студентов направления подготовки  
15.03.06 «Мехатроника и робототехника»*



УДК 621.01:519.6  
ББК 34.5:22.18  
П 34

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» « 23 » ноября 2017 г.,  
протокол № 3

Составители: канд. техн. наук, доц. А. В. Капитонов;  
канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменков

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

В методических рекомендациях изложены требования к объему, содержанию и оформлению курсового проекта по дисциплине «Проектирование роботов и робототехнических систем». Даны рекомендации по выполнению всех разделов курсового проекта.

Учебно-методическое издание

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ РОБОТОВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Технический редактор	А. В. Капитонов
Компьютерная верстка	А. В. Капитонов

Подписано в печать 1.02.2018. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,06. Тираж 50 экз. Заказ № 2419.

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

Введение.....	4
1 Объем и содержание курсового проекта.....	5
2 Основное содержание работы.....	6
2.1 Анализ исходных данных для разработки РТК.....	6
2.2 Выбор станочного оборудования. Технологический маршрут обработки детали.....	6
2.3 Выбор промышленного робота.....	17
2.4 Выбор захватных устройств.....	20
2.5 Выбор вспомогательного оборудования для РТК.....	23
2.6 Проектирование и расчет загрузочного устройства.....	28
2.7 Разработка компоновки РТК.....	35
2.8 Построение циклограммы работы оборудования РТК.....	36
Список литературы.....	40
Приложение А (справочное).....	41



## Введение

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 производственной 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 РТК 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 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 перекомпоновки, так как 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 ГАУ и ГАЛ на основе универсальных станков и станков с ЧПУ, объединяемых с помощью промышленных роботов в предметные робототехнические комплексы.

## 1 Объем и содержание курсового проекта

Исходными данными к курсовому проектированию являются: чертеж детали для обработки на роботизированном технологическом комплексе (РТК); годовой объем выпуска деталей или тип производства. Исходные данные указываются в задании на курсовое проектирование, которое выдается студенту преподавателем. Курсовой проект – конструкторско-технологический документ, который содержит расчетно-пояснительную записку и графическую часть.

### ***Пояснительная записка должна содержать:***

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование, утвержденное заведующим кафедрой;
- содержание;
- введение;
- анализ исходных данных для разработки РТК;
- технологический маршрут обработки детали с расчетами режимов резания для операций, входящих в РТК, с выбором станочного оборудования;
- выбор промышленного робота (ПР) и захватного устройства (схвата) для РТК;
- выбор вспомогательного (транспортно-накопительного) оборудования для РТК;
- проектирование и расчет загрузочного устройства;
- разработка компоновки РТК;
- расчет траектории перемещения захватного устройства (схвата) ПР;
- расчет времени использования каждого перехода работы ПР и времени работы станка;
- построение циклограммы работы оборудования РТК;
- заключение;
- список литературы;
- приложение (спецификация к компоновке РТК; спецификация к сборочному чертежу загрузочного устройства).

Расчетно-пояснительная записка должна соответствовать требованиям ГОСТ 2.105-95, содержать 40 – 50 страниц формата А4, выполняться шрифтом – 14 pt, межстрочным интервалом – одинарным или полуторным.

Графическая часть проекта представляется в виде чертежей, которые должны быть выполнены в соответствии с требованиями ЕСКД.

### ***Графическая часть работы включает:***

- чертеж детали – формат А3 или А2;
- компоновка РТК – формат А1;
- сборочный чертеж загрузочного устройства – формат А1;

– циклограмма работы РТК – формат А1;

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета

<http://e.biblio.bru.by/>



## 2 Основное содержание работы

### 2.1 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 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.

### 2.2 Выбор станочного оборудования. Технологический маршрут обработки детали

#### 2.2.1 Выбор станочного оборудования.

Данный этап проектирования связан с разработкой маршрутного технологического процесса и является решающим в выборе моделей технологического оборудования, ПР и вспомогательных устройств, комплек-

тующих 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 применение 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 2-м координатам “X” и “Z”, в том числе для нарезания метрической, конической, дюймовой, модульной и питчевой резьбы. Жесткость станины и такие технические характеристики как 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. В таблице 1 приведена краткая техническая характеристика этих станков.

Таблица 1 – Технические характеристики токарных станков с ЧПУ

	<b>САК6140</b>	<b>САК6150</b>	<b>САК6166</b>	<b>САК6180</b>
Максимальный диаметр обработки над станиной	400 мм	500 мм	660 мм	800 мм
Расстояние между центрами	750/1000/1500/2000/3000 мм			
Конец шпинделя	Морзе 6 (Ø90 1:20)			
Передний конец шпинделя	С6 (D8)			
Отверстие шпинделя	52 (80) мм		52 (80) [108] мм	
3-х ступенчатая автоматическая коробка скоростей	21-1500 (I 162-1500 II 66-660 III 21-210) об/мин			
Ход пиноли задней бабки	150 мм			
Конус пиноли задней бабки	MT5			
Точность позиционирования	0,01 мм			
Быстрый ход по осям X/Z	3/6 м/мин			
Мощность мотора шпинделя	7,5 кВт			11 кВт
Габариты (для РМЦ 1500)	3250x1550x1700 мм		3250x1550x1900 мм	
Вес (для РМЦ 1500)	2300 кг	2350 кг	2650 кг	2750 кг

Станки оснащены:

- ЧПУ - Fanuc Oi-mate TD;
- полной защитой рабочего пространства;
- бесступенчатым переключением передач;
- шести позиционным резцедержателем;
- подвижным или неподвижным люнетом;
- гидравлической задней бабкой;
- гидравлическим патроном.

Проектирование операций предусматривает:

– уточнение намеченной ранее структуры и содержания операций в

зависимости от выбранного оборудования;

- выбор технологической оснастки;
- назначение режимов резания;
- определение времени цикла и сопоставление его с тактом выпуска;
- разработка операционных эскизов.

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. Данные о технологической оснастке могут быть представлены в виде таблицы 2 [1, 2].

Таблица 2 – Технологическая оснастка

Операции	Наименование оснастки	Параметры
05,10	Патрон токарный самоцентрирующийся клиновой мод. ПКВ-250Ф8.95	$D_3=400-540$ мм $P_{закр}=6$ кН
05,10	Токарный подрезной резец, оснащенный пластинами из твердого сплава ВК8 ГОСТ 18869-73	Размеры державки Н×В×L 40×25×200
05	Резец канавочный Резец 2177-0503 ГОСТ 18890-73	Размеры державки Н×В×L=25×16×220
05,10	Токарный проходной резец для чернового точения, оснащенный пластинами из твердого сплава ВК8	Размеры державки Н×В×L 25×16×140
05,10	Токарный проходной резец для чистового и получистового точения, оснащенный пластинами из твердого сплава ВК6	Размеры державки Н×В×L 25×16×140
	Координатно-измерительная машина (КИМ)	Точность измерения 0,002 мм



Режимы резания назначают в зависимости от метода обработки, типа и размера инструмента, материала его режущей части, материала заготовки и типа оборудования.

### 2.2.2 Группой технологический процесс.

Форму организации производства на участке (РТК), а также решение технических и организационных вопросов принимают на основе требований ГОСТ 14.301-83. Наиболее эффективным является групповой технологический процесс изготовления деталей.

Групповое производство - это прогрессивная в технико-экономическом отношении форма организации прерывистых производственных процессов, экономико-организационной основой которой является целевая поддетальная специализация участков и цехов, а технологической составляющей унифицированная типовая форма организации технологических процессов.

При поддетальной специализации, сочетающейся с использованием единичной или типовой форм организации технологических процессов, имеют место формы группового производства: поддетальные специализированные цехи (ПСЦ), поддетальные специализированные участки (ПСУ) и многономенклатурные групповые поточные линии с переналадкой станков (ГПЛПС).

При поддетальной специализации создаются следующие вторичные формы группового производства: поддетально-групповые цеха (ПГЦ), поддетально-групповые участки (ПГУ) и многономенклатурные групповые поточные линии с переналаживаемыми станками (ГПНЛС).

Эти формы основываются на использовании высокопроизводительного и быстропереналаживаемого оснащения, станков с ЧПУ, обрабатывающих центров, специализированных станков и других средств механизации и автоматизации основных и вспомогательных процессов. В результате, при этой новой поддетально-групповой форме специализации появляется техническая база, позволяющая свести к минимуму большую и неоправданную прерывность операций на отдельных рабочих местах и процесса в целом, а значит, и успешно решать задачи интенсификации и повышения эффективности производства [1].

В задании на курсовое проектирование целесообразно задавать разработку группового технологического маршрута обработки деталей. Тогда исходными данными для проектирования является не одна деталь, а несколько деталей с одинаковыми конструкторско-технологическими свойствами. При этом в курсовом проекте необходимо разработать комплексную деталь.

Детали, входящие в групповой технологический процесс, должны иметь:

– однородные по форме и расположению поверхности, обеспечива-



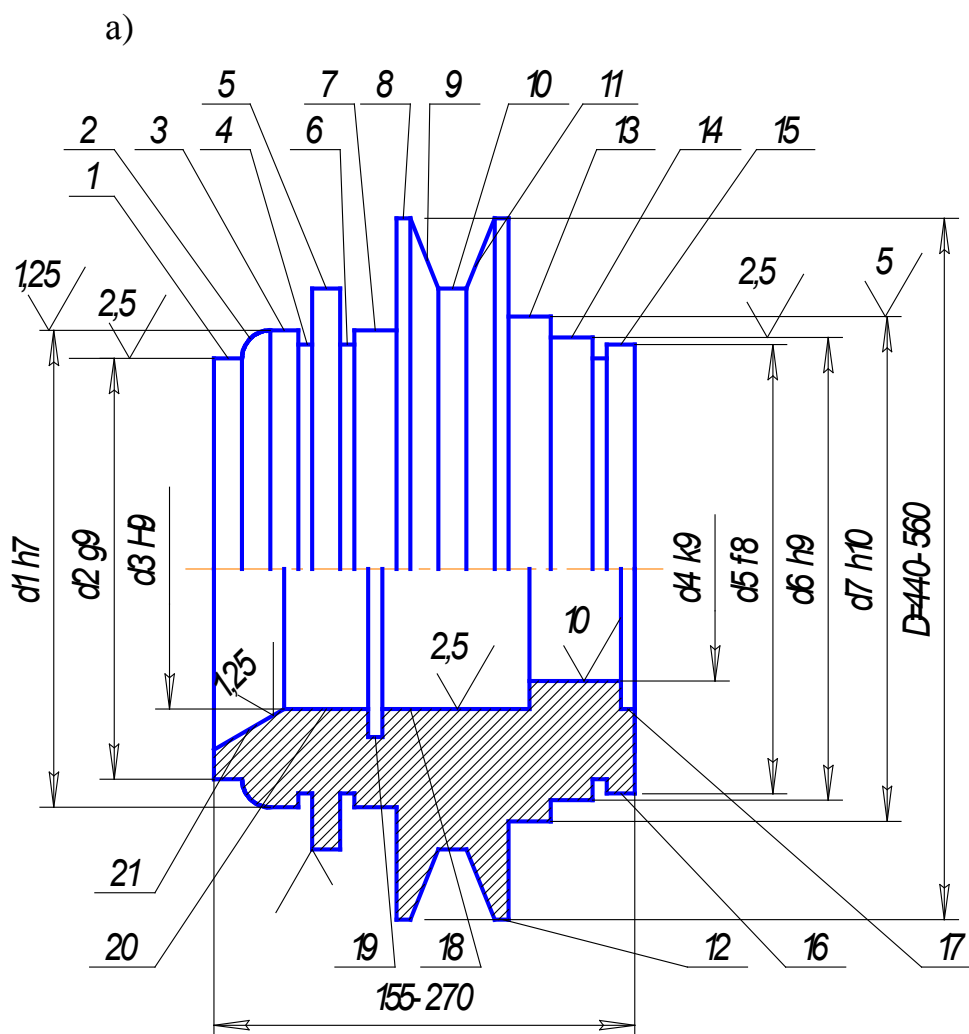
ющие базирование и закрепление в рабочей зоне обрабатывающего оборудования без дополнительной выверки;

– явно выраженные базы и признаки ориентации, позволяющее организовать их транспортирование и складирование в ориентированном положении с использованием стандартной оснастки;

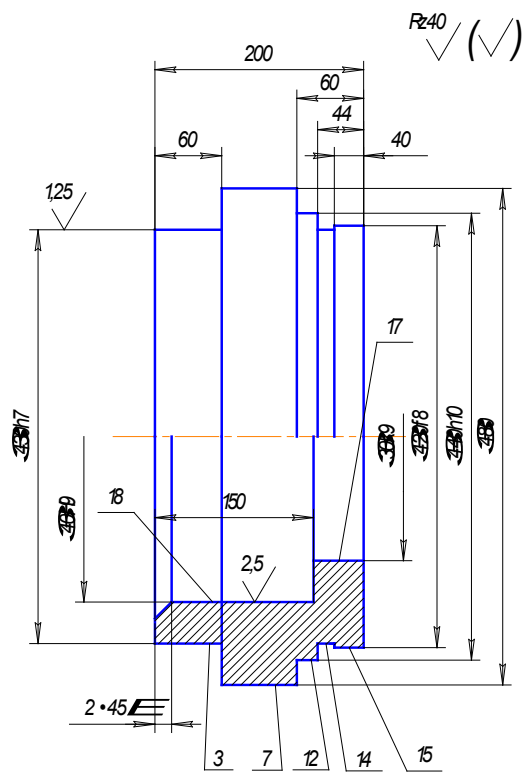
– конструкцию, обеспечивающую надежность захвата, удержания и переноса ее захватными устройствами промышленного робота.

Кроме этого, конструкции деталей должны быть технологичными, соответствовать общим правилам, установленным ГОСТ 14.201-83.

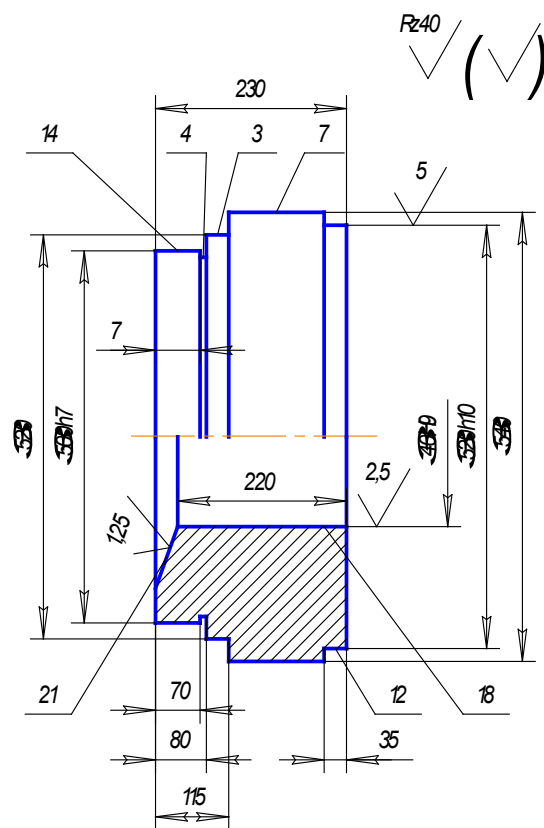
На рисунке 1 показана комплексная деталь и детали группы.



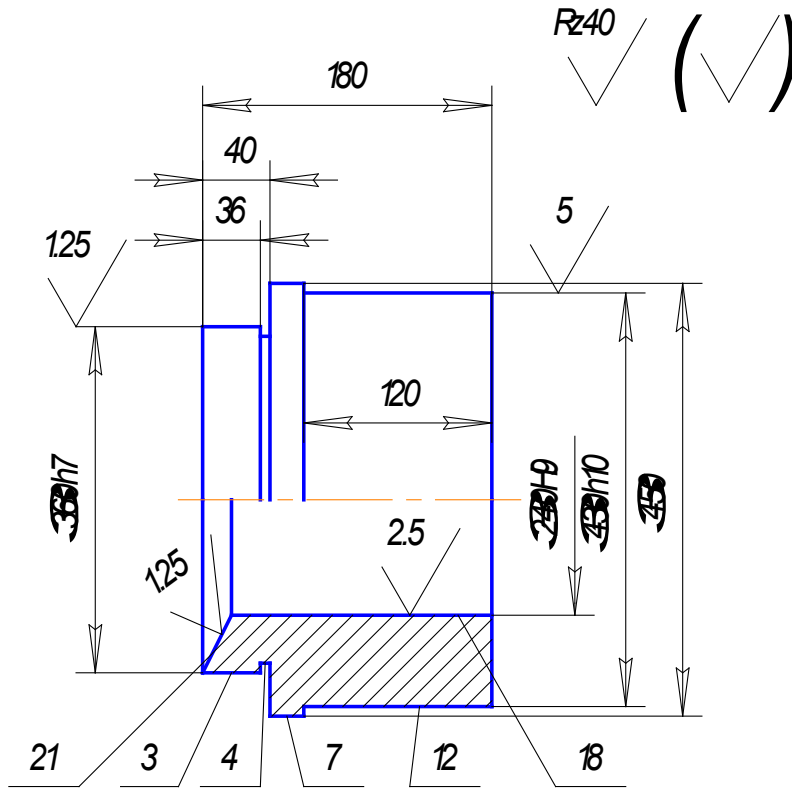
б)



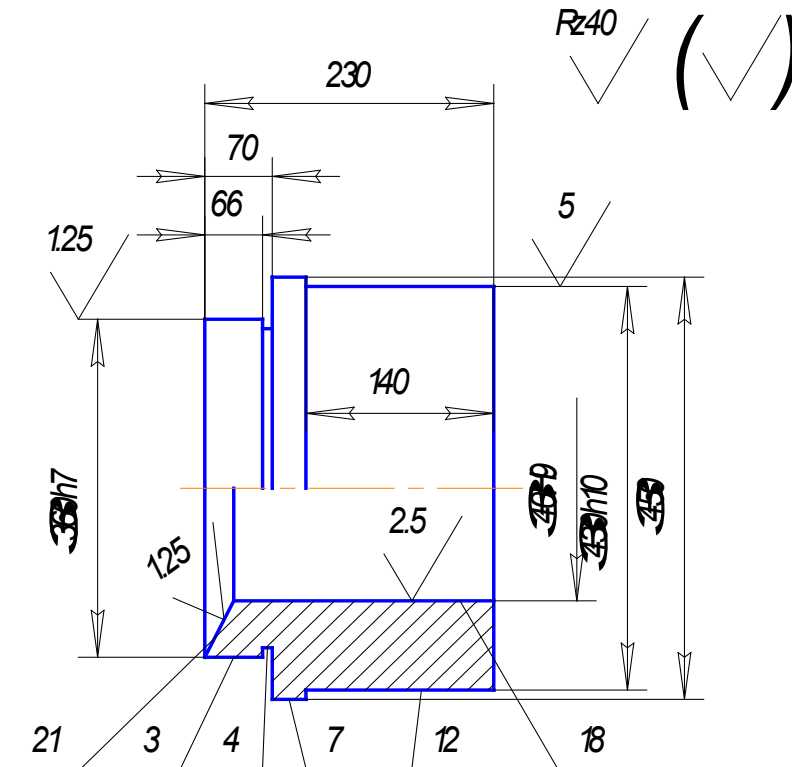
в)

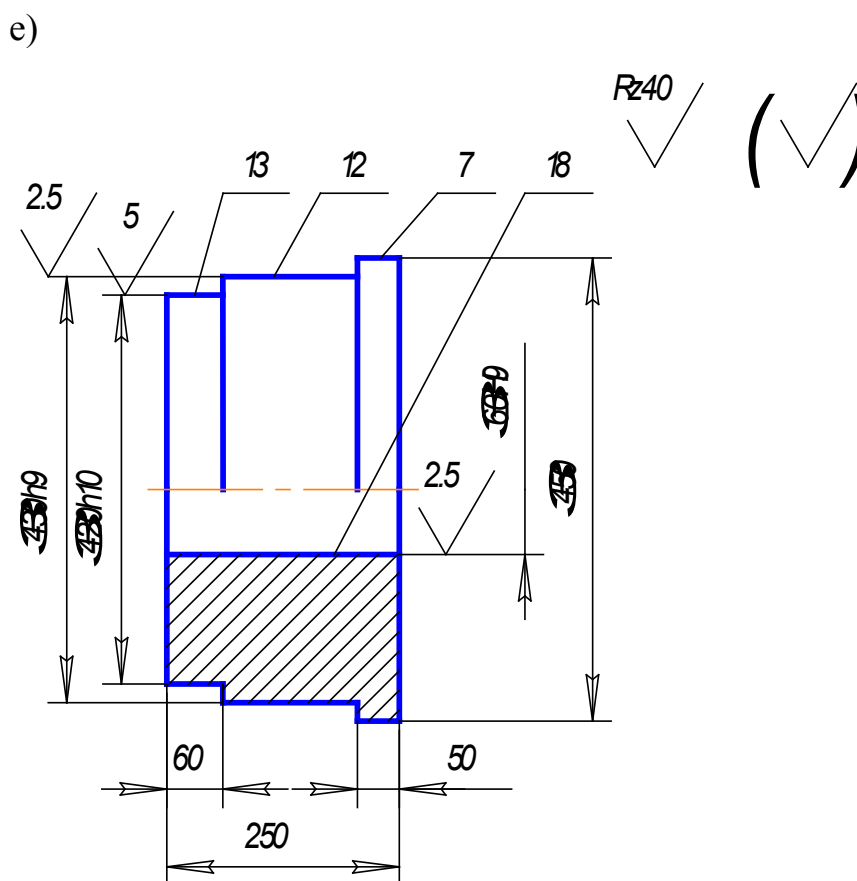


г)



д)





а – комплексная деталь; б, в, г, д, е – детали группы

Рисунок 1 – Комплексная деталь и детали группы

### 2.2.3 Разработка последовательности изготовления детали.

Рассмотрим последовательность изготовления детали на примере.

Материал детали – чугун ВЧ 38-17, масса  $m=161,32$  кг. Для данной детали исходной заготовкой является отливка, поэтому для получения заготовки необходимо назначить припуски на максимальные размеры, исходя из экономичности, т.к. в получаемой детали часть материала будет удалена в виде стружки.

Данная отливка относится к II классу точности, обеспечивается формовкой с механизированным выемом деревянной модели, закрепляемой на легкоъемных металлических плитах, из форм и с заливкой в сырые и подсушенные формы. Этот способ применяют для получения отливок в серийном производстве.

По данным таблицы 3 [3. с.120] назначаем припуски на отдельные поверхности для II класса точности:

$\text{Ø}30_{+1,2}$ ;  $\text{Ø}40_{-1,5}$ ;  $\text{Ø}420_{-1,5}$ ;  $\text{Ø}430_{-1,5}$ ;  $\text{Ø}440_{-1,5}$ ;  $\text{Ø}480_{-1,5}$ ;

Данная деталь относится к I классу сложности. Для детали рекомендуется принимать отклонения по 18 качеству [3]. Исходя из этого определим размеры отливки (таблица 3).

Таблица 3 – Размеры отливки

$\text{Ø}30^{+1.2} - 5,3 = 24,7^{+1.2};$	$\text{Ø}40^{+1.2} - 6,1 = 33,9_{-1,5};$	$\text{Ø}440_{-1,5} + 8,9 = 448,9_{-3,2};$
$\text{Ø}420_{-1,5} + 8,9 = 428,9_{-1,5};$	$\text{Ø}430_{-1,5} + 8,9 = 438,9_{-1,5};$	$\text{Ø}480_{-1,5} + 8,9 = 488,9_{-1,5};$

Для отливки также необходимо назначить уклоны для облегчения удаления из формы модели и стержня. Принимаем уклоны равными  $1^\circ$ , литейные радиусы  $R=5$  мм. Ниже приведем совмещенный чертеж детали с заготовкой:

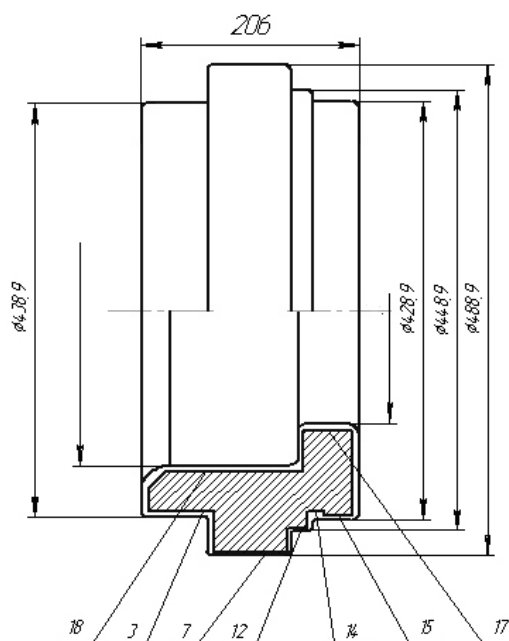


Рисунок 2 – Совмещенный чертеж детали с заготовкой

При получении заготовок из проката или штамповкой расчеты выполняются по соответствующим стандартам и в пояснительной записке приводится чертеж заготовки.

Важным этапом проектирования является выбор технологических баз. Базирование детали осуществляется в патроне. Выбор технологических баз осуществляется на основании следующих общих положений:

- 1) На первой операции при обработке литых заготовок можно использовать необработанные поверхности с наименьшими припусками;
- 2) При переходе от одной операции к другой необходимо соблюдать принципы совмещения и постоянства баз;
- 3) В случае отсутствия надежных технологических баз можно создавать искусственные базы.

Выбор метода обработки зависит от требований, предъявляемых к точности обработки, точности размеров, формы и параметров шероховатости поверхностей деталей. Выбор этих параметров осуществляется на ос-



новании таблиц средней экономической точности различных методов механической обработки [3, с.6 – 18].

На данном этапе проектируется маршрутный технологический процесс изготовления детали, который предусматривает определенную последовательность выполняемых операций.

Приведем вид обработки для каждой поверхности: поверхность 3 – черновое, чистовое точение, тонкое точение; поверхность 12 – черновое точение; поверхность 7 – черновое точение; поверхность 14 – черновое точение; поверхность 15 – черновое точение; поверхность 17 – черновое растачивание; поверхность 18 – чистовое растачивание.

Таблица 4 – Некоторые операции маршрутного технологического процесса

Номер		Наименование и содержание операции	Станок	Операционный эскиз
операции	перехода			
05		Токарная обработанная	САК 6166	
	1	Подрезать торец 1		
	2	Токарная черновая. Точить поверхности 2,4,5		
	3	Токарная черновая. Точить технологическую канавку 3		
	4	Зенкеровать отверстие 4 выдерживая		
10		Токарная обработанная	САК 6166	
	1	Подрезать торец 7		
	2	Токарная черновая. Точить поверхность 8		
	3	Токарная полуставая. Точить поверхность 8		
		Токарная чистовая. Точить поверхность 8 выдерживая $\phi$		

### 2.3 Выбор промышленного робота

Производительность, надежность и гибкость создаваемого РТК в значительной степени зависят от выбранной модели промышленного робота. При этом технологические характеристики ПР должны обеспечить максимальное использование по времени и грузоподъемности, а также достижение наивысшей производительности РТК [4-7].

- В общем случае ПР в составе РТК выполняют следующие функции: загрузку/разгрузку (установка и снятие заготовки/детали) основного и вспомогательного технологического оборудования;
- управление рабочими циклами основного и вспомогательного технологического оборудования; транспортирование заготовки (детали);
- ориентирование заготовки в пространстве (перед установкой в приспособление, укладкой в приемное устройство и т.д.).

ПР выпускается в одноруком и многоруком исполнениях. По экономическим соображениям предпочтение следует отдать одноруким ПР, имеющим меньшую стоимость. Если окажется, что их производительность недостаточна для выполнения сменной программы, то выбираются двурукие ПР, имеющие меньшую длительность цикла обслуживания основного технологического оборудования.

Исходными параметрами для выбора модели ПР являются следующие данные:

- годовая программа выпуска деталей ( $N_{Г}$ ), шт;
- масса обрабатываемых деталей ( $m_{Д}$ ), кг;
- время установки (снятия) детали ( $T_{З}/T_{Р}$ ), сек;
- тип, габаритные размеры, количество и технические характеристики оборудования (точность установки детали ( $\rho$ , мм), среднее время наладки ( $T_{Н}$ , мин)).

Выбор ПР рекомендуется осуществлять в следующей последовательности:

1. Определяется сменная программа  $N_{СМ}$  выпуска деталей

$$N_{СМ} = \frac{N_{Г} \cdot T_{СМ}}{F_{y}}, \quad (1)$$

где  $T_{СМ}$  – продолжительность смены ( $T_{СМ} = 8$  ч);

$F_{y}$  – действительный годовой фонд времени работы участка, (час).

2. Определяется длительность технологического цикла при использовании однорукого ПР

$$T_{Ц} = T_{МАШ} + T_{З} + T_{Р}. \quad (2)$$



3. Рассчитывается производительность комплекса  $\Pi_K$

$$\Pi_K = \frac{T_{CM} - T_H}{T_{Ц}}. \quad (3)$$

Если при этом оказывается, что  $\Pi_K \geq N_{CM}$ , то ограничиваются однорукий ПР. В противном случае необходимо использовать либо двурукий ПР, либо два ПР.

4. Определяется грузоподъемность работа  $m_{ПР}$

$$m_{ПР} = m_D + m_{ЗУ}, \quad (4)$$

где  $m_{ЗУ}$  – масса предполагаемого хватного устройства.

5. Число степеней подвижности ПР определяется по необходимому уровню ориентации детали и конструкции предполагаемой вспомогательной оснастки.

6. Тип рабочей зоны ПР и величины перемещений по отдельным степеням подвижности определяется по параметрам рабочей зоны основного технологического оборудования.

7. Тип привода ПР выбирается в зависимости от грузоподъемности в соответствии с рекомендациями работы.

8. Тип системы управления выбирается в зависимости от технологического процесса, конфигурации детали и размеров рабочей зоны основного технологического оборудования.

9. Точность позиционирования ПР определяется по требуемой точности установки деталей в основное технологическое оборудование  $\rho$  (требуемая точность для установки детали в штамп прессы  $\pm(0,05 \div 0,1)$  мм)

10. Тип исполнения ПР определяется на основе учета особых требований к основному технологическому оборудованию, и техпроцессу. В большинстве случаев ПР используют в составе РТК стационарно. Однако в некоторых случаях, когда структура операционного времени позволяет обслуживать одним ПР несколько единиц основного технологического оборудования, возникает необходимость установки ПР на подвижное основание, либо применять ПР порталного типа.

11. Тип и структура рабочего цикла ПР определяются на основе анализа уровня автоматизации основного технологического оборудования, времени обработки, ручного обслуживания, вынужденных простоев.

На основе полученных параметров, выбирается модель ПР.

В качестве примера на рисунке 3 показана схема работа Kawasaki FS003N, а в таблице 5 приведены его технические характеристики. Схема

робота и его технические характеристики представляются в расчетно-пояснительной записке.

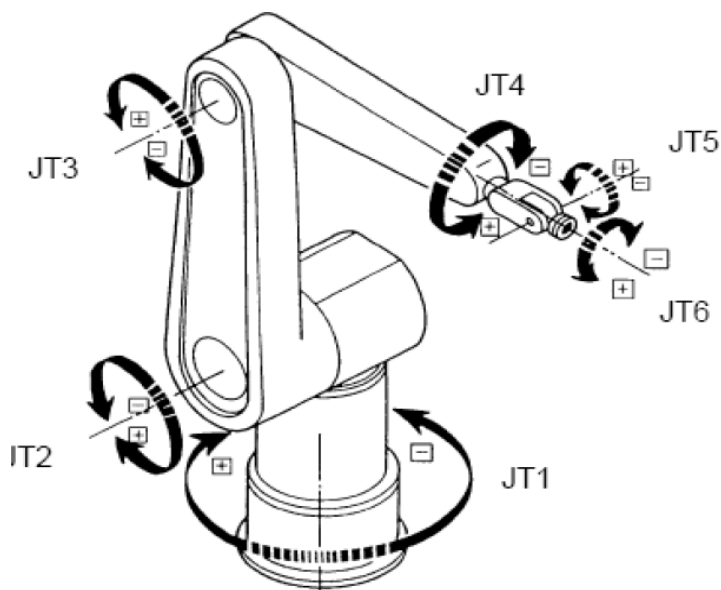


Рисунок 3 – Схема ПР

Таблица 5 – Технические характеристики манипулятора Kawasaki FS003N

Параметр	Техническая характеристика		
1. Модель	FS003N		
2. Тип	Сочлененный (антропоморфный) робот		
3. Степеней подвижности	6		
4. Угол поворота и максимальная скорость	Действие оси	Угол поворота	Макс. Скорость
	Поворот руки (JT1)	320 °	360°/s
	Наклон руки (JT2)	210 °	250°/s
	Рука вверх-вниз (JT3)	270 °	225°/s
	Поворот кисти (JT4)	720 °	540°/s
	Изгиб кисти (JT5)	270 °	225°/s
	Вращение кисти(JT6)	720 °	5440°/s
Максимальная досягаемость, м	0,62		
5. Повторяемость	± 0,05 mm		
6. Грузоподъемность	3 кг		
7. Максимальная скорость	Макс. 6000 mm/s в прямолинейном движении		
8. Допустимая нагрузка кисти		Крутящий момент	Момент инерции
	JT4	5.8 N · m	0.12 kg · m <sup>2</sup>
	JT5	5.8 N · m	0.12 kg · m <sup>2</sup>
	JT6	2.9 N · m	0.03 kg · m <sup>2</sup>
9. Масса	20 кг.		

Ведущими производителями ПР являются: FANUC (Япония), KUKA (Германия), ABB (Швеция, Швейцария), Kawasaki (Япония), Motoman (Yaskawa) (Япония, США), OTC Daihen (Япония), Panasonic (Япония), KС Robotics (США). В курсовом проекте студенты могут выбирать ПР указанных и других современных производителей.

## **2.4 Выбор захватных устройств**

Для ПР, используемого в разрабатываемом РТК, необходимо выбрать универсальный либо спроектировать специальный захватный орган [4, 5, 7]. Конструкции захватных устройств отличаются чрезвычайным разнообразием, так как они должны быть приспособлены для работы с объектами, отличаются весом, формой, размерами, характером поверхности, прочностью и т.д. К ним предъявляются следующие требования:

- высокая точность;
- достаточная величина хода;
- высокое быстродействие;
- возможность регулирования силы схватывания;
- возможность захвата объектов с изменяющейся формой и размером;
- отсутствие повреждений поверхностей;
- надежность и долговечность.

На выбор конструкции захватного устройства оказывает влияние следующие факторы:

- объект манипулирования: форма, размер, свойства симметрии, масса и инерционные свойства, материал (хрупкость, магнитные свойства), величина допусков и качество базовых поверхностей для захватывания;
- промышленный робот: грузоподъемность, ускорение выходного звена по всем координатам, тип привода (пнеumo-, гидро-, электро), манипуляционные возможности (число степеней подвижности), особенности системы управления;
- особенности автоматизируемого технологического процесса: характеристика окружающей среды (температура, влажность, степень загазованности, запыленность), особенности выполняемой операции (требуемая точность позиционирования объекта, необходимость оказания на захваченный объект физико-химического воздействия или механических воздействий – нагрев, обдув воздухом, водяное охлаждение, колебания), наличие упругой связи между манипулятором и объектом (например, при выполнении точной сборки вала с втулкой), необходимость дополнительных перемещений объекта, а также обеспечение контроля

усилия захватывания, величины разжатия губок и других параметров захватного устройства, обеспечение безопасности работы и надежности функционирования; особенности технологического оборудования: размеры рабочих зон, способ базирования объектов на исходных и приемных позициях, производительность и способы максимальной загрузки, конструктивные особенности.

Расчет захватных устройств сводится к определению следующих основных характеристик:

- номинальной силы захватывания, определяемой как сила, с которой контактные элементы (губки) действуют по нормали к зажимаемой поверхности объекта;
- геометрических размеров и массы захватного устройства;
- времени захватывания (отпускания);
- характерных размеров захватываемого объекта, на который рассчитан схват;
- параметров питания (напряжение, потребляемая мощность, давление);
- условий эксплуатации (температура, относительная влажность окружающей среды).

Выбор величины силы захватывания обусловлен требованиями надежности удержания объекта и производится исходя из массы, формы, материала объекта с учетом динамических нагрузок, обусловленных его движением, а также характера силового взаимодействия захваченного объекта с внешним оборудованием (например, при сборке или установке заготовки в патрон станка). Накопленный опыт показывает, что значение силы захватывания должно в несколько раз превосходить вес захватываемой детали. Однако номинальная сила захватывания не дает исчерпывающего представления об удерживающей способности схвата, на которую оказывают влияние кинематика схвата, конструкция губок, геометрия захваченного объекта, способ базирования объекта в схвате и др.

По способу удержания объектов захватные устройства делятся на механические, вакуумные и магнитные.

В курсовом проекте можно использовать любой вид захватного устройства с обоснованием выбора.

В качестве примера приводятся характеристики магнитных схватов (рисунок 4).

В конструкциях магнитных захватных устройств применяют постоянные магниты и электромагниты.

Преимущества магнитных захватных устройств:

- простота конструкции, малый вес и компактность;
- независимость от формы объектов;
- отсутствие повреждений поверхности объектов;



– большие (по сравнению с вакуумными) усилия зажима, быстроедействие и точность;

Недостатки:

- невозможность захвата детали из немагнитного материала;
- наличие остаточного магнетизма материалов;
- высокие требования к чистоте поверхности;
- трудность поштучного отделения заготовок из стопы.

Расчет усилий магнитных схватов можно вести по следующим формулам:

$$F = B_u^2 \frac{\pi d^2}{4(1 + 1,48 \frac{\delta}{d})^2} \quad - \text{ в случае плоской детали и цилиндрического}$$

полюса;

$$F = B_u^2 \frac{\pi d^2}{4(1 + 0,74 \frac{\delta}{d})^2} \quad - \text{ в случае цилиндрической детали и}$$

цилиндрического полюса;

$$F = B_u^2 \frac{a^2}{\left\{ 1 + \frac{\delta}{a} \left[ 0,58 + \frac{0,14}{\ln(1,05 + \frac{\delta}{a})} \right] \right\}^2} \quad - \text{ в случае квадратной детали с}$$

плоским торцом и квадратного полюса;

где  $B_u$  – магнитная индукция (Т);  $d$ - диаметр полюса (м);  $a$ - сторона квадрата (м);  $\delta$ - воздушный зазор между деталью и полюсом магнита (м) .



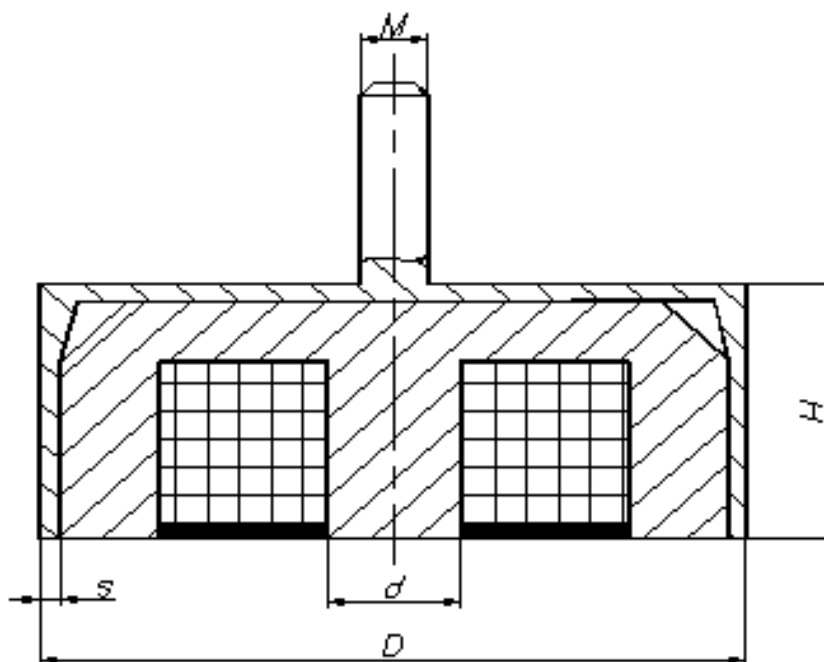


Рисунок 4 – Электромагнитный схват

## 2.5 Выбор вспомогательного оборудования для РТК

### 2.5.1 Выбор автоматизированной транспортно-складской системы.

Основными функциями системы межоперационного транспортирования и складирования РТК являются:

- обеспечение заданной последовательности технологического процесса путём передачи предметов труда с одной операции или единицы технологического оборудования на другую;
- создание межоперационных заделов для непрерывной работы;
- подача и установка инструментов и приспособлений;
- отвод предметов труда, инструментов, приспособлений, бракованных изделий и технологических отходов.

В отличие от традиционного подъёмно-транспортного оборудования транспортные средства автоматизированного производства должны создавать условия для работы РТК в автоматическом и автоматизированном режимах. К ним предъявляются следующие требования:

- автоматизация погрузочно-разгрузочных операций;
- возможность стыковки по основным параметрам со складским и технологическим оборудованием;
- обеспечение заданной ориентации, точности позиционирования перевозимых грузов и заданного ритма технологического процесса;
- программная совместимость системы управления с системой управления РТК;
- обеспечение безопасной работы;



– высокая надёжность.

Выбор транспортной системы определяется следующими факторами: видом транспортируемых заготовок и деталей, величинами перемещений, требованиями технологического процесса, способом автоматической загрузки и распределением функций между ПР и транспортными средствами.

В качестве транспортных средств применяются ленточные, цепные, роликовые, пластинчатые и подвесные конвейеры, шаговые и инерционные транспортёры, лотки, поворотные столы, напольные и подвесные транспортные роботы и тележки [4].

Ленточные конвейеры, в основном, служат для перемещения или удаления деталей и отходов сравнительно небольшой массы (до 50 кг) и размеров, не требующих строгой ориентации. Цепные конвейеры используются для перемещения и удаления в горизонтальном, наклонном и вертикальном направления более тяжелых ориентированных и неориентированных деталей, а также отходов. Роликовые конвейеры, в основном, применяются для межоперационной передачи спутников на расстояния до 50 м. Пластинчатые конвейеры чаще всего используются для передачи штучных заготовок и в приспособлениях-спутниках весом от 25 до 125 кг. Подвесные конвейеры с автоматическим адресованием грузов наибольшее применение получили для межцеховой и межучастковой передачи изделий в таре и крупных заготовок весом от 50 до 250 и более кг на расстояния свыше 50 м.

Шаговые транспортёры относятся к устройствам периодического действия и применяются для перемещения на различные расстояния в горизонтальном и наклонном направлениях деталей, имеющих правильную геометрическую форму с сохранением ориентации во время транспортировки. Привод транспортёров может быть индивидуальным (электромеханический, пневматический, гидравлический) или от основного технологического оборудования.

Инерционные транспортёры применяются для перемещения небольших изделий и отходов в неориентированном положении. Они могут выполняться прямолинейными, с изогнутыми участками, а также в виде винтовых лотков для подъёма деталей на высоту до 3 м. Привод таких транспортёров может быть механическим, электромеханическим или электромагнитным.

В последнее время получили применение пневматические полусамотечные лотки, транспортирующие детали на воздушной подушке. Простота конструкции, отсутствие движущихся и трущихся частей обуславливают высокую надёжность в эксплуатации это транспортного средства. Пневмотранспортирование деталей осуществляется при углах наклона плоскости скольжения лотка, меньших угла трения, что достигается созданием воздушной прослойки между плоскостью



скольжения лотка и опорной плоскостью детали. Пневматический лоток одновременно является накопителем заготовок для роботов на последующих операциях и снабжается для этого механизмом ориентации и датчиком наличия деталей на исходной позиции. Применение пневматических лотков ограничивается деталями небольшой массы, имеющими достаточную площадь опорной поверхности.

Традиционные транспортные средства обладают существенным недостатком: требуют дополнительных устройств для автоматизации погрузочно-разгрузочных операций и, как правило, недостаточно гибки, т.е. при изменениях в размещении оборудования необходимо изменять конструкцию самих транспортных средств. Более мобильны и лишены этих недостатков подвижные роботы, ориентированные на комплексное выполнение погрузочно-разгрузочных и транспортных операций. Такой робот транспортирует со склада на рабочие места тару с заготовками, инструментом, приспособлениями и перевозит готовую продукцию на склад.

Для разрабатываемого РТК целесообразно применить разделенную транспортно-накопительную систему с двумя стеллажными накопителями и краном – штабелером. В данной системе автоматическая транспортная тележка, перемещаясь по прямолинейному транспортному рельсовому пути, доставляет заготовки к перегрузочному столу оператора, где он загружает данными заготовками вибрационное загрузочное устройство. Из стеллажного склада кран-штабелер подает заготовки в тару на перегрузочный стол. Далее транспортная тележка по мере необходимости забирает с перегрузочного стола тару с заготовками и транспортирует ее к перегрузочному столу оператора, установив тару с заготовками на перегрузочный стол, перегрузочное устройство транспортной тележки забирает тару с готовыми деталями и транспортирует ее на перегрузочный стол стеллажного склада. Затем кран-штабелер забирает тару и устанавливает ее в свободную ячейку стеллажа.

В качестве примера приведем характеристики крана-штабелера модели РШ-500, так как он имеет большую грузоподъемность, прост конструктивно, не требует больших затрат в эксплуатации и имеет невысокую стоимость.

Технические данные РШ-500:

Грузоподъемность – до 500 кг.

Габариты тары – 800×600×320 мм.

Скорость перемещения по рельсовому пути:

– в горизонтальном направлении – 2-65 м/мин.

– каретки по вертикали – 2-18 м/мин.

– выдвигания телескопического захвата – 10 м/мин.

Точность позиционирования:

– при горизонтальном перемещении ±2 мм.



- при вертикальном перемещении каретки  $\pm 4$  мм.
- при выдвигании захвата  $\pm 3$  мм.

Перемещение кассет от РТК к складу и обратно может осуществляться с помощью электрокары. Широкое распространение на современном рынке получили электрокары производства России, Болгарии и Италии. Ниже приведены основные технические характеристики тележек грузоподъемностью 2000 кг от различных фирм-производителей [8, 9]:

Таблица 1 – Технические характеристики электрических тележек

Параметр	Модель		
	CPF-200 (Италия)	ЕТ-2 (Болгария)	ЕТ-20132 (Россия)
Грузоподъемность платформы, кг:	2000	2000	2000
Номинальная способность буксировки, кг:	4500	-	-
Длина грузовой платформы, мм	2200	2150	2125
Ширина грузовой платформы, мм:	1300	1300	1250
Скорость передвижения с грузом/без груза, км/ч:	15/20	18/20	16
Напряжение аккумулятора, номинальная емкость В/Ач:	80/240	80/165	80/210 (350)
Собственная масса, кг:	1100	1400	1225

### 2.5.2 Выбор методов и средств автоматического контроля.

Для обеспечения надежной и безопасной работы РТК необходим непрерывный контроль за состоянием отдельных механизмов и устройств. Для этого в схему управления встраиваются устройства контроля и сигнализации, информирующие о работе и состоянии этих механизмов, с выходом сигналов на пульт управления комплексом с целью останова РТК в аварийных ситуациях. Для повышения производительности РТК стремятся к полной автоматизации процессов контроля [4, 10].

Задачами системы автоматического контроля РТК являются: фиксирование и коррекция технологических параметров; контроль режимов работы основного технологического оборудования; обеспечение безопасной работы. В качестве технических средств контроля в данном РТК используются датчики.

В данное время широкое распространение получили бесконтактные емкостные и индуктивные контактные датчики. Их широкое применение обусловлено простотой конструкции, компактными размерами, высокой надежностью, герметичности стабильностью работы.

В накопителе контроль наличия заготовок может производиться оптическим датчиком, состоящим из источника и приемника, смонтированных в одном корпусе. Оптический луч будет возвращаться на приемник при наличии заготовок в накопителе или не будет при их недостаточном количестве. На рисунке 5 показан датчик OV A25A-31N-100-LZ.



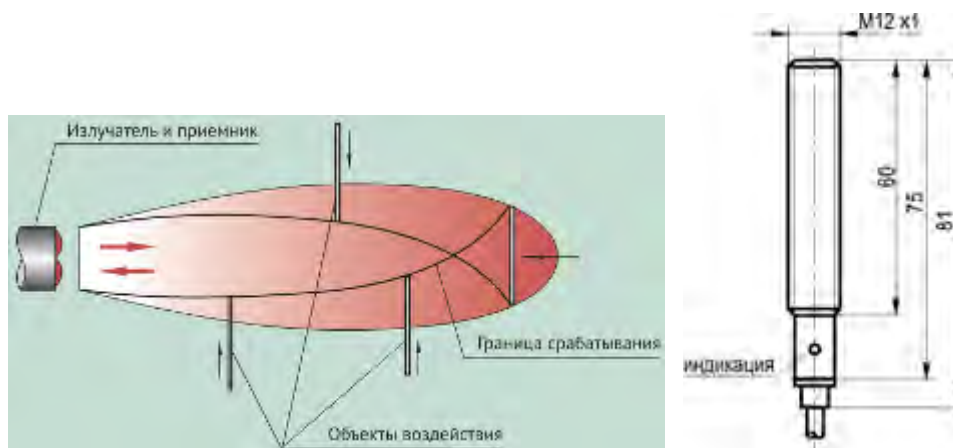


Рисунок 5 – Общий вид и габаритный чертеж датчика OV A25A-31N-100-LZ

Для контроля крайних положений шибера (полностью задвинут и полностью выдвинут) использую индуктивные бесконтактные выключатели модели ISN EC13B-21-2,5-LPS4. В основе их действия лежит изменение магнитного потока при приближении к якорю (объекту контроля) (рисунок 6).



Рисунок 6 – Общий вид датчика ISN EC13B-21-2,5-LPS4

Наличие детали в приспособлении может контролироваться встроенным индуктивным датчиком ISB A11B-31N-1,5-L (рисунок 7).

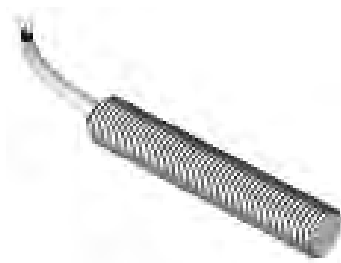


Рисунок 7 – Общий вид датчика ISB A11B-31N-1,5-L

Захват детали роботом будет определяться датчиком на схвате робота.

В качестве датчика, установленного на схвате, может использоваться невстраиваемый емкостный датчик CSN E41A5-31P-6-LZ, который является нормально-разомкнутым.

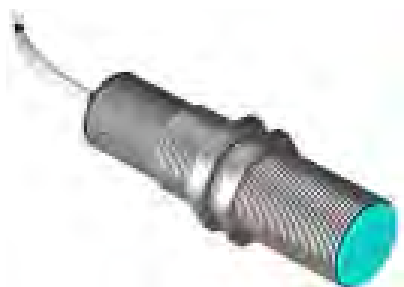


Рисунок 8 – Общий вид датчика CSN E41A5-31P-6-LZ

Контроль отсутствия исполнительного устройства в рабочей зоне может осуществляться оптической многолучевой линейкой, состоящей из источника EPJ-16-40-9-С и приемника световых лучей RPJ-16-40-9-С.

Кроме устройств контроля работы РТК оснащается системой блокировки. Она срабатывает при нахождении человека на участке во время автоматической работы и является одним из обязательных средств обеспечения безопасности на участке. Контроль в данном случае может осуществляться индуктивным бесконтактным выключателем ISN N3P-32N-10-LZ (рисунок 9), расположенными на створках ограждения. При попадании человека в рабочую зону любое движение ПР прекращается независимо от режима его работы, срабатывает звуковая сигнализация. Повторное включение ПР после аварийной остановки должно выполняться только после выхода всех исполнительных органов в исходное положение и только по команде оператора.

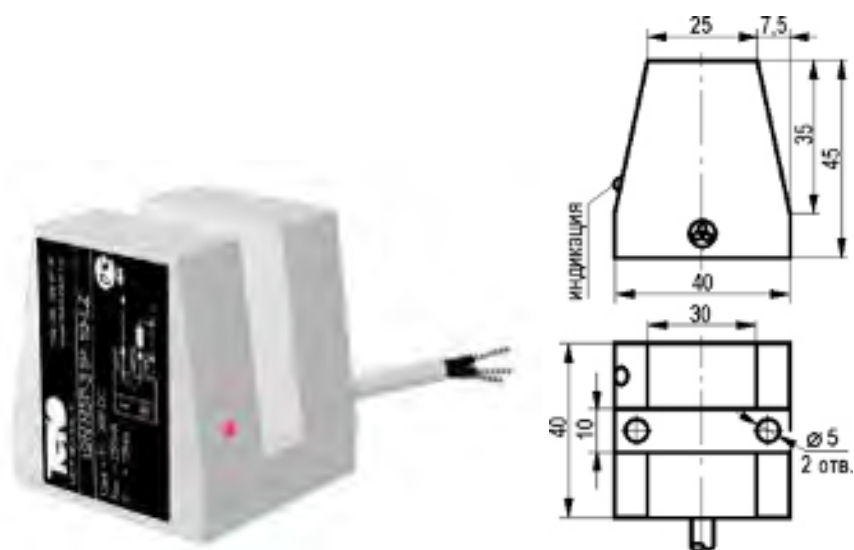


Рисунок 9 – Общий вид и габаритный чертеж датчика ISN N3P-32N-10-LZ

## 2.6 Проектирование и расчет загрузочного устройства

Магазинные загрузочные устройства (МЗУ) представляют собой комплекс функциональных механизмов, предназначенных для приемки в ориентированном положении изделий, хранения с расположением их в один ряд и автоматической выдачи изделий в рабочую зону захвата ПР [4].

Рассматриваемые устройства применяются:

- 1) для изделий сложной формы, автоматическое ориентирование которых затруднено или невозможно известными техническими средствами;
- 2) когда автоматическое ориентирование может привести к порче изделий;
- 3) при возможности кассетировать (стопировать) изделия на предыдущей операции;
- 4) в условиях многономенклатурного производства с небольшой годовой программой.

Использование ПР, простота конструкций и возможность переналадок обеспечило широкое применение магазинов в ГАП.

Изделия укладываются в накопитель МЗУ в ориентированном положении вручную или вставляются стопами, расположенными обычно в сменных кассетах. Укладка изделий в кассеты может осуществляться как вручную, так и на дополнительных устройствах кассетирования.

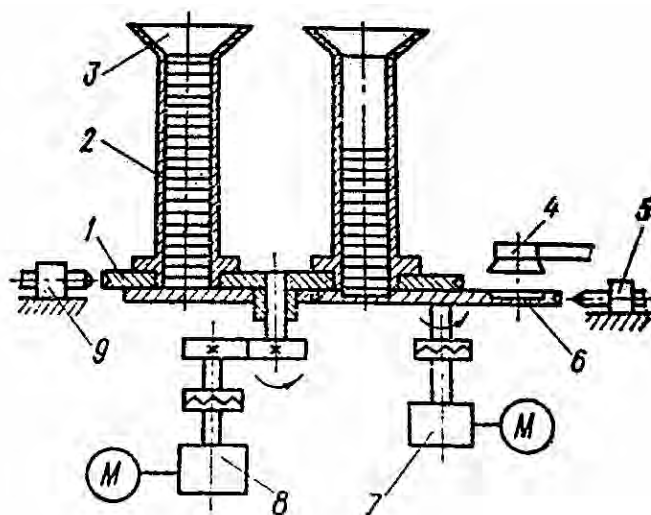


Рисунок 10 – Структурная схема МЗУ

Несмотря на большое конструктивное разнообразие МЗУ, структура их конструктивных элементов, выполняющих сходные функции, аналогична. Это можно показать на примере двухкассетного магазина с револьверным отделением изделий (рисунок 10). Основные конструктивные элементы (органы) этого устройства характерны для большинства МЗУ.

Приемник 3 предназначен для облегчения укладки в ориентированном положении в накопитель 2. Конструкция приемника зависит от способа заполнения накопителя. При ручном заполнении используются в основном только направляющие и базирующие плоскости. В случае автоматической загрузки съемных накопителей (кассет) приемник может иметь более сложные элементы ориентирования.

Накопители 2 предназначены для сохранения ориентированного положения изделий при хранении и перемещении. Применяются стационарные и съемные (кассетные) накопители. Число накопителей определяется рядом факторов, основными из которых являются производительность ПР и размеры заготовок. Конструкция накопителя должна обеспечивать свободный доступ к изделиям и исключать возможность их заклинивания в случае засорения.

Основная функция отделителя 6 состоит в изоляции изделий, подлежащих захвату, от влияния других изделий, которое может проявляться, например, в чрезмерной нагрузке нижнего изделия вышележащим, сцеплении изделий за счет заусениц и наличия смазки и т. д. В большой степени конструкции отделителей зависят от формы, размеров, механических, физических и других свойств изделий. В данном случае отделитель 6 выполнен в виде револьверного устройства, обеспечивающего не только отделение изделий от стопы, но и перемещение их на позицию захвата ПР 4.

Установка изделий на позиции захвата производится механизмами поворота 7 и 8 и фиксаторами 5 и 9, обеспечивающими точную остановку основания 1 и отделителя 6 в заданном положении.

Блокирующие устройства предназначены для предотвращения поломок механизмов МЗУ в случае нарушения нормальной работы, например при застревании изделий. Кроме того, блокирующие устройства могут контролировать правильность положения изделий при захвате. В устройстве, показанном на рисунке 10, функции блокирующих устройств выполняют предохранительные муфты.

Как правило, каждый магазин имеет привод перемещения изделий по накопителю или вместе с накопителем (в случае расположения изделий в плоских кассетах) на участок отделения или позиционного захвата. В рассматриваемом примере изделия в накопителе перемещаются под действием собственного веса, что существенно упрощает конструкцию.

Основными функциями МЗУ (рисунок 10) являются прием ориентированных изделий приемником 3, хранение и перемещение их в ориентированном положении в накопителе 2, поштучное отделение изделий из общей массы с помощью отделителя 6 и установка изделий с требуемой точностью на позиции захвата.

Изделия, находящиеся в накопителе, могут перемещаться двумя способами: под действием собственного веса и под действием дополнительной внешней силы. Магазины первой группы (рисунок 11) конструктивно



просты, надежны. Они применяются, как правило, при заборе изделий снизу.

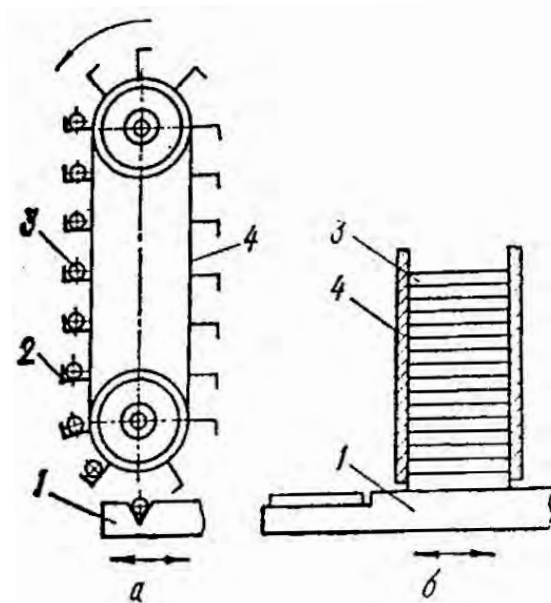


Рисунок 11 – МЗУ для изделий, перемещающихся под действием собственного веса

На рисунке 11, а показан магазин элеваторного типа, состоящий из полок 2, закрепленных на бесконечной цепи 4. Загрузка полок 2 изделиями 5 производится сверху, выдача - снизу в захват 1. Перемещение цепи элеватора осуществляется под действием веса изделий 3. Периодичность подачи изделий на позицию захвата определяется ПР.

В магазине шиберного типа (рисунок 11, б) перемещение изделия в накопителе производится под собственным весом до упора в шиберный отделитель 1.



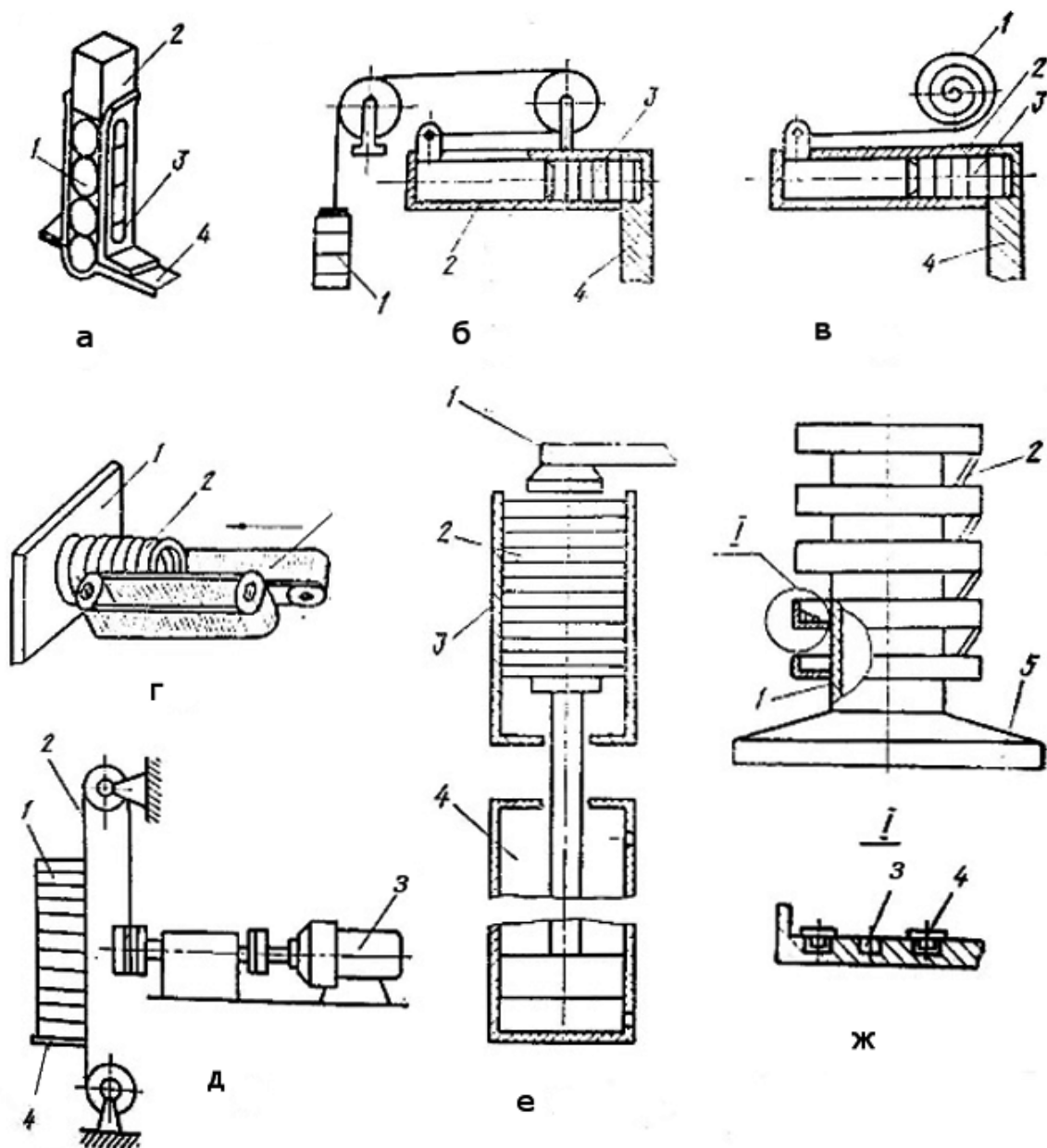


Рисунок 12 – МЗУ для изделий, перемещающихся в накопителе под действием внешних сил

В магазинах второй группы перемещение изделий производится внешними силами. На рисунке 12, а показано устройство для перемещения изделий 1 по накопителю 3 к отделителю 5 за счет гравитационных сил, создаваемых дополнительным грузом 2. На рисунке 12, б перемещение изделий 3 в горизонтально расположенном накопителе 2 до упора в отделитель 4 осуществляется за счет гравитационных сил груза 1, передаваемых через систему шкивов. В конструкции, представленной на рисунке. 12, в, груз заменен пружиной 1, что позволяет сделать магазин более компактным.

Магазин, приведенный на рисунке. 12, г, осуществляет принудительное перемещение изделий 2 силами трения, возникающими между заготовками и подвижными ремнями 3, образующими накопитель V-образной формы.

Магазин, в котором используется в качестве перемещающей силы энергия электродвигателя, представлен на рис. 12, д. Он выполнен в виде платформы 4, соединенной посредством троса 2 с электродвигателем 3.

Широко распространена подача изделий 2 под захват 1 ПР в шахтных накопителях 3 с помощью пневматических двигателей – пневмоцилиндров 4 (рисунок 12, е).

Магазин, осуществляющий перемещение изделий с помощью вибраций, показан на рисунке 12, ж. Загруженные в спиральный лоток 3 верхней чаши 1 изделия 4 последовательно перемещаются по чашам 1, соединенным между собой лотками 2. Перемещение изделий по спиральным лоткам 3 производится под действием вибрации, создаваемой вибратором 5.

По типу накопителей магазины делятся на стационарные и сменные (кассетные). Кассетные накопители, как правило, загружаются автоматически вне магазина на специальных устройствах или непосредственно от ТМ, имеющих возможность каптировать изделия после выполнения операции.

В зависимости от способа расположения ряда изделий МЗУ разделяются на горизонтальные и комбинированные. По способу расположения изделий в ряду можно выделить магазины с расположением изделий вразрядку и вплотную.

Благодаря конструктивной простоте накопителей с плотным расположением изделий, их применение предпочтительно во всех случаях, когда нет необходимости в изоляции при хранении и выдаче.

Шаг между позициями изделий в накопителе выбирается исходя их необходимости исключения контакта между изделиями и создания возможности надежного захвата изделий ПР. Шаг между позициями изделий больше длины изделия в направлении перемещения, поэтому магазины с расположением изделий вразрядку имеют меньшую емкость, чем магазины с плотным расположением.

По числу накопителей МЗУ можно разделить на однопозиционные и многопозиционные. Необходимость увеличения позиций вызвана потребностью сократить время обслуживания одного МЗУ за счет увеличения общей емкости магазина. Кроме того, увеличение числа позиций необходимо для создания емких и компактных магазинов. Число позиций прежде всего зависит от размеров, массы изделий и времени обслуживания одной позиции магазина.



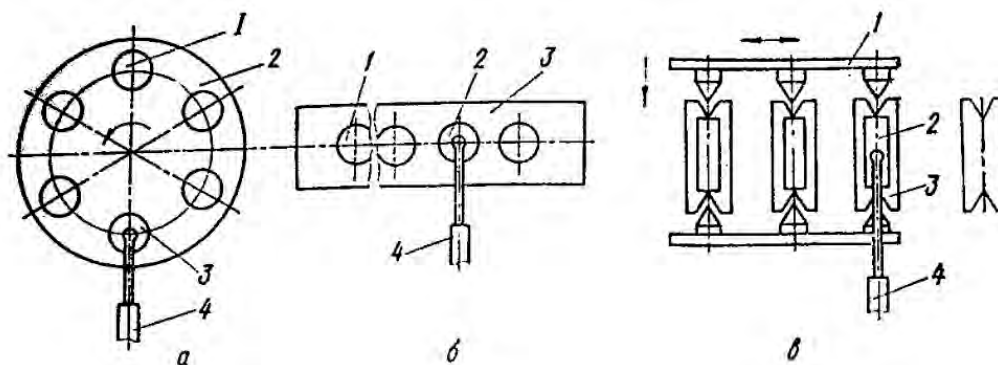


Рисунок 13 – Схемы расположения накопителей (позиций) МЗУ

Многопозиционные магазины, в отличие от однопозиционных, снабжены дополнительным приводом, который обеспечивает подвод накопителей на позицию захвата по мере их выработки.

Накопители многопозиционных магазинов располагаются по линейной или круговой схеме. При круговой схеме (рис. 13, а) накопители 1 располагаются на платформе 2 по окружности. По мере забора изделий ПР 4, подвод очередного накопителя 1 на позицию захвата 3 осуществляется поворотом платформы 2 на угол:  $\alpha = 360/n$ , где  $n$  – число позиций.

В случае линейного расположения (рисунок 13, б) накопителей 1 на платформе 3 их перемещение на позицию захвата 2 осуществляется за счет перемещения платформы 3 на шаг, равный расстоянию между центрами накопителей. В промышленном производстве получили распространение двух- и трех- позиционные магазины с линейным расположением накопителей (рисунок 13, б, в). При большом числе накопителей отдается предпочтение круговым схемам.

В качестве примера рассмотрим расчет многопозиционного поворотного магазина, т. к. он имеет меньшие габаритные размеры, изоляцию механизма от станка, а также более удобный подвод заготовок к загрузочной позиции.

Расчет параметров поворотного МЗУ будем производить согласно следующей схеме, (рисунок 14) [11]:

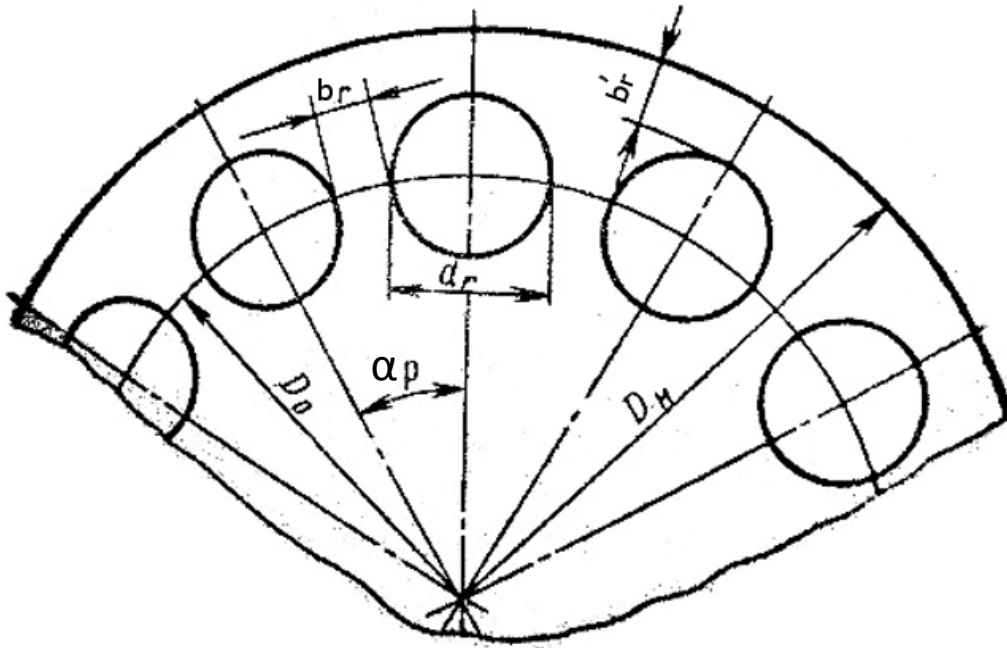


Рисунок 14 – Расчетная схема диска поворотного МЗУ

Определим расчетное число деталей:

$$(5) \quad Z = \frac{T}{t_d};$$

где  $T$  - время работы МЗУ без загрузки заготовок, мин;

$t_b$  - такт выпуска, мин/шт.

Диаметр окружности центров гнезд:

$$D_0 = \frac{d_r + b_r}{\sin \frac{\alpha_p}{2}}, \quad (6)$$

где  $b_r$  – ширина перемычки между гнездами;

$d_r$ -диаметр гнезда;

Наружный диаметр диска:

$$D_h = D_0 + d_r + 2b_r, \quad (7)$$

где  $b_r'$  – наименьшая ширина перемычки между гнездами и наруж-

ным диаметром диска;

Толщину диска принимают конструктивно.

Угол поворота диска за один цикл –  $\alpha_p$ :

Для прерывания движения поворотного МЗУ при возвращении пневмоцилиндра в исходное положение необходимо предусмотреть стопорящий механизм, выберем для решения этой задачи храповый механизм с вращающейся собачкой (рисунок 15).

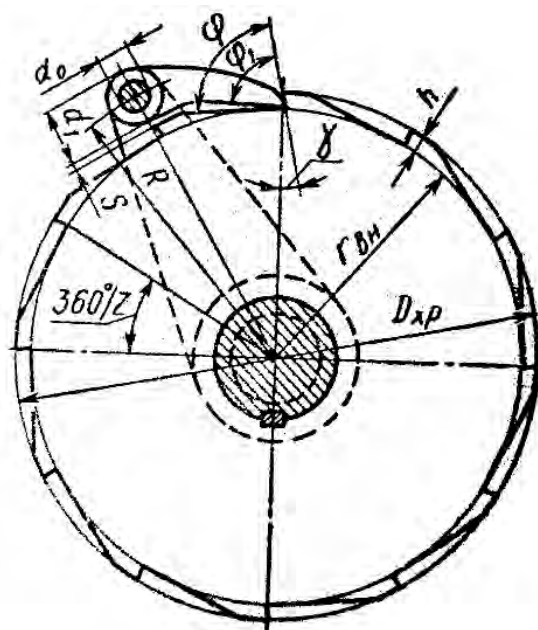


Рисунок 15 – Храповый механизм с вращающейся собачкой

Расчет храпового механизма ведется в соответствии с методикой, приведенной в литературе [11].

Для привода во вращательное движение плиты МЗУ необходимо подобрать пневматический цилиндр. Для этого нужно рассчитать усилие, необходимое для поворота плиты [11]. После расчета диаметра цилиндра выбирают ближайший наибольший диаметр по ГОСТ 15608-70 [12].

Чертеж МЗУ показан в приложении (рисунок А2).

## 2.7 Разработка компоновки РТК

Выбор планировки РТК зависит от компоновки оборудования, формы, размеров и расположения его рабочих зон и структурно-кинематической схемы ПР. При разработке планировки РТК необходимо предусмотреть:

– оптимальное расположение основного технологического оборудования и вспомогательных устройств в пределах зоны обслуживания ПР в соответствии с технологическим процессом;

- выполнение ПР манипуляционных действий согласно его технической характеристике;
- свободный и безопасный доступ обслуживающего персонала к оборудованию и органам управления РТК (ГОСТ 12.2.078-82);
- размещение пульта управления вне зоны действия ПР;
- защитные сетки и другие устройства при планировании перемещений ПР заготовок и деталей над проходами, проездами и рабочими местами;
- соответствие расстояний между оборудованием РТК и колоннами, ширины проходов и проездов нормам проектирования машиностроительных цехов.

В разрабатываемом варианте курсового проекта в состав РТК может входить: промышленный робот (ПР) металлорежущие станки, поворотное магазинное загрузочное устройство, накопитель.

Типовые планировки роботизированных комплексов приведены в литературе [4, с. 498]. Чертеж планировки РТК показан в приложении (рисунок А3).

## 2.8 Построение циклограммы работы оборудования РТК

Циклограмму составляют на основании тщательного анализа всех механизмов с целью выбора наиболее рациональной последовательности движений.

Для составления циклограммы необходимо составить карту взаимодействия промышленного робота (ПР) с технологическим оборудованием и вспомогательными устройствами (пример показан в таблице 7).

Таблица 7 – Взаимодействие ПР с токарным станком модели САК 6166 при обработке детали – фланец

Функции робота		Функции станка, оснастки, дополнительных устройств	
Команды	Действия	Ответные сигналы	Действия
		Сигнал о наличии заготовки на загрузочной позиции магазина	
	Захват заготовки с загрузочной позиции магазина, ротация руки и перемещение кисти до требуемой позиции, установка заготовки в патроне.		



		Сигнал о наличии заготовки в патроне	
Команда на зажим заготовки в патроне			Зажим патрона
		Сигнал о зажиме патрона	
	Отвод руки ПР. Перемещение каретки вперед до станка		
Команда на перемещение ограждения в положение «открыто»			Перемещение ограждения в положение «открыто»
		Сигнал о нахождении ограждения в положении «открыто»	
	Перемещение руки, зажим обработанной детали		
Команда на раскрепление детали (разжим патрона)			Разжим патрона
		Сигнал о раскреплении детали (разжим патрона)	
	Втягивание руки, перемещение к накопителю до требуемой позиции. Разжим кисти		
		Сигнал о наличии детали в накопителе	
Команда на перемещение руки ПР от накопителя к загрузочной позиции магазина			
	Перемещение руки ПР от накопителя к загрузочной позиции магазина		



Для разработки циклограммы необходимо рассчитать время использования каждого перехода работы ПР и время работы станка.

Время перемещения ПР по каждой степени подвижности определяется по формуле:

$$t = \frac{S}{v}, \quad (8)$$

где  $t$  – время на выполнение одной операции, с;

$S$  – перемещение по каждой степени подвижности, м;

$v$  – скорость перемещения манипулятора по каждой степени подвижности, м/с.

Время движения механизмов рассчитывают с учетом длины хода и скорости перемещения. Длину хода определяют согласно компоновке РТК и данным технологического процесса, а скорость перемещения назначают по техническим характеристикам ПР и оборудования.

*Пример расчета времени работы оборудования РТК.*

Время горизонтального (вперед/назад) перемещения манипулятора ПР:

$$t_{В/Н} = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ с.}$$

Время подъема/опускания манипулятора ПР:

$$t_{П/О} = \frac{0,09}{2} = 0,045 \text{ с.}$$

Время поворота от станка к МЗУ:

$$t_{П} = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ с.}$$

Время захвата/разжима заготовки (детали):

$$t_{З/Р} = 0,2 \text{ с.}$$

В примере за один цикл роботу необходимо совершить перемещение вперед/назад 2 раза, подъем/опускание – 2 раза, поворот – 2 раза и захват/зажим – 2 раза, то формула времени цикла будет иметь вид:



$$t_{\text{ц}} = (2 \cdot t_{\text{в/н}} + 2 \cdot t_{\text{п/о}} + 2 \cdot t_{\text{п}} + 2 \cdot t_{\text{з/р}} + t_{\text{тп}}),$$

где:  $t_{\text{тп}}$  – время технологической паузы, необходимое для гашения вибраций, с.

$$t_{\text{ц}} = (2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,045 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 0,5) = 2,6 \text{ с.}$$

С учетом машинного времени станков и магазинного питателя, время цикла обработки одной детали будет равно:

$$T_{\text{д}} = t_{\text{ц}} + t_{\text{маш}} + t_{\text{пм}}.$$

$$T_{\text{д}} = 2 + 4,5 + 0,5 = 7,6 \text{ с.}$$

Время обработки одной кассеты с заготовками, с учетом того, что в кассете, 480 заготовок, будет равно:

$$T_{\text{к}} = 480 \cdot 7,6 = 3648 \text{ с.}$$

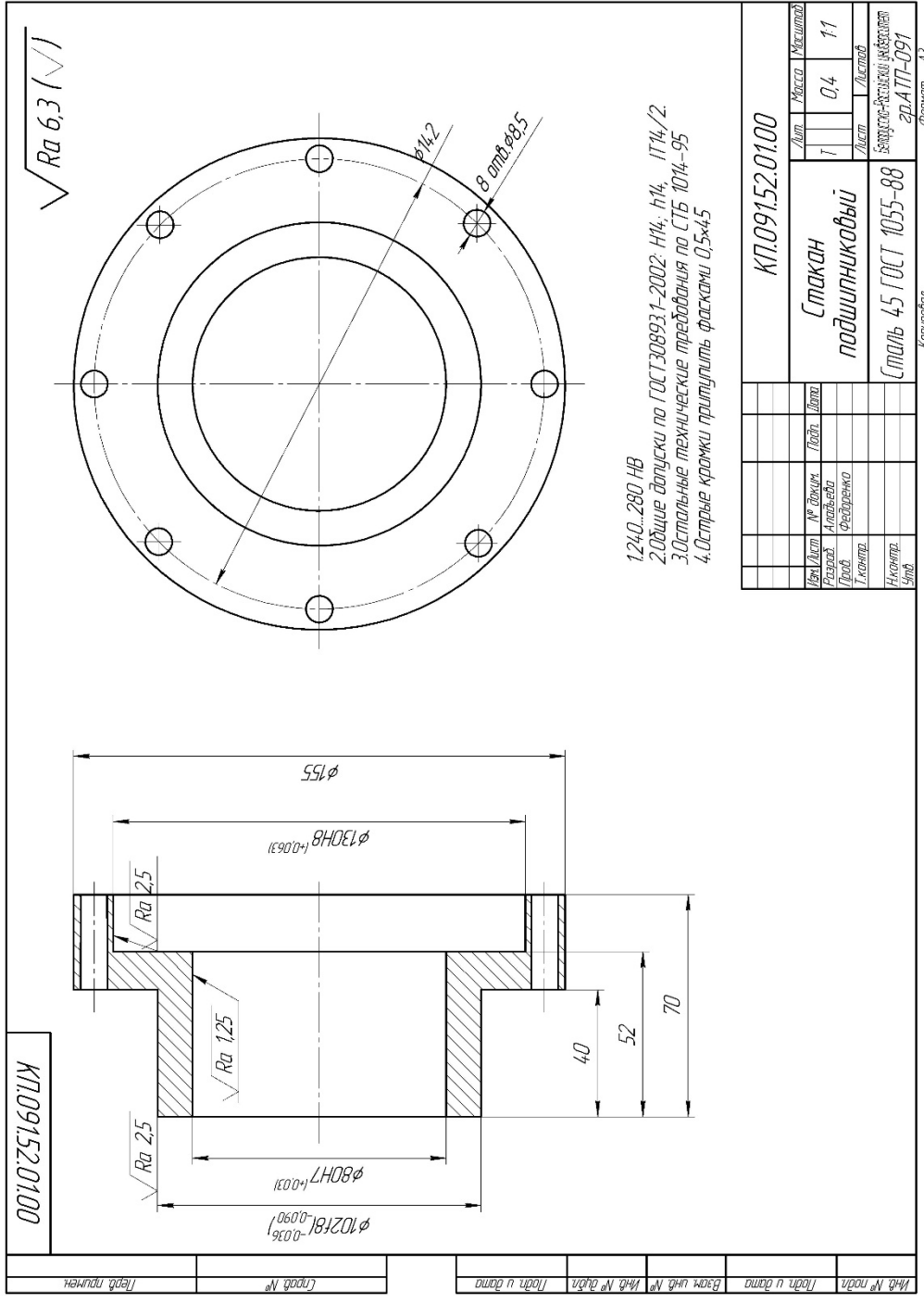
Циклограмма работы РТК представлена в приложении (рисунок А4)

## Список литературы

1. Митрофанов С.П.: Групповая технология машиностроительного производства. В 2-х т. Т. 1. Организация группового производства. - Л.: Машиностроение, 1983. – 470 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т 2/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение-1, 2001 г. 944 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т 1/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1985. 656 с.
4. Козырев Ю.Г.: Промышленные роботы: Справочник.-2-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1988.-392 с.
5. Козырев Ю.Г. Захватные устройства и элементы промышленных роботов: учебное пособие / Ю. Г. Козырев. – М.: КНОРУС, 2011. – 312 с.
6. Остяков, Ю. А. Проектирование механизмов и машин: эффективность, надежность и техногенная безопасность: учебное пособие / Ю. А. Остяков, И. В Шевченко – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 260 с. (электронный ресурс), режим доступа – <http://znanium.com/bookread2.php?book=513552>.
7. Егоров О. Д. Конструирование механизмов роботов: учебник / О. Д. Егоров. - М.: Абрис: Высш. шк., 2012. – 444 с.: ил.
8. <http://omsklad.ru/> - интернет-сайт официального представителя итальянского завода по производству электрических тележек «ОМ».
9. <http://www.balkancar-record.com> - официальный сайт завода «Балканкар-рекорд».
10. Технологическая оснастка: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / М. Ф. Пашкевич [и др.]. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 320 с.
11. Справочник металлиста: В 5-и т. Т. 5./Под ред. Б.Л. Богуславского. М. Машиностроение, 1978. – 673 с.
12. Горошкин А.К.: Приспособления для металлорежущих станков: Справочник. 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.



Приложение А (справочное)



К17.09152.01.00		Лист	Масса (кг)	11
Стакан		Лист	0,4	11
подшипниковый		Лист		
Сталь 45 ГОСТ 1055-88		Борисов-Роскошицкий институт		
		Формат А3		
		Копирован		
№ п/п	№ докум.	Подп.		
Создан	Изменен			
Дораб.	Фердиненко			
Утверд.				
Наконтр.				
Упр.				

Рисунок А.1 – Пример выполнения чертежа детали

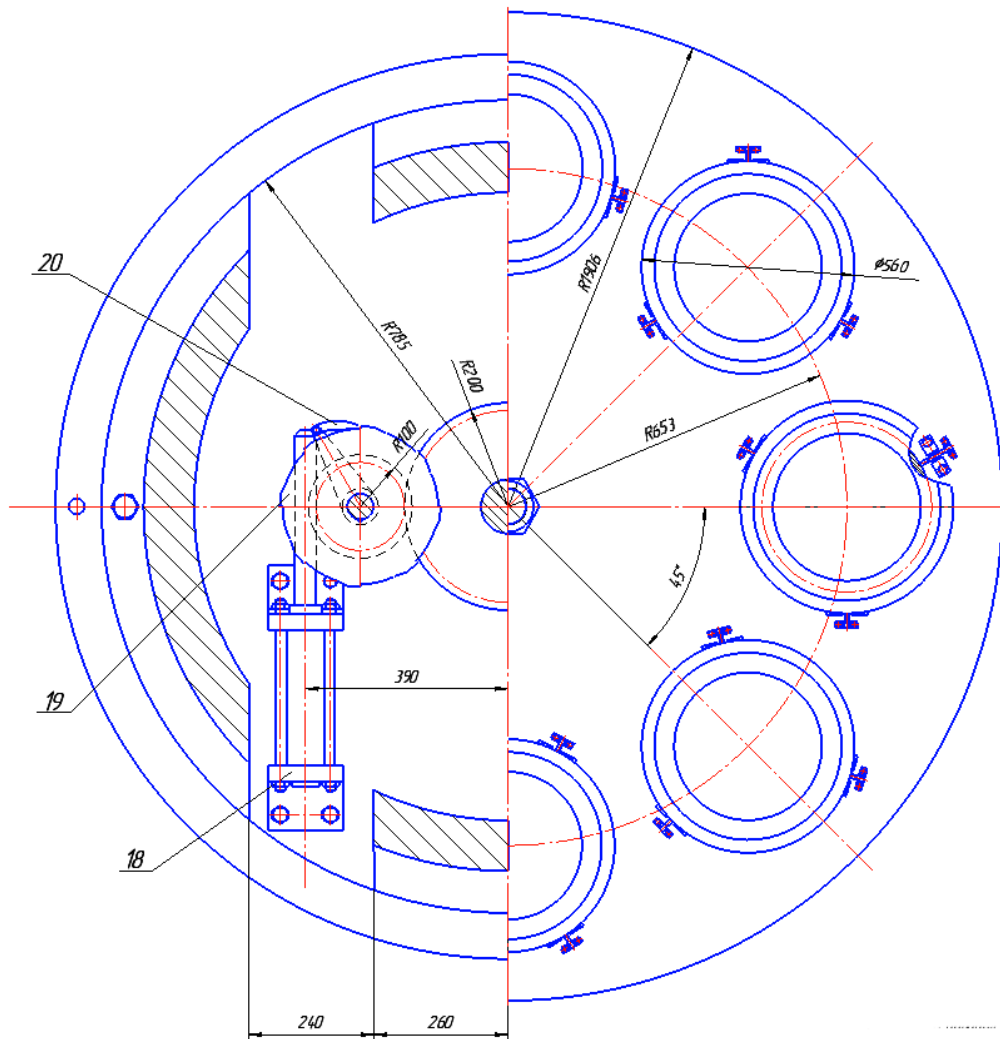
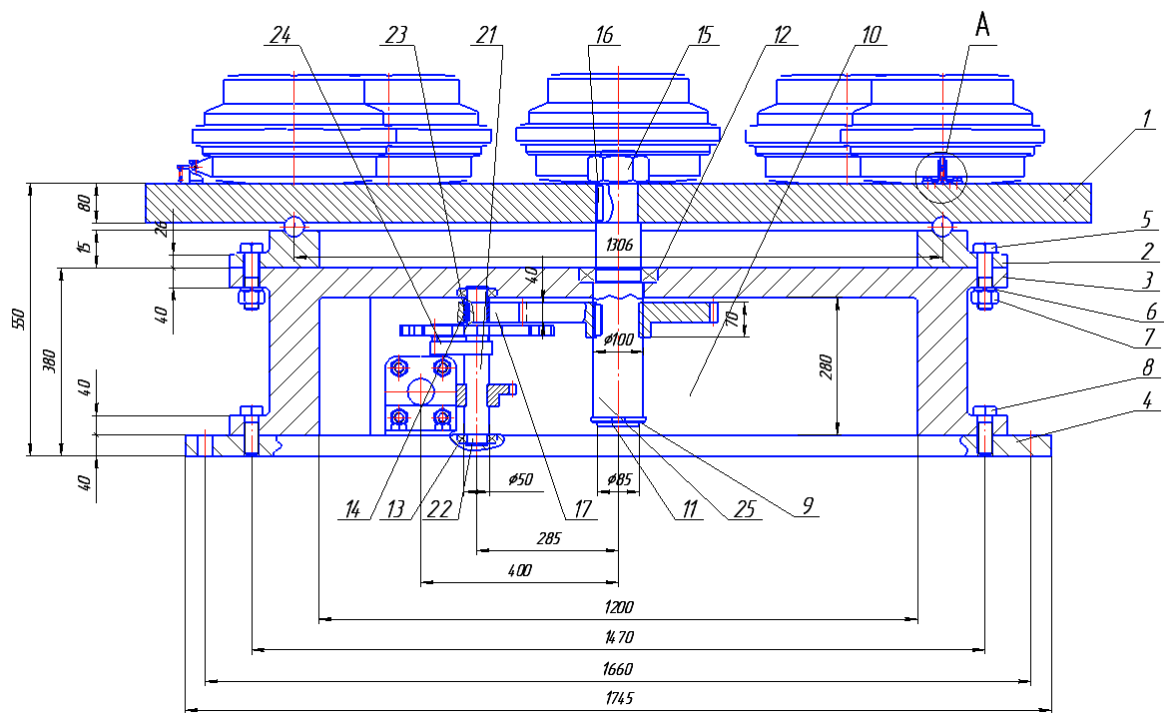


Рисунок А.2 – Пример выполнения сборочного чертежа МЗУ

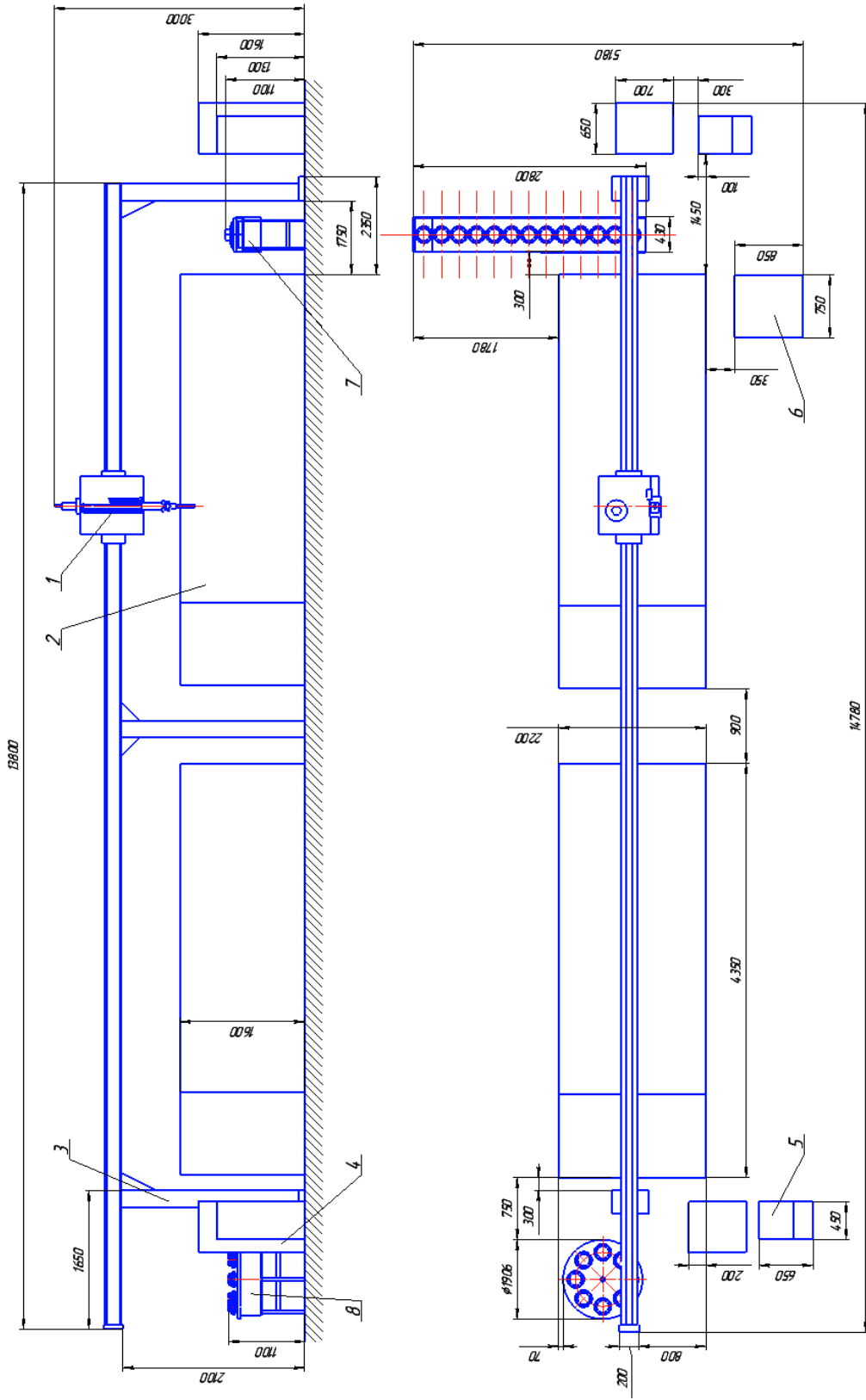


Рисунок А.3 – Пример выполнения компоновки РГК

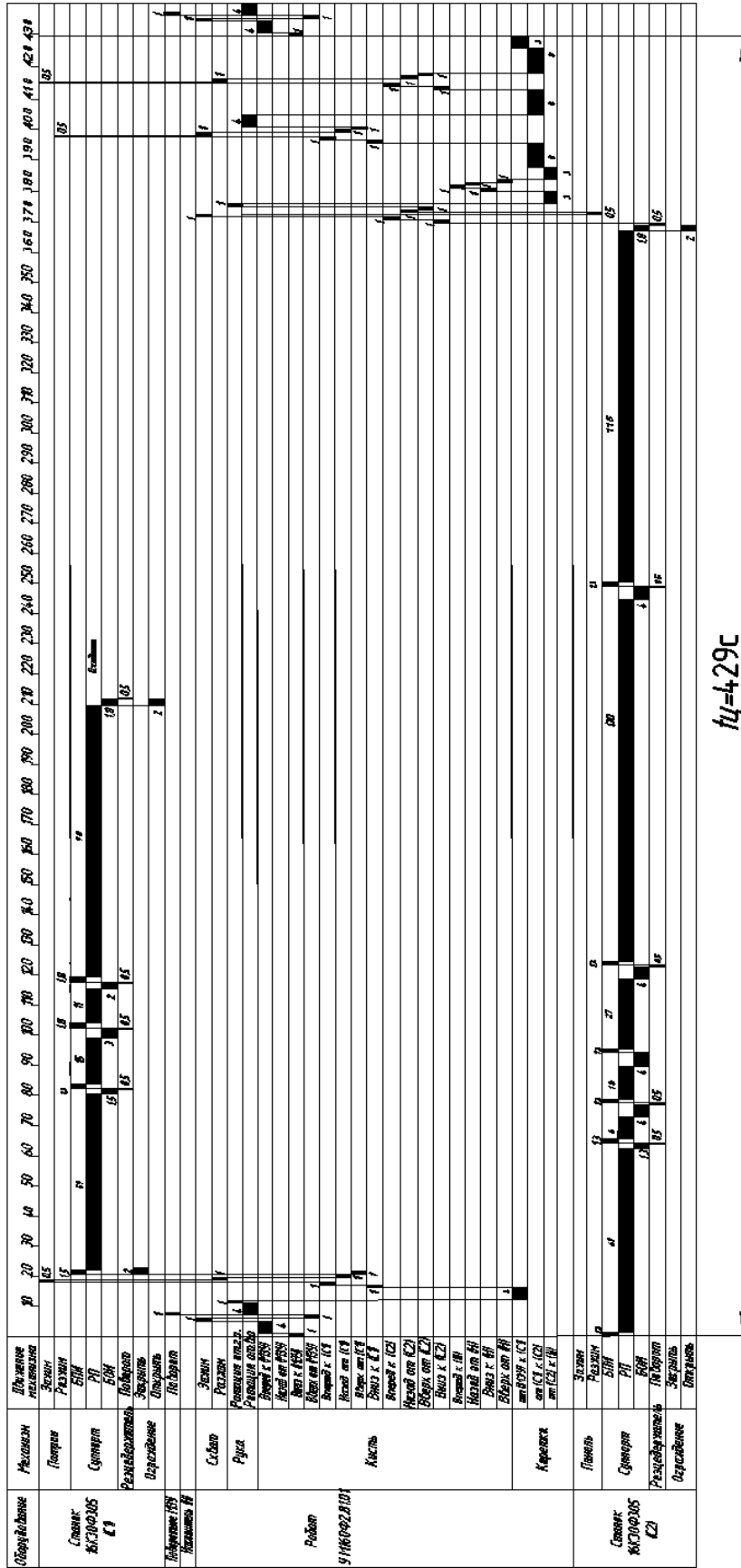


Рисунок А.4 – Пример выполнения циклограммы работы оборудования РТК