

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности
1-36 01 01 «Технология машиностроения»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 65.011.56
ББК 32.965
А 22

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «22» ноября 2022 г.,
протокол № 6

Составитель канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. М. Свирепа

В методических рекомендациях изложены требования к объему, содержанию и оформлению курсовой работы, даны рекомендации по расчёту и проектированию роботизированных технологических комплексов.

Учебно-методическое издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Ответственный за выпуск

В. М. Шеменков

Корректор

И. В. Голубцова

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:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2023

Содержание

1 Цель курсовой работы.....	4
2 Содержание курсовой работы.....	4
2.1 Введение.....	5
2.2 Назначение и конструкция детали.....	5
2.3 Выбор заготовки.....	5
2.4 Маршрутный технологический процесс изготовления детали.....	5
2.5 Проектирование операции.....	6
2.6 Выбор промышленного робота.....	10
2.7 Выбор вспомогательного оборудования.....	11
2.8 Выбор компоновки РТК.....	13
2.9 Построение и расчёт элементов траектории захватного устройства промышленного робота.....	14
2.10 Расчёт допустимых скоростей перемещения заготовки.....	19
2.11 Построение циклограммы РТК.....	20
2.12 Расчёт показателей РТК.....	21
2.13 Заключение.....	23
Список литературы.....	23

1 Цель курсовой работы

Цель курсовой работы: изучение студентами методов проектирования автоматизированных систем механической обработки деталей на основе современных достижений станкостроения и промышленной робототехники.

2 Содержание курсовой работы

Курсовая работа состоит из графической части и пояснительной записки.

Состав графической части:

- чертежи детали и заготовки, выполненные на листах формата А4, А3, А2 или А1 в зависимости от размеров детали;
- чертеж компоновки роботизированного технологического комплекса (РТК), выполненный на листе формата А1 в масштабе 1:10 или 1:20;
- чертеж формата А1 карты наладки для операции, производимой на роботизированном технологическом комплексе (РТК).

Конкретный перечень графических материалов с указанием форматов чертежей определяется руководителем работы и записывается в задание по курсовому проектированию.

Обозначение чертежей: КР.191.46.00, что означает:

- КР – курсовая работа;
- 191 – номер группы;
- 46 – шифр (последние две цифры номера зачётной книжки);
- 00 – номер чертежа (чертежу детали присваивается номер 01, чертежу заготовки – 02, чертежу компоновки РТК – 03, чертежу карты наладки – 04).

На чертеже «Роботизированный технологический комплекс» указываются:

- габаритные размеры;
- рабочая зона промышленного робота (ПР) и ее размеры;
- расстояние между составными частями РТК: станком, роботом, транспортёром, столами и т. п.;
- техническая характеристика комплекса: часовая производительность, занимаемая площадь, суммарная мощность установленных электродвигателей, системы управления станка и робота и т. п.

Пояснительная записка печатается на принтерных устройствах ЭВМ на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

В общем случае пояснительная записка должна содержать следующее:

- введение;
- назначение и конструкция детали;
- выбор заготовки;
- маршрутный технологический процесс изготовления детали;
- проектирование операции;
- выбор промышленного робота (ПР);
- выбор вспомогательного оборудования;
- расчёт элементов траектории перемещений робота;
- выбор компоновки РТК;

- построение и расчёт элементов траектории захватного устройства ПР;
- расчёт допустимых скоростей перемещения заготовки;
- построение циклограммы РТК;
- расчёт показателей РТК;
- заключение.

2.1 Введение

Во введении описываются современное состояние автоматизации производственных процессов в машиностроении, проблемы, возникающие при автоматизации, и методы их решения.

2.2 Назначение и конструкция детали

В данном разделе кратко описываются назначение детали в узле, условия ее работы, дается качественный анализ технологичности конструкции детали. Заканчивается описание таблицами химического состава и физико-механических свойств материала детали.

2.3 Выбор заготовки

При выборе метода получения заготовки решающими факторами являются форма детали, масса, материал, объем выпуска деталей. Окончательное решение о выборе метода принимается на основе технико-экономических расчетов при рассмотрении двух вариантов: базового и проектируемого.

Стоимость заготовки по базовому варианту берется из отчета по практике. При отсутствии сведений о методе получения заготовки по базовому варианту стоимость заготовки сравнивается по двум возможным методам ее изготовления.

Методика расчета экономического эффекта и стоимости заготовок подробно приводится в [5, 11].

2.4 Маршрутный технологический процесс изготовления детали

Маршрутный техпроцесс разрабатывается для условий серийного производства. На данном этапе формируются операции технологического процесса, выбираются основное оборудование и режущие инструменты.

При выборе основного оборудования (металлорежущих станков) следует помнить, что оно должно работать по автоматическому циклу, включая автоматический зажим и разжим заготовок. Таким требованиям отвечают станки с ЧПУ, характеристики которых приведены в [2, 5].

Разработанный техпроцесс оформляется в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Маршрутный техпроцесс изготовления вала КТМ.00

Но- мер опера- ции	Наименование и краткое содержание операции	Модель станка	Режущий инстру- мент, размеры, мар- ка инструменталь- ного материала	Технологиче- ская база
05	Фрезерно-центровальная 1 Фрезерование торцов 2 Сверление центровых отвер- стий	МР-77	Фреза торцовая Ø125; Т5К10; сверло центровоч- ное Ø4; Р6М5	Поверхности заготовки Ø40, Ø60, торец
10	Токарная с ЧПУ 1 Черновое точение поверхно- стей Ø37, Ø42, Ø50 2 Чистовое точение поверхно- стей Ø35, Ø40 3 Точение фасок 4 Точение канавки	16К20Ф3	Резец проходной 16х25, Т5К10; резец канавочный Т5К10	Центровые отверстия
15	Вертикально-фрезерная 1 Фрезерование шпоночного паза ($b = 12N9, l = 30$)	6М12П	Фреза шпоночная Ø12, Р6М5	Цилиндриче- ские поверхно- сти Ø35, Ø50, торец
20	Термическая			
	...			
45	Контрольная	Стол ОТК		

2.5 Проектирование операции

2.5.1 Выбор станка.

В курсовой работе в зависимости от задания подробно разрабатывается одна или две операции. Для их выполнения выбирается станок. Тип станка определяется характером операции (токарный, сверлильный, фрезерный и т. п.). Модель токарного станка выбирается по диаметру и длине обрабатываемой заготовки, модель сверлильного станка – по диаметру сверла и размеру стола.

В данном разделе приводится характеристика станка, описывается его рабочая зона. В описании указываются форма и размеры рабочей зоны, её открытость. Под открытостью рабочей зоны понимается возможность доступа в неё рабочих органов манипулятора сверху, спереди или сбоку. Открытость рабочей зоны определяет тип промышленного робота.

2.5.2 Выбор системы координат детали и инструмента.

Координатная система детали строится на её технологических базах.

На токарных операциях начало координат (нуль детали) размещают на одном из торцов детали, ось Z направляют по её оси, а ось X – перпендикулярно оси Z (рисунки 1 и 2, б).

На сверлильных операциях начало координат размещают на верхней плоскости детали (рисунок 2, а, в). Такое расположение нуля детали упрощает программирование обработки.

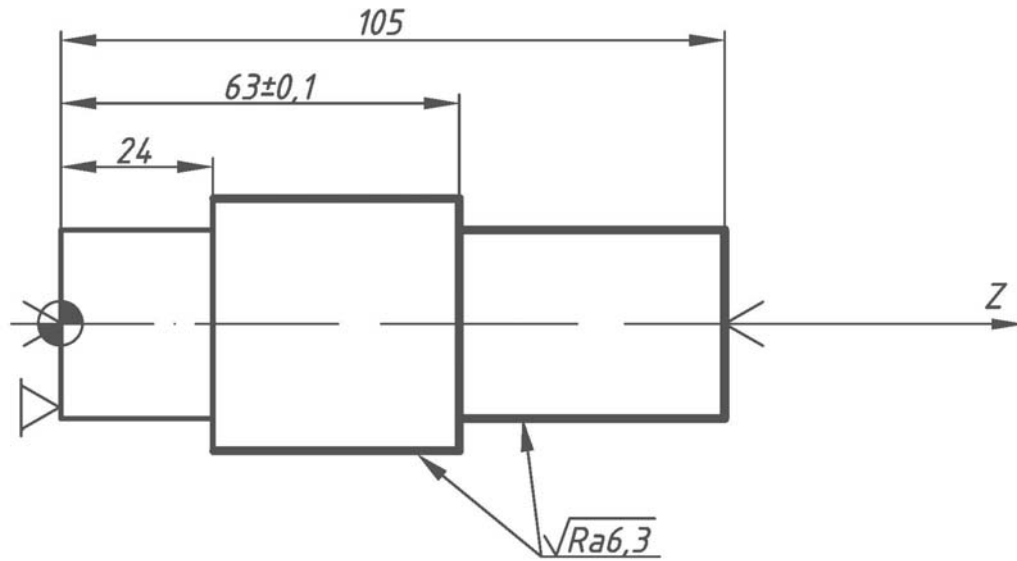


Рисунок 1 – Система координат вала

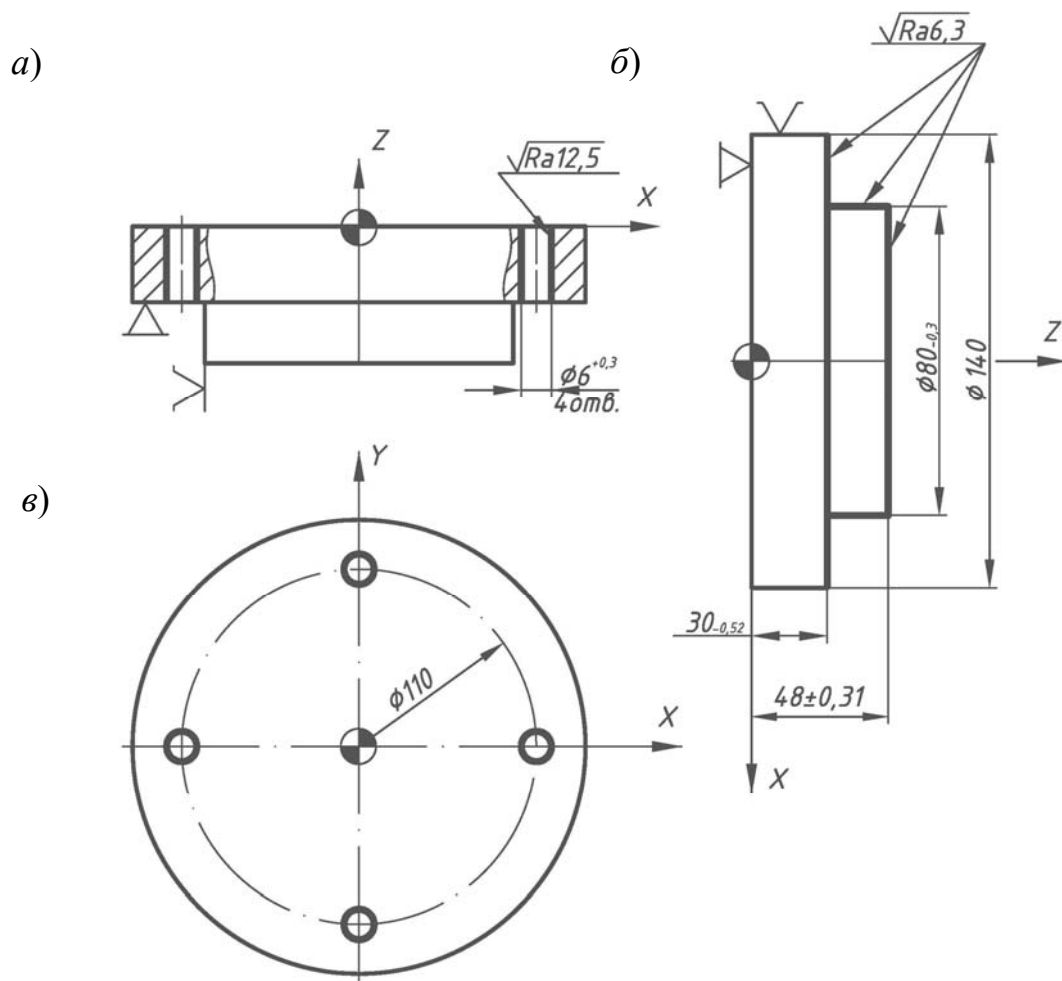


Рисунок 2 – Система координат диска

При обработке деталей на токарных станках начало системы координат инструмента (нуль инструмента) выбирается таким образом, чтобы инструмент не препятствовал установке и снятию детали, а деталь не препятствовала повороту револьверной головки (рисунок 3).

При обработке деталей на сверлильных станках начало системы координат выбирают на торце шпинделя, а расстояние от торца шпинделя до детали определяют по наиболее длинному инструменту, установленному в револьверной головке.

2.5.3 Расчёт режимов резания и времени выполнения операции.

Для расчёта режимов резания из таблицы 1 выписываются все технологические переходы проектируемой операции.

Для каждого перехода (режущего инструмента) вычерчивается схема обработки (см. рисунок 3) с обозначением траектории перемещения режущего инструмента и опорных точек, составляется таблица координат опорных точек (таблица 2).

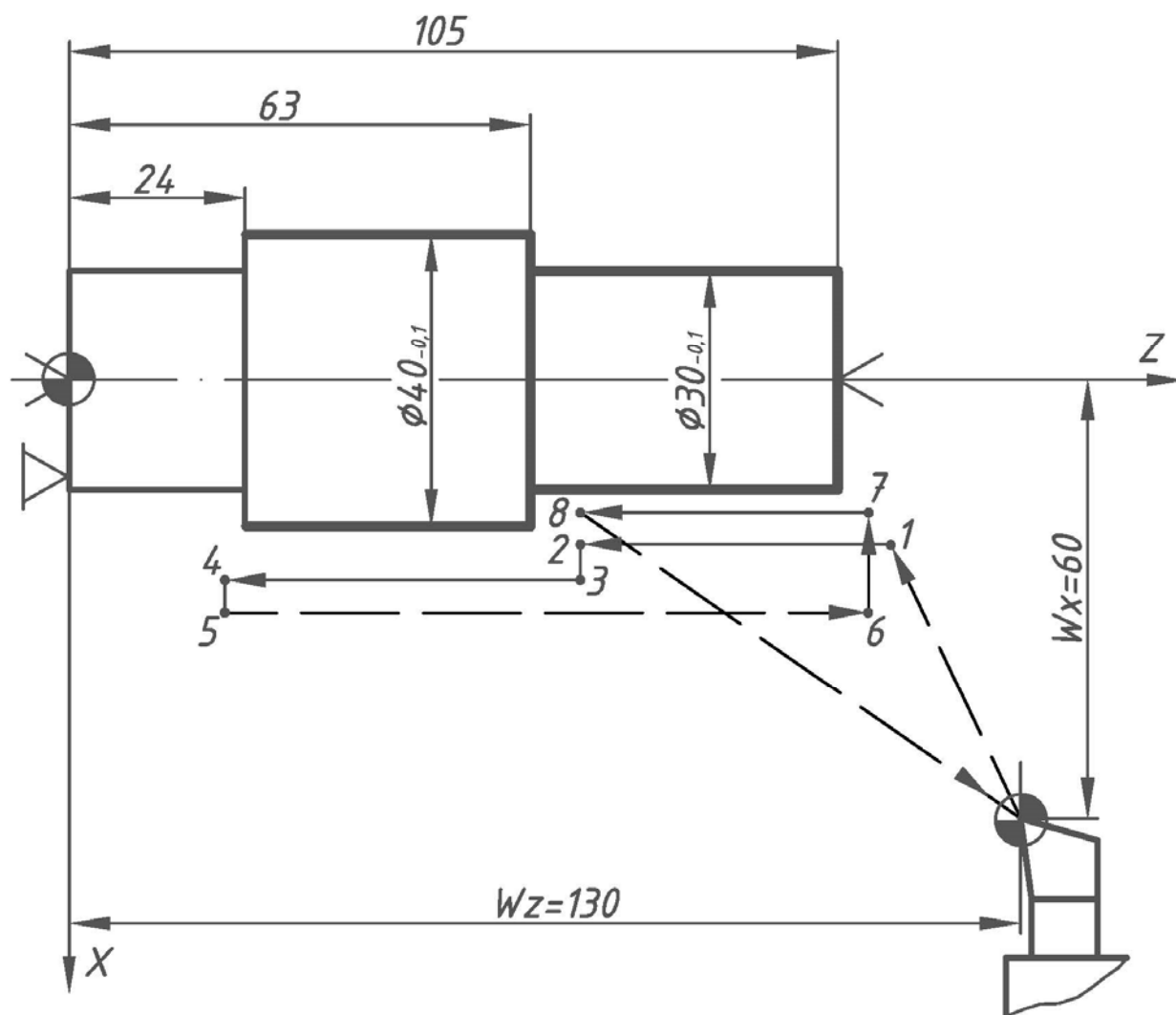


Рисунок 3 – Схема обработки вала

Таблица 2 – Координаты опорных точек вала

В миллиметрах

Номер точки	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0
Координата X	60	33	33	40	40	44	44	32	32	60
Координата Z	130	108	63	63	22	22	108	108	63	130
<i>Примечание</i> – За координату X принят диаметр вала										

Расчёт режимов резания начинается с определения глубины резания.

Глубину резания можно определить, учитывая величину припуска и маршрутную технологию (черновая обработка, чистовая обработка, окончательная обработка и т. д.) обработки поверхности. При этом на чистовую и финишную обработку оставляется, как правило, 20 %...30 % общего припуска.

Подача на оборот S_o (подача на зуб S_z при фрезеровании) выбирается в зависимости от глубины резания по справочникам. Справочные значения подачи корректируются и принимаются окончательно по паспортным данным станка выбранной модели. Следует помнить, что подачи для резцов, оснащённых трёхгранными пластинками, ограничиваются их прочностью $S_{\max} \leq 0,5$ мм/об.

Скорость резания V_p рассчитывается по формулам теории резания или нормативам. По полученному значению скорости определяется расчетная частота вращения шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \quad (1)$$

где D – диаметр детали или инструмента.

Полученное значение частоты вращения корректируется (принимается меньшее) по паспорту станка и выбирается окончательно. По принятой частоте вращения определяется действительная скорость резания:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (2)$$

Минутная подача рассчитывается по формуле

$$S_m = S_o \cdot n. \quad (3)$$

Для вычисления суммарного времени выполнения рабочих и холостых ходов составляется таблица 3. При этом величины рабочих и холостых ходов рассчитываются как разности координат соответствующих опорных точек (см. таблицу 2).

Таблица 3 – Время выполнения рабочих и холостых ходов при обработке вала

Точки начала и конца перемещения	Длина рабочего хода $L_{p.x}$, мм	Минутная подача S_m , мм/мин	Длина холостого хода $L_{x.x}$, мм	Скорость быстрого перемещения $V_{x.x}$, мм/мин	Время, мин
0–1	–	–	48,7	5366	0,009
1–2	45	400	–	–	0,112
2–3	3,5	400	–	–	0,009
3–4	41	400	–	–	0,102
4–5	2	400	–	–	0,005
5–6	–	–	86	4800	0,018
6–7	–	–	6	2400	0,003
7–8	45	225	–	–	0,200
8–0	–	–	79	5366	0,015

Время выполнения рабочих и холостых ходов определяется по следующим формулам:

$$t_{p.x} = \sum \frac{L_{p.x}}{S_m}; \quad t_{x.x} = \sum \frac{L_{x.x}}{V_{x.x}}. \quad (4)$$

Время выполнения рабочих ходов

$$t_{p.x} = 0,112 + 0,009 + 0,102 + 0,005 + 0,200 = 0,428 \text{ мин.}$$

Время выполнения холостых ходов

$$t_{x.x} = 0,009 + 0,018 + 0,003 + 0,015 = 0,045 \text{ мин.}$$

Время выполнения всей операции

$$t_o = \sum^n t_{p.x.i} + \sum^n t_{x.x.i}, \quad (5)$$

где n – количество технологических переходов в операции.

2.6 Выбор промышленного робота

В роботизированных технологических комплексах механической обработки, как правило, используются 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.

Портальные роботы применяют для обслуживания станков с открытой ра-

бочей зоной сверху: токарных, шлифовальных и т. п.

После определения типа робота выбирают его технические характеристики, которые приведены в [1, 4].

Грузоподъёмность. Номинальная грузоподъёмность робота должна превышать массу заготовки не менее чем на 10 %.

Система координат и число степеней подвижности. Для обслуживания металлорежущих станков обычно применяются напольные роботы с цилиндрической системой координат или порталные роботы с прямоугольной (пространственной или плоской) или цилиндрической системой координат. Оптимальным числом степеней подвижности для роботов, обслуживающих станки, является 3...5.

Наибольший вылет руки R . Наибольший вылет руки робота должен обеспечивать доставку заготовки в рабочую зону станка: на линию центров или стол станка. Он должен быть больше, чем расстояние от оси поворота робота до рабочей зоны станка.

Наименьший вылет руки. При наименьшем вылете руки робот должен иметь возможность совершать все движения с закреплённой заготовкой.

Высота робота H . Высота робота H должна быть больше, чем высота центров у токарных и шлифовальных станков или высота стола у сверлильных или фрезерных станков от пола. Перемещение манипулятора по высоте (по оси Z) должно быть больше, чем расстояние от рабочей плоскости тактового стола (конвейера) до линии центров станка.

Погрешность позиционирования. Погрешность позиционирования определяет точность установки детали в центра, патрон, приспособление. Поэтому не рекомендуется выбирать роботы с погрешностью позиционирования более ± 2 мм – для обслуживания токарных станков и с погрешностью более ± 1 мм – для сверлильных и фрезерных.

Роботы с небольшой высотой устанавливают на специальные подставки или фундаменты.

После выбора модели робота в пояснительной записке приводится его полная техническая характеристика [1, 4, 7].

2.7 Выбор вспомогательного оборудования

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

В курсовой работе студенты выбирают для роботизированного комплекса конструкцию тактового стола или шагового транспорта, которые обеспечивают межоперационное транспортирование и подачу заготовок в ориентированном виде в рабочую зону робота. Конструкции и размеры тактовых столов приведены в [1]. Конкретная модель стола выбирается по габаритным размерам и массе транспортируемых заготовок.

Вместе с этим разрабатывается конструкция приспособления, которое закрепляется на пластинах стола и служит для перемещения заготовок в ориентированном виде. Приспособление должно обеспечивать устойчивое положение заготовок и свободный доступ схвата робота к поверхностям, выбранным для закрепления. Некоторые типовые конструкции таких приспособлений представлены на рисунке 4.

В этом же разделе приводится техническая характеристика тактового стола или конвейера.

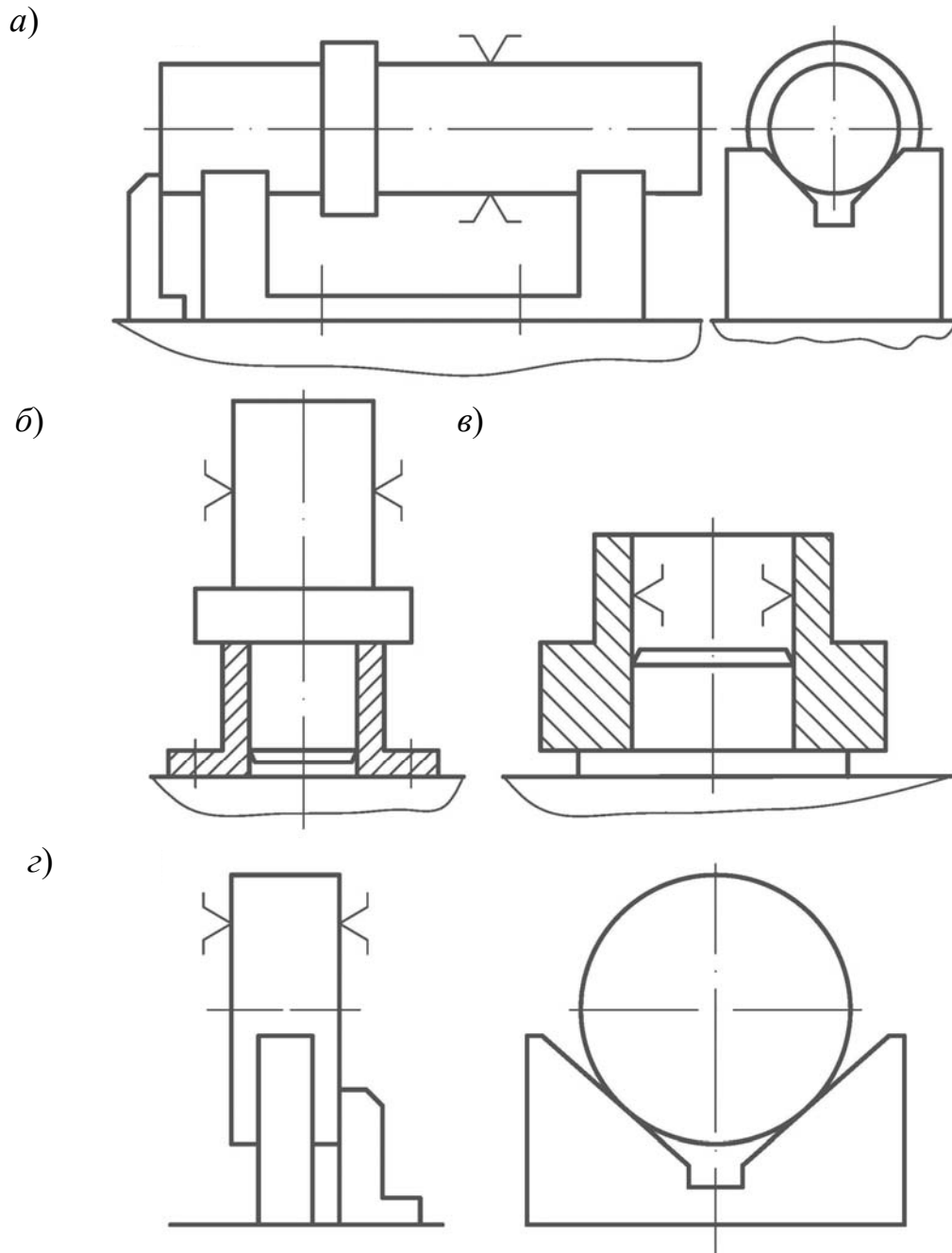


Рисунок 4 – Способы установки деталей на тактовых столах

2.8 Выбор компоновки РТК

Роботизированные технологические комплексы, применяемые в металлообработке, могут иметь линейную или круговую компоновку [6].

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

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

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

Роботизированные технологические комплексы могут иметь совмещённые или отдельные вход и выход.

При совмещённом входе и выходе устанавливают один тактовый стол, который обеспечивает подачу заготовок в РТК и приём обработанных деталей.

При отдельном входе и выходе устанавливают два тактовых стола. Один из них обеспечивает подачу заготовок в РТК, а второй – приём обработанных деталей.

Типовые компоновки РТК представлены на рисунках 5–8.

Компоновка РТК в двух проекциях вычерчивается на листе формата А1 в масштабе 1:10 или 1:20.

2.9 Построение и расчет элементов траектории захватного устройства ПР

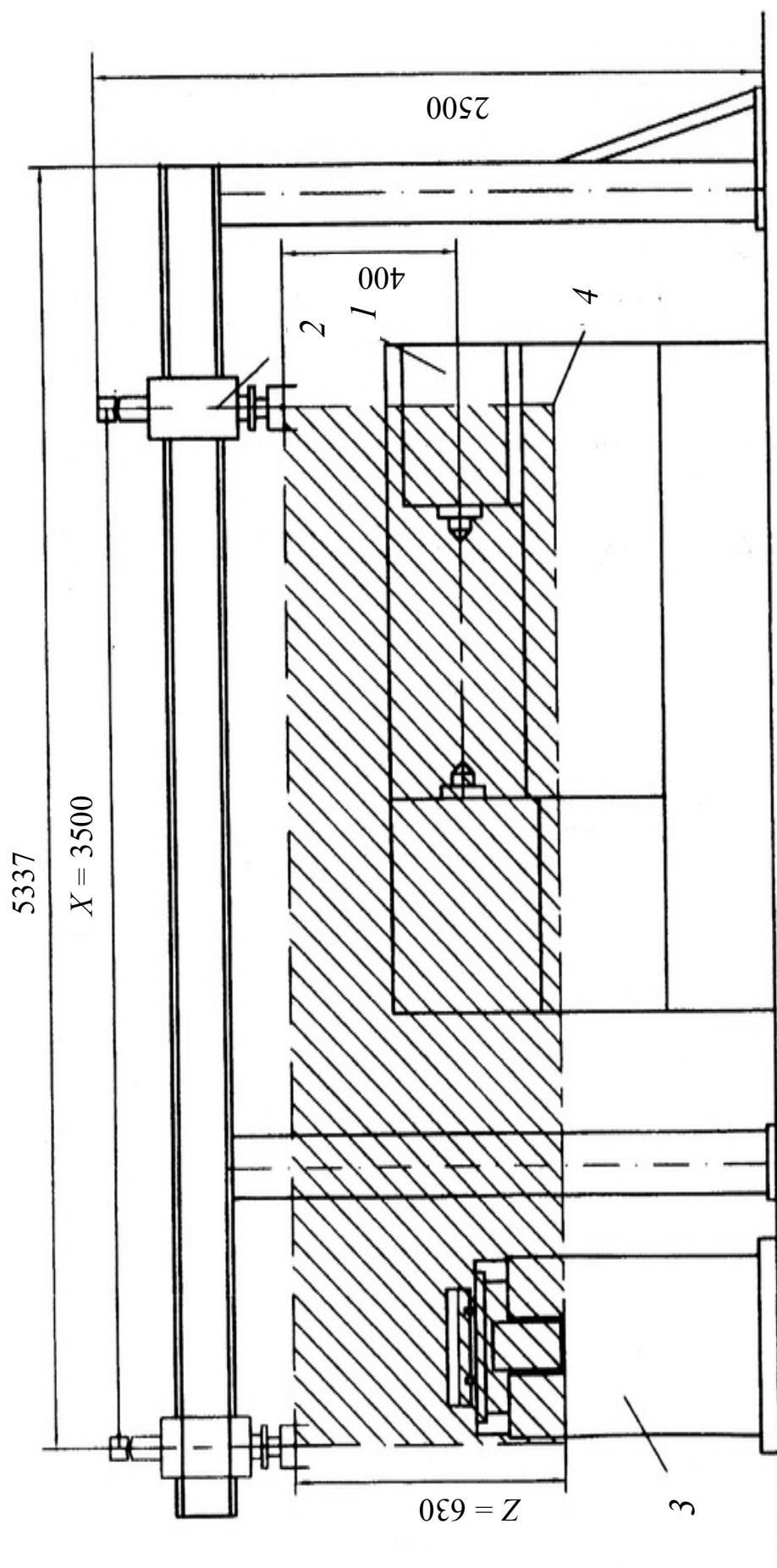
Построение траектории удобно выполнять графическим изображением пути перемещения геометрического центра захватного устройства ПР. Начало траектории связано с нулевой (исходной) точкой, определяемой в соответствии с исходным положением ПР (см. рисунки 7 и 8).

Зная положение нулевой точки, последовательно вычерчивают элементы траектории, как это показано на рисунке 9 для компоновки кругового типа (см. рисунки 7 и 8).

На схемах штриховыми линиями указаны элементы траектории перемещения захватного устройства без заготовки, сплошными – с заготовкой.

Размеры элементов траектории и соответствующие комментарии приводят в таблице, форма которой может соответствовать форме таблицы 4.

В таблицу 4 помещена информация о фрагментах траектории, представленных на рисунке 9.



1 – станок с ЧПУ; 2 – ПР; 3 – шаговый транспортер; 4 – рабочая зона ПР

Рисунок 5 – Компонент РТК линейного типа (вид спереди)

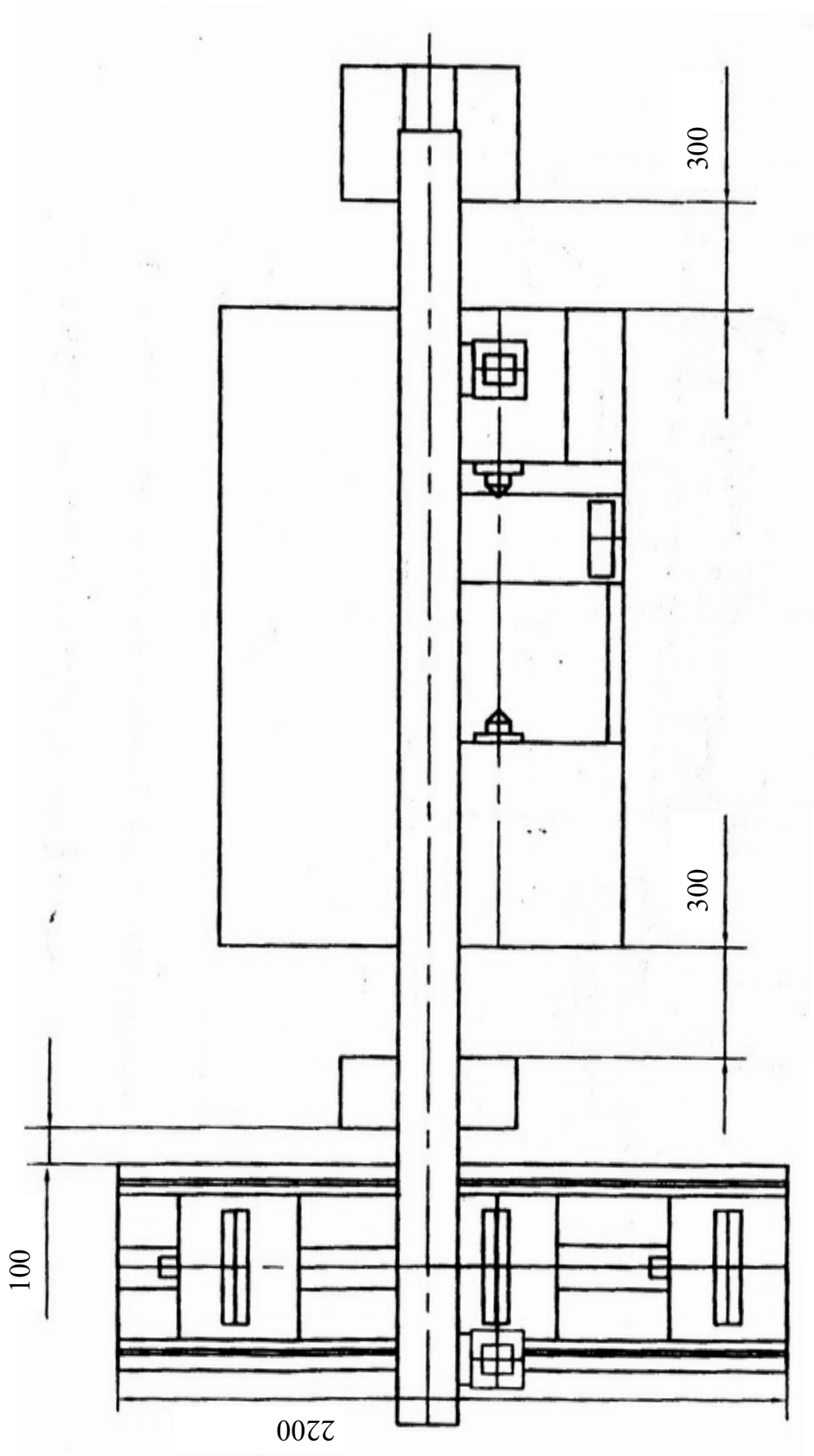
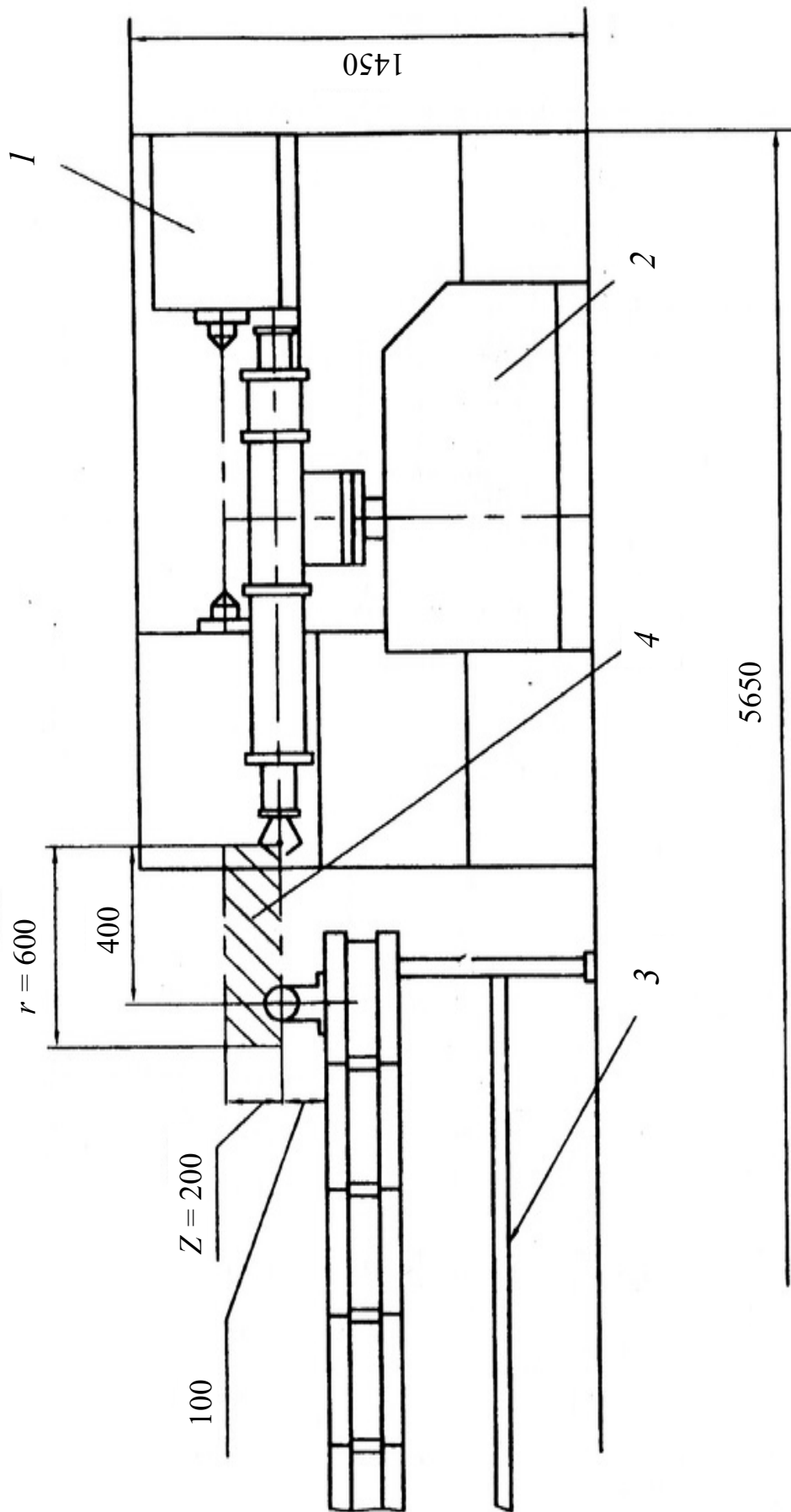


Рисунок 6 – Компоновка РТК линейного типа (вид сверху)



1 – станок с ЧПУ; 2 – ПР; 3 – тактовый стол; 4 – рабочая зона ПР

Рисунок 7 – Компоновка РТК кольцевого типа (вид спереди)

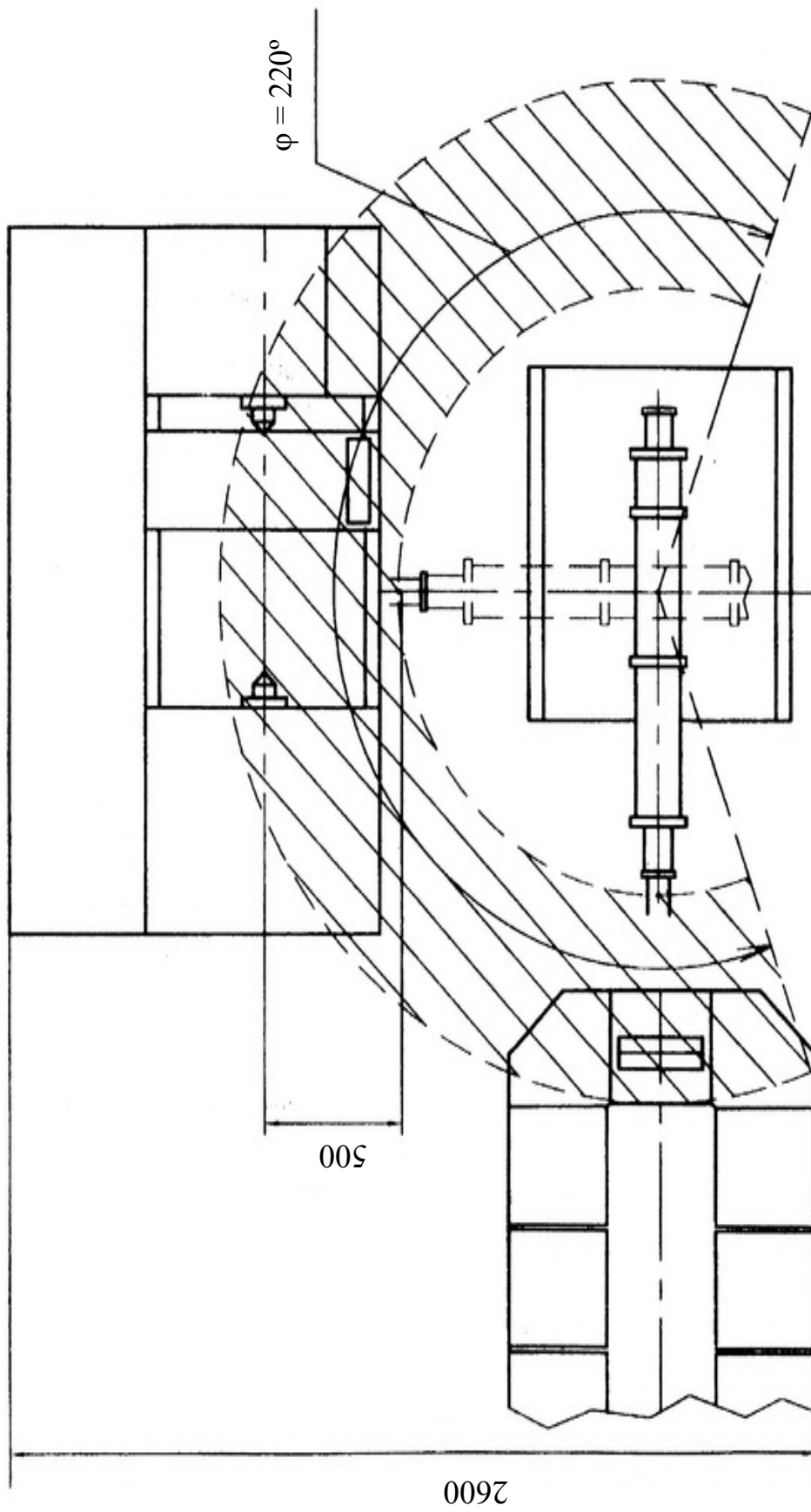


Рисунок 8 – Компоновка РГК кольцевого типа

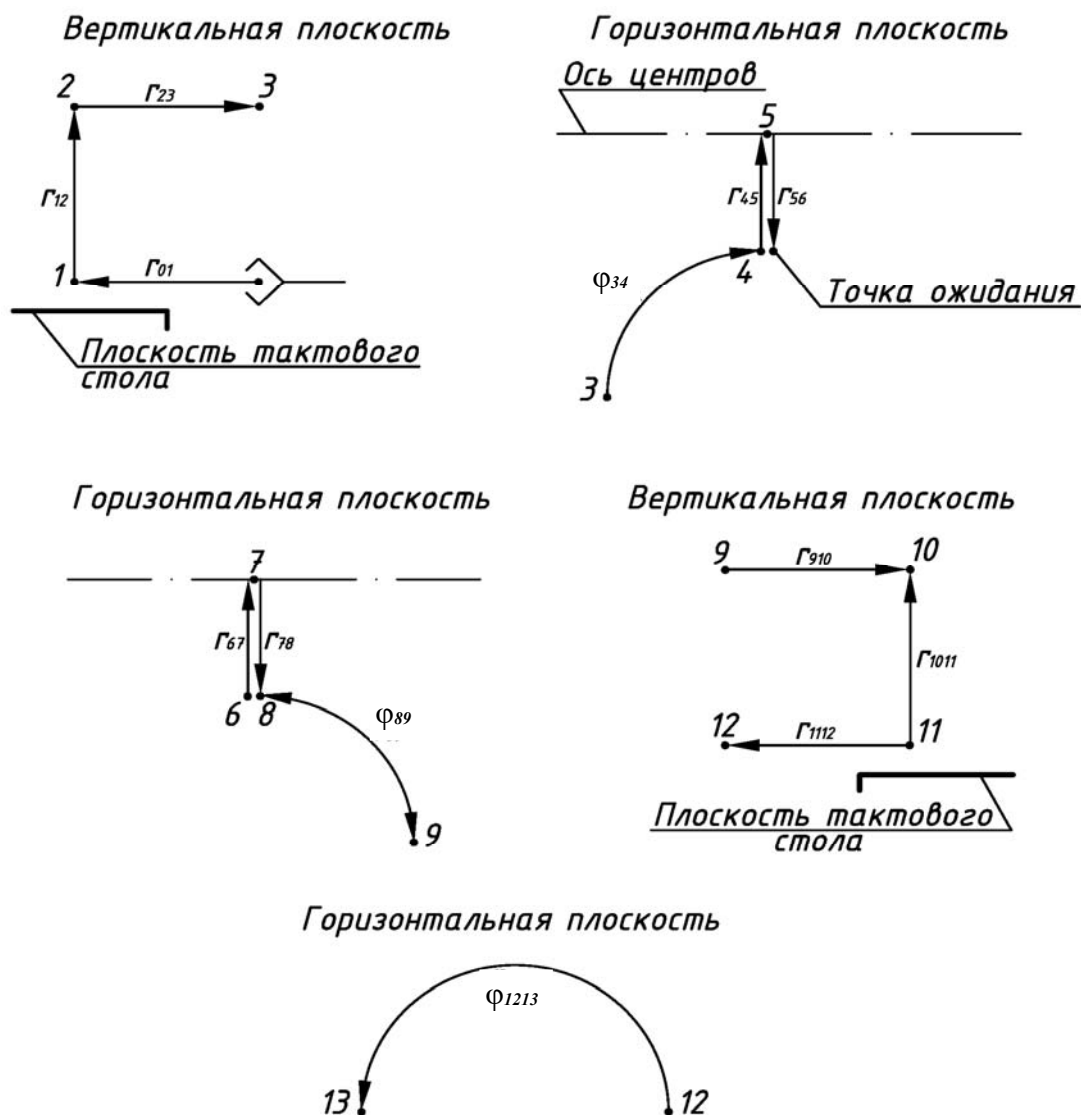


Рисунок 9 – Элементы траектории робота

Таблица 4 – Элементы траектории перемещения захватного устройства (схвата)

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения, мм, град
r_{01}	Перемещение руки ПР вперед	400
(1)	Зажим заготовки схватом ПР	—
z_{12}	Перемещение руки ПР вверх	200
r_{23}	Перемещение руки ПР назад	400
φ_{34}	Поворот руки ПР по часовой стрелке	90
r_{45}	Перемещение руки ПР вперед	500
(5)	Разжим заготовки	—
r_{56}	Перемещение руки ПР назад	400
(6)	Ожидание	—
r_{67}	Перемещение руки ПР вперед	500
...	...	...

2.10 Расчет допустимых скоростей перемещения заготовки

После построения и геометрического расчета траектории приступают к определению допустимых скоростей перемещения заготовок при обеспечении заданной точности позиционирования.

Для определения скорости линейного позиционирования (координата X (r)) в диапазоне перемещений $L_x = 0,05 \dots 0,8$ м (L_x – вылет руки ПР) может быть использована эмпирическая формула [9]

$$V_x = \frac{2L_x^4 \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, \quad (6)$$

где Δl – погрешность позиционирования, мм;

M – масса объекта манипулирования (заготовки, детали), кг.

С дальнейшим увеличением L_x возможности возрастания V_x уменьшаются. При $L_x = 0,8 \dots 2$ м

$$V_x = \frac{1,6L_x^4 \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}. \quad (7)$$

Скорость вертикального перемещения руки ПР (координата Z) обычно неодинакова при движении вверх и вниз. Однако при правильном уравнивании масс эти различия невелики, и скорость можно рассчитать по формуле

$$V_z = \frac{\alpha_z \sqrt{L_z} \sqrt[4]{\Delta l}}{\sqrt[3]{M}}, \quad (8)$$

где α_z – коэффициент, зависящий от конструкции привода, при гидравлическом приводе $\alpha_z = 3$;

L_z – длина пути при вертикальном перемещении, м.

Для определения допустимой угловой скорости ω при повороте руки ПР относительно вертикальной оси может быть использована формула

$$\omega = \frac{0,5 \sqrt{\varphi} \sqrt[4]{\delta}}{\sqrt[3]{(2L_x)^4}}, \quad (9)$$

где ω – угловая скорость, рад/с;

φ – угол поворота руки, рад;

δ – погрешность углового позиционирования, с.

2.11 Построение циклограммы РТК

Циклограмма функционирования РТК включает в выбранной последовательности все переходы (действия), выполняемые основным и вспомогательным оборудованием, а также ПР, необходимые для обработки заготовки.

Циклограмму строят для:

- быстрого определения рабочего цикла T_p ;
- определения значения цикловой производительности $Q_{\text{ц}}$;
- установления возможности сокращения T_p за счет совмещения времени выполнения отдельных переходов и сокращения длительности несовмещенных переходов и т. д.

Прежде чем приступить к построению циклограммы, необходимо:

- определить все движения (переходы), выполняемые ПР, основным и вспомогательным оборудованием;
- установить последовательность выполнения всех движений;
- определить время выполнения каждого движения по следующим формулам:

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i}; \quad t_i = \frac{l_i}{V_i}, \quad (10)$$

где φ_i – углы поворота механизмов;

l_i – линейные перемещения механизмов;

ω_i , V_i – скорости углового и линейного перемещений соответственно.

В формулы (10) подставляется меньшее из двух (номинального и расчётного) значений скоростей.

Результаты расчётов времени работы робота представляются в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Время на выполнение перемещений робота

Элемент траектории	Линейное перемещение l , м	Скорость линейного перемещения V , м/с	Угловое перемещение φ , град/с	Скорость углового перемещения ω , град/с	Время, с
1	2	3	4	5	6
r_{01}	0,4	0,5			0,08
(1)					1,0
$z_{1.2}$	0,2	0,1			2,0
$r_{2.3}$	0,4	0,5			0,08
$\varphi_{3.4}$			90	90	1,0
$r_{4.5}$	0,5	0,5			1,0
(5)					1,0
$r_{5.6}$	0,5	0,5			1,0

Окончание таблицы 5

1	2	3	4	5	6
$r_{6.7}$	0,5	0,5			1,0
(7)					1,0
$r_{7.8}$	0,5	0,5			1,0
$\varphi_{8.9}$			90	90	1,0
$r_{9.10}$	0,4	0,5			0,08
$z_{10.11}$	0,2	0,1			2,0
(11)					1,0
$r_{11.12}$	0,4	0,5			0,08
$\varphi_{12.13}$			180	0	2,0
Σ					16,32

После оформления таблицы 5 приступают к построению циклограммы работы комплекса.

При построении циклограммы в вертикальной колонке построчно перечисляются оборудование РТК и характер совершаемых им движений (по горизонтали, в выбранном масштабе), откладывается время выполнения каждого движения.

На циклограмме следует указать длительность рабочего цикла.

На рисунке 10 в качестве примера представлена циклограмма РТК, компоновка которого изображена на рисунках 7 и 8.

Построение циклограммы удобно выполнять (для данной курсовой работы это допустимо) с использованием миллиметровой бумаги.

На циклограмме необходимо указать масштаб её построения, например, 1 с = 10 мм.

2.12 Расчёт показателей РТК

В курсовой работе выполняется расчёт следующих показателей работы РТК:

- часовая цикловая производительность Q_u ;
- коэффициент относительной загруженности ПР $K_{зр}$;
- коэффициент использования ПР $K_{ур}$;
- коэффициент использования станка $K_{ис}$;
- коэффициент нагруженности ПР $K_{нр}$;
- режим работы робота.

Часовую цикловую производительность определяют по формуле

$$Q_u = \frac{3600}{T_u}, \quad (11)$$

где T_u – время цикла работы РТК (можно найти по циклограмме).

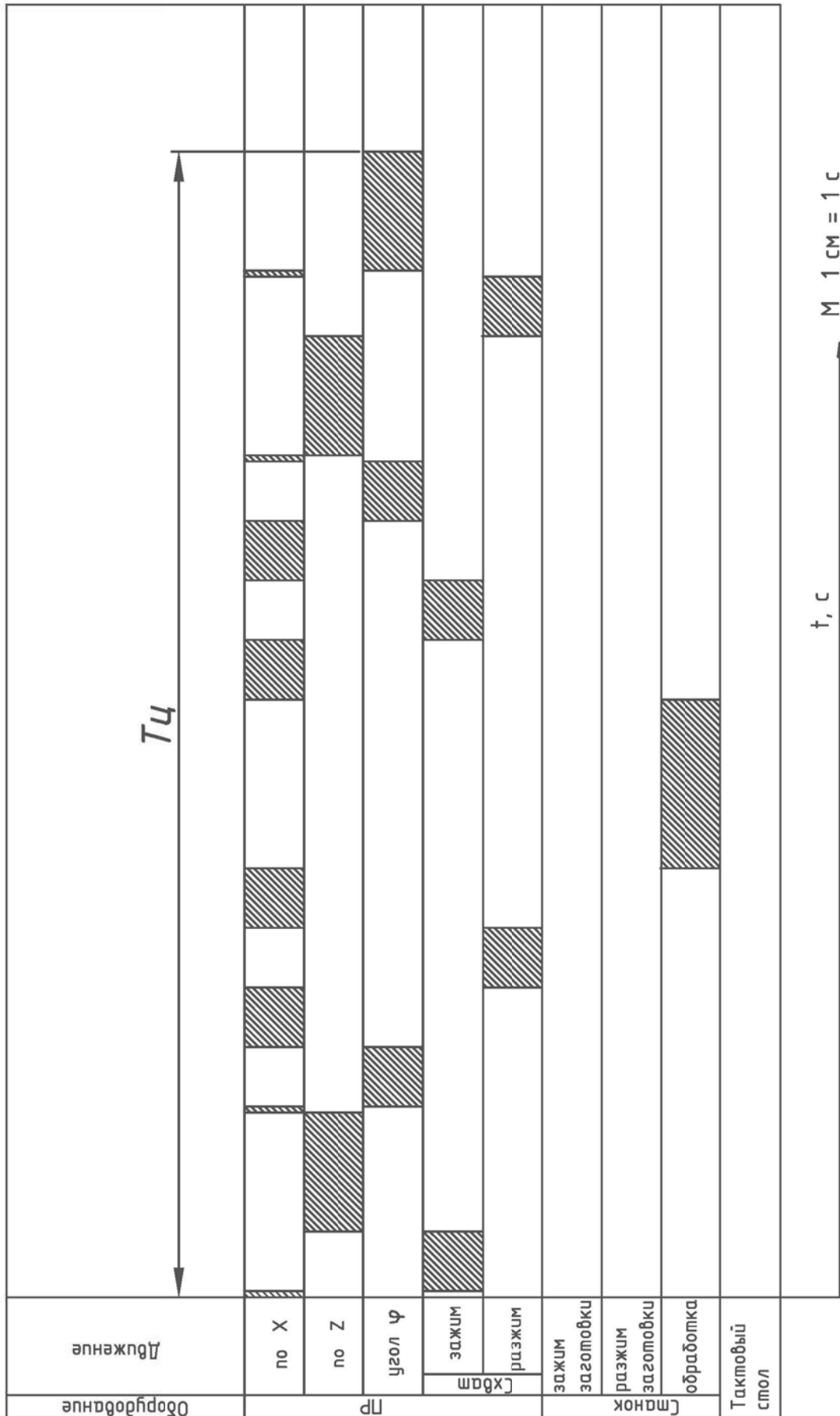


Рисунок 10 – Циклограмма РТК

Коэффициент относительной загрузки ПР

$$K_{cp} = \frac{P_{cp}}{P}, \quad (12)$$

где P_{cp} , P – средние значения рабочей нагрузки и номинальной грузоподъемности робота соответственно.

Коэффициенты использования K_{up} и K_{uc} определяют по формулам

$$K_{up} = \frac{T_{np}}{T_{ц}}; \quad K_{uc} = \frac{t_o}{T_{ц}}, \quad (13)$$

где T_{np} – время работы ПР за рабочий цикл $T_{ц}$ (принимается по таблице 5);
 t_o – время работы станка за рабочий цикл $T_{ц}$ (определяется по формуле (5)).

Режим работы робота определяют по таблице 3 [4], используя коэффициенты K_{cp} и K_{np} .

2.13 Заключение

В данном разделе пояснительной записки следует отметить:

- преимущества компоновочного варианта РТК по сравнению с возможными;
- возможность сокращения времени рабочего цикла T_p ;
- соответствие режима работы ПР в составе проектируемого РТК области применения РТК.

Список литературы

- 1 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 1. – 656 с.
- 2 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
- 3 Режимы резания металлов: справочник / Под ред. Ю. В. Барановского. – Москва: Машиностроение, 1972. – 408 с.
- 4 **Козырев, Ю. Г.** Промышленные роботы : справочник / Ю. Г. Козырев. – Москва: Машиностроение, 1988. – 376 с.
- 5 Дипломное проектирование по технологии машиностроения / Под общ. ред. В. В. Бабука. – Минск : Вышэйшая школа, 1979. – 464 с.
- 6 **Бурдаков, С. Ф.** Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учебное пособие / С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев. – Москва: Высшая школа, 1986. – 264 с.
- 7 **Козырев, Ю. Г.** Роботизированные производственные комплексы / Ю. Г.

Козырев, А. А. Кудинова. – Москва: Машиностроение, 1987. – 272 с.

8 Организационно-технологическое проектирование ГПС / Под ред. С. П. Митрофанова. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 294 с.

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

10 **Довбня, Н. М.** Роботизированные технологические комплексы в ГПС / Н. М. Довбня, А. Н. Кондратьев, Е. И. Юревич. – Ленинград: Машиностроение, 1990. – 303 с.

11 **Минаков, А. П.** Проектирование и производство заготовок: учебное пособие / А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 308 с.

12 **Клепиков, В. В.** Автоматизация производственных процессов: учебное пособие / В. В. Клепиков, Н. М. Султан-заде, А. Г. Схиртладзе. – Москва: ИНФРА-М, 2021. – 208 с.

13 Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник / В. А. Скрыбин [и др.]. – Москва: Курс; ИНФРА-М, 2019. – 320 с.