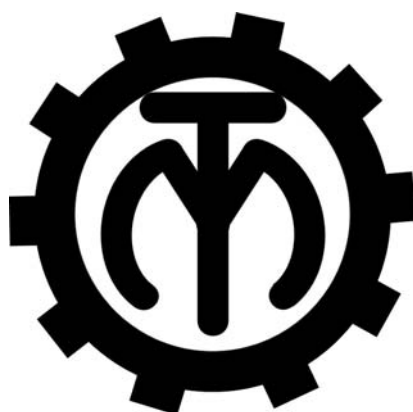


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

# ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

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



Могилев 2020

УДК 621.01:65.011.56  
ББК 34.5:32.965  
В 93

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «30» июня 2020 г.,  
протокол № 16

Составители: канд. техн. наук, проф. А. А. Жолобов;  
ассистент Е. Ю. Демиденко

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

В методических рекомендациях изложены требования к объему, содержанию и оформлению курсового проекта по дисциплине «Высокоэффективные технологии и оборудование современных производств». Даны рекомендации по выполнению всех разделов проекта.

Учебно-методическое издание

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

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 36 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, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2020

## Содержание

1 Цели и задачи курсового проектирования.....	4
2 Объем и содержание курсового проекта.....	5
3 Пояснительная записка.....	6
3.1 Требования к оформлению записки.....	6
3.2 Введение.....	8
3.3 Назначение и конструкция детали.....	8
3.4 Анализ технологичности конструкции детали.....	9
3.5 Определение типа и организационной формы производства.....	10
3.6 Выбор заготовки.....	11
3.7 Разработка технологического процесса.....	13
3.8 Программирование обработки.....	14
3.9 Расчет норм времени для операций, выполняемых на станках с ЧПУ.....	18
3.10 Роботизированный технологический комплекс.....	23
3.11 Заключение.....	29
4 Обозначение чертежей.....	30
Список литературы.....	31
Приложение А.....	32
Приложение Б.....	33
Приложение В.....	34
Приложение Г.....	35
Приложение Д.....	36
Приложение Е.....	37

## **1 Цели и задачи курсового проектирования**

Цель курсового проектирования – научить студентов разрабатывать прогрессивные технологические процессы механической обработки деталей машин на основе современных достижений науки и техники.

Задачи курсового проектирования:

- выбор и обоснование рационального метода получения заготовки;
- разработка прогрессивного технологического процесса изготовления детали;
- детализированное проектирование операции обработки на станке с ЧПУ;
- проектирование роботизированного технологического комплекса.

Следует отметить, что в ходе проектирования рекомендуется разработать на основе анализа рациональный технологический процесс, использовать современное высокопроизводительное оборудование, прогрессивные конструкции различных автоматических устройств и режущих инструментов.

## 2 Объем и содержание курсового проекта

Темой курсового проекта может быть технологический процесс изготовления вала (шестерни, корпуса и т. п.).

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка содержит следующие разделы:

- титульный лист;
- задание на курсовое проектирование;
- содержание;
- введение;
- назначение и конструкция детали;
- анализ технологичности конструкции детали;
- выбор заготовки;
- разработка технологического процесса;
- программирование обработки;
- роботизированный технологический комплекс;
- заключение.

Объем графической части проекта составляет четыре листа формата А1.

Графическая часть, как правило, содержит следующие материалы:

- чертеж детали (формат А2);
- чертеж заготовки (формат А2);
- маршрутная карта технологического процесса (формат А1);
- расчетно-технологическая карта (формат А1);
- роботизированный технологический комплекс (формат А1).

Объем и содержание проекта на основе методических рекомендаций определяет руководитель и записывает в задание на курсовое проектирование.

## **3 Пояснительная записка**

### **3.1 Требования к оформлению записки**

Текстовая часть пояснительной записки предоставляется отпечатанной на принтерном устройстве ЭВМ на листах формата А4 в соответствии с ГОСТ 2.105–95.

Первым листом документа является титульный лист, вторым – лист задания на курсовое проектирование, третьим – первый лист содержания документа с основной надписью, выполненной по форме 2 ГОСТ 2.104–2006. Все последующие листы, кроме чертежей, выполняются с основной надписью 2а того же ГОСТа. В графу 2 основной надписи записывается код (обозначение) документа. Порядок кодирования чертежей и пояснительной записки приведен в разд. 4 «Обозначение чертежей».

Слово «Содержание» записывается в виде заголовка (симметрично тексту) с прописной буквы. Названия разделов, включенных в содержание, записывают строчными буквами, начиная с прописной буквы.

Расстояние от рамки до границ текста в начале и в конце строки – не менее 3 мм.

Расстояние от верхней или нижней строки текста до верхней или нижней линии рамки должно быть не менее 10 мм.

Текст записки делят на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Разделы должны иметь заголовки. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, строчными буквами, полужирным шрифтом размером на 1–2 пункта больше, чем в основном тексте, не подчеркивая.

Заголовки подразделов печатают с абзацного отступа строчными буквами (кроме первой прописной) полужирным шрифтом размером шрифта основного текста.

Пункты, как правило, заголовков не имеют. При необходимости заголовков пункта печатают с абзацного отступа полужирным шрифтом размером шрифта основного текста.

Расстояние между заголовками (за исключением заголовка пункта) и текстом должно составлять 2 межстрочных интервала. Если между двумя заголовками текст отсутствует, то расстояние между ними устанавливается в 1,5–2 межстрочных интервала.

Каждую структурную часть документа следует начинать с нового листа. Страницы нумеруются арабскими цифрами, которые проставляют в последней графе основной надписи листа без точки в конце. Каждая из формул пишется в документе на отдельной строке симметрично основному тексту. Расчеты,

выполненные по приведенной формуле, записываются на следующей строке. Промежуточные результаты не записываются.

Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно под формулами. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формулах. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

**Пример** – Минутная подача  $S_m$ , мм/мин, рассчитывается по формуле

$$S_m = S_o \cdot n, \quad (3.1)$$

где  $S_o$  – подача на оборот детали, мм/об;

$n$  – частота вращения детали, мин<sup>-1</sup>.

Иллюстрации (пояснительные рисунки, схемы) должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. Их следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой.

Иллюстрации при необходимости могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных и располагают симметрично полю иллюстрации, например: Рисунок 3.1 – Схема расположения операционных припусков.

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблицы в соответствии с рисунком 3.1.

Таблицы слева и справа, снизу и сверху ограничивают линиями. Линии, ограничивающие формат листа, не могут служить линиями таблицы.

Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела.

Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Таблица 3.3 – Химический состав стали 45

В процентах

C	Si	Mn	P	S
0,4...0,5	0,17...0,37	0,50...0,80	0,045	0,045

Рисунок 3.1 – Вид таблицы, используемой в пояснительной записке

Таблицу, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице.

Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны документа на отдельной странице.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, ее делят на части, помещая одну часть под другой или рядом, при этом в каждой части

таблицы повторяют ее головку и боковик. При делении таблицы на части допускается ее головку или боковик заменять соответственно номером граф и строк. При этом нумеруют арабскими цифрами графы и (или) строки первой части таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут «Продолжение таблицы» с указанием её номера.

Если все показатели в графах таблицы выражены в одной и той же единице физической величины, то ее обозначение необходимо помещать над таблицей справа, а при делении таблицы на части – над каждой ее частью.

### ***3.2 Введение***

Во введении приводятся особенности выполняемого проекта, технический уровень используемых станков и инструментов, станочных и контрольных приспособлений, вспомогательного инструмента. Дается авторская оценка уровня технологических и конструкторских разработок, их особенностей и отличительных характеристик.

Введение, как правило, не должно превышать одной страницы текста.

### ***3.3 Назначение и конструкция детали***

Раздел начинается с определения класса деталей, к которому относится заданная в проекте (работе) деталь (класс валов, полых цилиндров, зубчатых колес, корпусов, рычагов, вилок и т. п.).

Далее дается описание работы и назначение узла в машине и детали в узле (при наличии соответствующей информации). При этом указываются основные и вспомогательные конструкторские базы, исполнительные поверхности. Здесь же анализируются допуски на размеры, форму и взаимное расположение поверхностей детали, указывается, почему к этим поверхностям предъявляются такие требования. При необходимости данный анализ сопровождается эскизами.

В этом же разделе описывается вид термической обработки детали и цель ее проведения.

Заканчивается раздел таблицами химического состава и механических свойств материала детали.



### 3.4 Анализ технологичности конструкции детали

Анализ технологичности является одним из важных этапов в разработке технологического процесса, от которого зависят его основные технико-экономические показатели: металлоемкость, трудоемкость, себестоимость.

Анализ технологичности проводится, как правило, в два этапа: качественный анализ и количественный анализ.

Так, детали типа валов признаются технологичными, если они отвечают следующим требованиям:

- возможность максимального приближения формы и размеров заготовки к размерам и форме детали;
- наличие поверхностей, которые могут быть использованы для надёжного захвата детали рабочим органом манипулятора (робота);
- наличие поверхностей для базирования деталей на автоматических транспортных средствах (транспортёрах, тактовых столах и т. п.);
- наличие смещения центра тяжести вала по оси относительно его середины, что упрощает его ориентацию в автоматических ориентирующих устройствах;
- возможность вести обработку проходными резцами;
- возможность вести многоинструментальную обработку;
- уменьшение диаметров поверхностей от середины к торцам вала или от одного торца к другому;
- возможность замены закрытых шпоночных пазов открытыми;
- жесткость вала, обеспечивающая достижение необходимой точности при обработке ( $l : d < 10 \dots 12$ ).

Зубчатые колеса признаются технологичными, если они имеют:

- центральное отверстие простой формы;
- простую конфигурацию наружного контура (наиболее технологичными являются зубчатые колеса простой формы без выступающих ступиц);
- ступицы с одной стороны, что позволяет обрабатывать на зубофрезерных станках по две заготовки;
- симметрично расположенную перемычку между венцом и ступицей, что уменьшает коробление детали при термообработке;
- возможность штамповки фигурной перемычки между венцом и ступицей;
- достаточное расстояние между венцами для обработки на зубофрезерных станках (для двухвенцовых зубчатых колес при модуле более 4 мм).

Корпусные детали признаются технологичными, если они имеют:

- простые (плоские или цилиндрические) формы обрабатываемых поверхностей;
- минимальное количество и объём напусков;
- поверхности, которые можно обработать с применением простых инструментов и минимальным количеством переходов;

– поверхности, которые можно использовать в качестве технологических баз (сочетание трёх взаимно перпендикулярных плоскостей, плоскость и два отверстия);

– поверхности для размещения зажимных элементов (прихватов) при закреплении заготовки в станочных приспособлениях и приспособлениях-спутниках;

– поверхности, обеспечивающие устойчивое положение заготовок (деталей) в автоматических транспортных системах;

– достаточные межосевые расстояния отверстий для обработки инструментами одной многошпиндельной головки;

– достаточную жёсткость для одновременной многоинструментальной обработки (концентрации переходов и операций).

Для всех классов деталей признаются нетехнологичными следующие элементы:

– глубокие отверстия ( $l : d > 5$ );

– отверстия, расположенные под углом к оси, плоскости и т. п.;

– глухие отверстия с резьбой;

– закрытые с одной или двух сторон пазы.

Не следует относить к нетехнологичным требования к точности размеров и формы поверхностей деталей и шероховатости, т. к. они вытекают из служебного назначения детали. В определенных случаях при использовании современного оборудования, инструментов и технологической оснастки некоторые ранее считавшиеся нетехнологичными поверхности могут переходить в разряд технологичных.

Количественная оценка технологичности выполняется согласно ГОСТ 14.201–83.

Заканчивается этот раздел выводами о технологичности конструкции детали.

### **3.5 Определение типа и организационной формы производства**

Тип производства определяется по годовому выпуску и массе деталей по таблице 3.1 [1].

Таблица 3.1 – Выбор типа производства по годовому выпуску и массе деталей

Тип производства	Количество обрабатываемых в год деталей одного наименования		
	массой свыше 30 кг	массой от 8 до 30 кг	массой до 8 кг
Единичное	До 5	До 10	До 100
Мелкосерийное	Св. 5 до 100	Св. 10 до 200	Св. 100 до 500
Среднесерийное	Св. 100 до 300	Св. 200 до 500	Св. 500 до 5000
Крупносерийное	Св. 300 до 1000	Св. 500 до 5000	Св. 5000 до 50 000
Массовое	Св. 1000	Св. 5000	Св. 50 000

В серийном производстве выпуск деталей каждого наименования распределяют партиями равномерно на весь календарный год. Размер партии рассчитывают по формуле

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi}, \quad (3.1)$$

где  $N$  – годовой объем выпуска;

$a$  – периодичность запуска деталей;

$\Phi$  – количество рабочих дней в году.

Рекомендуется следующая периодичность запуска деталей: крупных – 3...6 дн., средних – 12 дн., мелких – 24 дн. [1].

### 3.6 Выбор заготовки

При выборе метода получения заготовки решающими факторами являются форма, масса, материал, объем выпуска деталей.

Заготовки деталей, обрабатываемых в автоматизированном производстве, должны иметь припуски с минимальными колебаниями. Если это условие не удаётся обеспечить при получении заготовки, то вводят обдирочную операцию.

Стоимость заготовок из проката рассчитывается по формуле [2]

$$S_2 = M + \sum C_{o.3}, \quad (3.2)$$

где  $M$  – затраты на материал заготовки, р.;

$\sum C_{o.3}$  – технологическая себестоимость правки, калибрования, резки, р.

Расчет затрат на материалы выполняется по формуле

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot S_{отх}, \quad (3.3)$$

где  $Q$  – масса заготовки (рассчитывается через объем и плотность материала заготовки), кг;

$S$  – цена 1 кг материала заготовки, р.;

$q$  – масса детали, кг;

$S_{отх}$  – цена 1 кг отходов, р.

В отходы включается не только разность между массой заготовки и детали (стружка), но и остаток прутка, образующийся из-за того, что длина заготовки и длина прутка не кратны. Сталь горячекатаная круглая по ГОСТ 2590–2006 [3] поставляется в прутках длиной 2...6 м.

$$\sum C_{o.3} = \frac{C_{n.3} \cdot t_{ум(ум-к)}}{60}, \quad (3.4)$$

где  $C_{n.3}$  – приведенные затраты на рабочем месте, р./ч;

$t_{ум(ум-к)}$  – штучное или штучно-калькуляционное время выполнения заготовительной операции, мин.

Значения приведенных затрат  $C_{н.з}$  на рабочем месте следует принимать с учетом действующих цен.

Штучное или штучно-калькуляционное время  $t_{шт(шт-к)}$  на отрезание заготовки вала из прутка рассчитывается по формуле

$$t_{шт(шт-к)} = \frac{L_{рез} + l_{вр} + l_{пер}}{S_M} \cdot \varphi, \quad (3.5)$$

где  $L_{рез}$  – длина резания при разрезании проката на штучные заготовки (может быть принята равной диаметру проката:  $L_{рез} = D$ ), мм;

$l_{вр}, l_{пер}$  – величина врезания и перебега, мм (при разрезании дисковой пилой  $l_{вр} + l_{пер} = 6...8$  мм);

$S_M$  – минутная подача при разрезании,  $S_M = 50...80$  мм/мин;

$\varphi$  – коэффициент, показывающий долю вспомогательного времени в штучном. Для мелко- и среднесерийного производства  $\varphi = 1,84$ ; для крупносерийного и массового производства  $\varphi = 1,5$ .

Расчет стоимости заготовок, полученных литьем или штамповкой, выполняется по формуле [2]

$$S_2 = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_g \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot S_{отх}, \quad (3.6)$$

где  $C_i$  – базовая стоимость одной тонны заготовок, р.;

$Q$  – масса заготовки, кг;

$K_m$  – коэффициент, зависящий от класса точности;

$K_c$  – коэффициент, зависящий от степени сложности;

$K_g$  – коэффициент, зависящий от массы заготовки;

$K_M$  – коэффициент, зависящий от марки материала;

$K_n$  – коэффициент, зависящий от объема выпуска заготовок.

Значения указанных коэффициентов приводятся в [2].

Перед расчетом стоимости заготовки вычерчивается ее эскиз, назначаются припуски, устанавливаются размеры, по которым рассчитываются объем и масса заготовки  $Q$ .

Для штампованных заготовок по ГОСТ 7505–89 [4] устанавливаются:

– группа материала –  $M$ ;

– класс точности –  $T$ ;

– степень сложности –  $C$ ;

– исходный индекс.

По исходному индексу в соответствии с ГОСТ 7505–89 определяются припуски на обрабатываемые поверхности и предельные отклонения размеров заготовки.

Параметры литых заготовок устанавливаются по ГОСТ 26645–85.

### 3.7 Разработка технологического процесса

При разработке технологического процесса необходимо использовать следующие рекомендации:

- определить технологические базы заготовки и решить, можно ли на принятых базах выполнить все операции обработки детали и обеспечить требуемую точность и шероховатость её поверхностей;

- в качестве технологических баз следует принимать такие поверхности заготовки, которые обеспечивают их удобную установку, надёжную фиксацию и закрепление в приспособлении станков;

- определить, позволяют ли принятые технологические базы обрабатывать деталь в стационарных станочных приспособлениях или в приспособлениях-спутниках;

- определить концентрацию операций (переходов) на отдельных станках, учитывая при этом, что сложные наладки требуют дополнительных затрат времени на замену инструментов;

- разработанный технологический процесс обработки детали должен предусматривать выполнение сначала черновых, затем получистовых и в конце чистовых операций (переходов);

- определить возможности использования современных обрабатывающих центров;

- проверить, обеспечивается ли необходимая точность всех обрабатываемых поверхностей детали при её обработке.

При выполнении этого раздела в пояснительной записке приводится маршрутный технологический процесс. Здесь же дается обоснование выбора конкретных моделей станков, станочных приспособлений, режущих и мерительных инструментов.

Принятый маршрутный процесс оформляется в виде таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Маршрутный технологический процесс изготовления детали

Номер операции	Наименование и краткое содержание операции	Модель станка	Режущий инструмент	Технологическая база
005	Фрезерно-центровальная 1 Фрезерование торцов 2 Сверление центровых отверстий	MP-77	Фреза торцовая Ø125, T5K10. Сверло центровочное Ø4, P6M5	Поверхности заготовки Ø40, торец
010	Токарная с ЧПУ 1 Черновое точение поверхностей 2 Чистовое точение поверхностей и фасок 3 Точение канавок	ST-10	Резец проходной 16x25, T5K10. Резец канавочный T5K10	Центровые отверстия, торец
...	...	...	...	...

### 3.8 Программирование обработки

#### 3.8.1 Проектирование содержания операции.

Исходными данными при выполнении раздела являются:

- чертеж обрабатываемой детали;
- форма и размеры заготовки (например, прокат  $\text{Ø}50 \times 196,4$ );
- тип и характеристики используемого оборудования (например, токарный станок с ЧПУ модели ST-10).

В курсовом проекте в зависимости от задания подробно разрабатывается одна или две операции (или более), для которых проектируется роботизированный технологический комплекс. Для выполнения каждой операции выбирается станок. Тип станка определяется характером операции (токарный, сверлильный, фрезерный и т. п.).

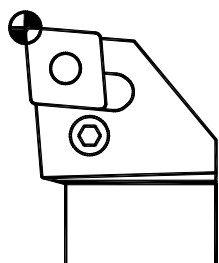
При выборе модели станка предпочтительно использовать продукцию тех производителей, кто предоставляет в свободном доступе всю необходимую техническую информацию (габаритные размеры и планировку станка, технические характеристики, характеристики системы ЧПУ и т. д.).

В данном подразделе 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 промышленного робота сверху, спереди или сбоку. Открытость рабочей зоны определяет тип промышленного робота.

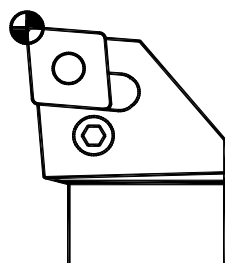
Пример технической информации приведен в приложении А.

На основе содержания операции устанавливается последовательность обработки. Устанавливается схема базирования (например, обработка в центрах – задний центр вращающийся, передний центр плавающий с упором в торец, вращение передается поводком). Устанавливается количество и состав инструмента, закрепляемого в револьверной головке, с указанием точки привязки инструмента (рисунок 3.2).

T1 – черновой  
проходной упорный



T3 – чистовой  
проходной упорный



T5 – канавочный  
B = 1,4 мм

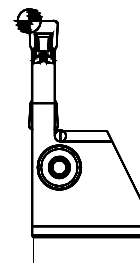


Рисунок 3.2 – Режущий инструмент

#### 3.8.2 Разработка расчетно-технологической карты.

Разработка схемы движения начинается с определения положения нуля детали и исходной точки. За ноль детали можно принять любую точку, но чаще всего принимают точку, расположенную на правом торце детали с координа-

той  $X$ , равной 0 (для токарной обработки) (рисунок 3.3). Из нуля детали строятся оси системы координат детали и наносится их обозначение (см. рисунок 3.3). При выборе нуля детали необходимо учитывать следующие требования:

- нуль должен, по возможности, находиться на физической поверхности детали – сокращаются затраты времени на наладку;
- нуль должен совпадать с конструкторской базой – тем самым отпадает необходимость в пересчетах размерных цепей;
- нуль должен обеспечивать удобство программирования.

#### Переход 2

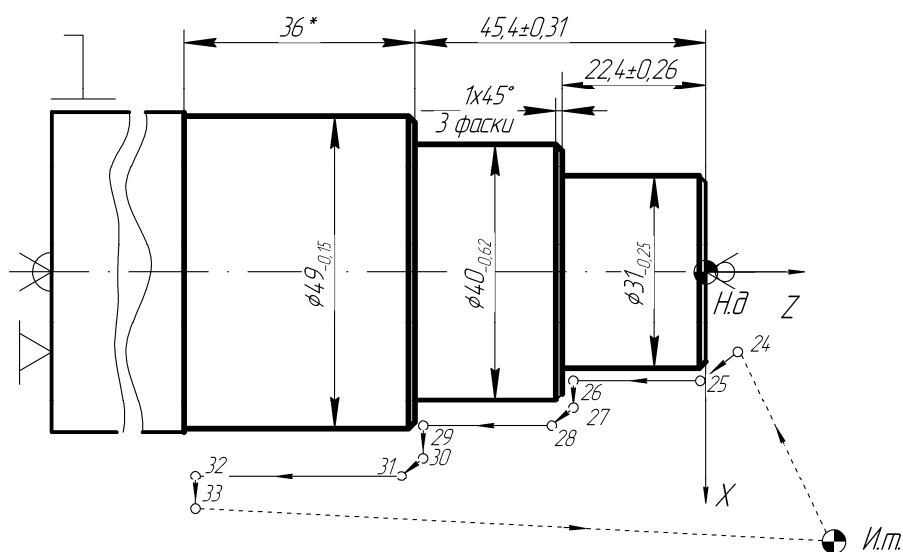


Рисунок 3.3 – Траектории перемещения инструмента при обработке вала

После выбора нуля детали выбирают положение исходной точки – точки, в которой находится инструмент перед началом обработки. Она должна быть выбрана таким образом, чтобы суппорт (шпиндель) и закрепленный инструмент не мешали смене заготовок, но при этом точка должна быть как можно ближе к заготовке с целью сокращения затрат времени на холостые ходы. Положение наносится на эскизе с обозначением ее координат (см. рисунок 3.3).

На схеме движения инструментов изображаются траектории движения режущих кромок инструментов, участвующих в обработке детали. Сплошными линиями указываются рабочие движения, а пунктирными – холостые. Последовательно расположенные опорные точки, в которых происходит изменение направления движения инструмента, обозначают арабскими цифрами. Цифра соответствует номеру точки. Направление движения указывается стрелкой (см. рисунок 3.3).

Схема движения инструментов предназначена для учета всех без исключения перемещений инструментов по величине и по направлению. Если в обработке детали участвуют до трех инструментов при небольшом количестве опорных точек, то вычерчивается общая схема для всех инструментов. При большом числе инструментов и значительном количестве опорных точек

следует вычерчивать схему движения для каждого инструмента отдельно. При построении траектории в обязательном порядке необходимо учитывать следующий момент: начинаться и заканчиваться движение инструмента с рабочей подачей должно на некотором расстоянии от заготовки (запас на врезание и перебег обычно составляет 0,5...2 мм).

На этом этапе устанавливают также необходимые вспомогательные команды на смену режущего инструмента, изменение числа оборотов шпинделя и подач, включение подачи смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону обработки и другие технологические команды. Проектирование расчетно-технологической карты завершается составлением таблицы координат опорных точек (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Координаты опорных точек

Номер опорной точки	X	Z	Номер опорной точки	X	Z
Исходная точка (и. т.)	60	20	29	40	-45,4
24	28	1	30	47	-45,4
25	31	-1	31	49	-46,4
26	31	-22,4	32	49	-81,4
27	38	-22,4	33	52	-81,4
28	40	-23,4			

### 3.8.3 Расчет режимов резания.

В данном подразделе подробно рассчитываются режимы резания на операции, выполнение которых предусмотрено с использованием проектируемого роботизированного технологического комплекса. Расчет необходимо произвести как по аналитическим формулам теории резания металлов, так и по нормативам. Также при необходимости можно произвести расчет при помощи калькуляторов режимов резания от производителей режущего инструмента, доступных в сети Интернет ([www.sandvik.coromant.com](http://www.sandvik.coromant.com), [www.iscar.com](http://www.iscar.com), [www.mitsubishicarbide.com](http://www.mitsubishicarbide.com), [www.walter-tools.com](http://www.walter-tools.com) и др.).

Расчет режимов резания с использованием аналитических формул выполняется по [5]. Для расчета режимов резания по нормативам могут быть использованы [6].

Расчет режимов резания для операций начинается с описания исходных условий обработки, которые включают:

- номер и наименование операции;
- краткое содержание операции;
- наименование и модель станка;
- наименование режущего инструмента, его размеры, марка материала режущей части.

Глубина резания определяется с учетом величины припуска и маршрутной технологии (черновая, чистовая, окончательная обработка и т. д.) обработки поверхности.



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.

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

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \quad (3.7)$$

где  $D$  – диаметр детали или инструмента, мм.

Полученное значение частоты вращения корректируется (принимается меньшее) по паспорту станка и принимается окончательно (только для станков, имеющих ступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя). По принятой частоте вращения определяется действительная скорость резания:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (3.8)$$

#### 3.8.4 Кодирование и запись управляющих программ.

Составление программы осуществляется согласно инструкции по программированию конкретного станка.

Управляющая программа состоит из кадров, которые представляют собой последовательность слов (адресов).

Каждое слово в кадре управляющей программы должно состоять из символа адреса, математического знака «плюс» или «минус» (при необходимости), последовательности цифр.

Для рассматриваемого примера текст управляющей программы будет выглядеть следующим образом (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Текст управляющей программы по обработке вала

Содержание кадра	Комментарий
1	2
T1 D1	Устанавливаем черновой резец
G96 S100 F1 LIMS = 2000 M3	Задаем черновые режимы резания
G0 X53 Z2	Устанавливаем инструмент в точку начала цикла
CYCLE95 (“STR:ENF”, 4, 0, 0, 0.5, 0.5, 0.2, 0.1, 9, 0, 0, 0)	Задаем цикл черновой обработки параллельно оси Z в соответствии с профилем, заданным от метки STR до метки ENF; выполняем черновую обработку с получистовым рабочим ходом; припуск под последующую чистовую обработку оставляем в размере 0,5 мм
G0 X60 Z20	
T3 D1	Устанавливаем чистовой резец

Окончание таблицы 3.4

1	2
G96 S160 F0.5	Задаем чистовые режимы резания
STR: G0 X26 Z1	Программируем чистовую обработку по контуру
G1 X30 Z-1	Программируем чистовую обработку по контуру
Z-22.4	
X38	
X40 Z-23.4	
Z-45,4	
X47	
X49 Z-46.4	
Z-81.4	
ENF: X50	
G0 X60 Z20	
T5 D1	Устанавливаем канавочный резец
G96 S160 F0.1	Задаем режимы резания для точения канавок
X32 Z-3.6	Обработку канавки программируем без применения технологического цикла
G1 X28.5	
G4 F0.5	Задаем паузу для проточки дна канавки
G0 X32	
Z-22.4	
G1 X28	
G4 F0.5	
X32	
G0 Z-19.8	
G1 X28 Z-21.8	
X32	
G0 X60 Z20 M30	

### 3.9 Расчёт норм времени для операций, выполняемых на станках с ЧПУ

Норма времени на выполнение операций на станках с ЧПУ при работе на одном станке состоит из нормы подготовительно-заключительного времени  $T_{пз}$  и нормы штучного времени  $T_{шт}$  [7]:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}; \quad (3.9)$$

$$T_{ум} = (T_{ца} + T_{\epsilon} \cdot K_{тв}) \cdot \left( 1 + \frac{a_{мех} + a_{орг} + a_{отд}}{100} \right), \quad (3.10)$$

где  $T_{ца}$  – время цикла автоматической работы станка по программе, мин;

$K_{тв}$  – поправочный коэффициент на время выполнения ручной вспомогательной работы в зависимости от партии обрабатываемых деталей;

$a_{мех}$ ,  $a_{орг}$ ,  $a_{отд}$  – время на техническое и организационное обслуживание рабочего места, на отдых и личные потребности при одностаночном обслуживании, % от оперативного времени.

$$T_{ца} = T_o + T_{мв}, \quad (3.11)$$

где  $T_o$  – основное (технологическое) время на обработку одной детали, мин.

$$T_o = \sum \frac{L_i}{S_{mi}}, \quad (3.12)$$

где  $L_i$  – длина пути, проходимого инструментом или деталью в направлении подачи при обработке  $i$ -го технологического участка (с учетом врезания и перебега), мм;

$S_{mi}$  – минутная подача на данном технологическом участке, мм/мин;

$T_{мв}$  – машинно-вспомогательное время по программе (на подвод детали или инструмента от исходных точек в зоны обработки и отвод, установку инструмента на размер, смену инструмента, изменение величины и направления подачи, время технологических пауз (остановок) и т. п.), мин.

$$T_{\epsilon} = T_{\epsilon.у} + T_{\epsilon.оп} + T_{\epsilon.изм}, \quad (3.13)$$

где  $T_{\epsilon.у}$  – время на установку и снятие детали вручную или подъемником, мин;

$T_{\epsilon.оп}$  – вспомогательное время, связанное с операцией (не вошедшее в управляющую программу), мин;

$T_{\epsilon.изм}$  – вспомогательное неперекрываемое время на измерения, мин.

Нормативное время на установку и снятие детали предусматривает выполнение следующей работы [7]: взять и установить деталь, выверить и закрепить; включить и выключить станок; открепить, снять деталь и уложить в тару; очистить приспособление от стружки, протереть базовые поверхности салфеткой.

При установке в специальных приспособлениях вспомогательное время определяют как сумму времени на установку и снятие одной детали; на установку и снятие каждой последующей детали свыше одной в многоместных приспособлениях; на закрепление детали с учетом количества зажимов; на очистку приспособления от стружки, на протирку базовых поверхностей салфеткой.

Вспомогательное время, связанное с операцией, подразделяется на:

– вспомогательное время, связанное с операцией, не вошедшее во время

цикла автоматической работы станка по программе и предусматривающее выполнение следующей работы: установить заданное взаимное положение детали и инструмента по координатам  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и в случае необходимости произвести поднастройку; проверить приход детали или инструмента в заданную точку после обработки; установить щиток от забрызгивания эмульсией и снять;

– машинно-вспомогательное время, связанное с переходом, включенное в программу и относящееся к автоматической вспомогательной работе станка, предусматривающее подвод детали или инструмента от исходной точки в зону обработки и отвод; установку инструмента на размер обработки; автоматическую смену инструмента; включение и выключение подачи; холостые ходы при переходе от обработки одних поверхностей к другим; технологические паузы при резком изменении направления подачи, проверке размеров, для осмотра инструмента и переустановки или перезакрепления детали.

Необходимые размеры деталей, обрабатываемых на станках с числовым программным управлением, обеспечиваются конструкцией станка или режущего инструмента и точностью их настройки. В связи с этим время на контрольные измерения (после окончания работы по программе) должно включаться в норму штучного времени только в том случае, если это предусмотрено технологическим процессом и с учетом необходимой периодичности таких измерений в процессе работы, и только в тех случаях, если оно не может быть перекрыто временем цикла автоматической работы станка по программе.

Время на обслуживание рабочего места дано по типам и размерам оборудования с учетом одностаночного и многостаночного обслуживания в процентах от оперативного времени. Техническое обслуживание рабочего места предусматривает выполнение следующих работ:

– смену инструмента (или блока с инструментом) вследствие его затупления; регулировку и подналадку станка в процессе работы (изменение величины коррекции инструмента);

– сметание и периодическую уборку стружки в процессе работы (кроме сметания стружки с базовых поверхностей установочных приспособлений, время на которое учтено во вспомогательном времени на установку и снятие детали).

Организационное обслуживание рабочего места включает работу по уходу за рабочим местом (основным и вспомогательным оборудованием, технологической и организационной оснасткой, тарой), относящуюся к рабочей смене в целом:

– осмотр и опробование оборудования в процессе работы;

– раскладку инструмента в начале и уборку его в конце смены (кроме многоцелевых станков);

– смазку и чистку станка в течение смены;

– получение инструктажа мастера, бригадира в течение смены;

– уборку станка и рабочего места в конце смены.

Время на отдых и личные потребности рабочего для обслуживания одного станка отдельно не выделяется и учтено во времени на обслуживание

рабочего места.

Норма подготовительно-заключительного времени представляется как время на приемы подготовительно-заключительной работы на обработку партии одинаковых деталей независимо от партии и определяется по формуле

$$T_{nz} = T_{nz1} + T_{nz2} + T_{np.обр}, \quad (3.14)$$

где  $T_{nz1}$  – норма времени на организационную подготовку, мин;

$T_{nz2}$  – норма времени на наладку станка, мин;

$T_{np.обр}$  – норма времени на пробную обработку, мин.

Время на организационную подготовку предусматривает:

- получение наряда, чертежа, технологической документации, программно-носителя, режущего, вспомогательного и контрольно-измерительного инструмента, приспособлений, заготовок до начала и сдачу их после окончания обработки партии деталей на рабочем месте или в инструментальной кладовой;

- ознакомление с работой, чертежом, технологической документацией, осмотр заготовки;

- инструктаж мастера.

В состав работы по наладке станка, инструмента и приспособлений включаются приемы работы наладочного характера, зависящие от назначения станка и его конструктивных особенностей:

- установка и снятие крепежного приспособления;

- установка и снятие блока или отдельных режущих инструментов;

- установка исходных режимов работы станка;

- установка программноносителя в считывающее устройство и снятие его; настройка нулевого положения и др.

Время на пробную обработку деталей на станках токарной (до 630 мм) и револьверной групп включает затраты времени на обработку детали по программе (время цикла) плюс вспомогательное время на выполнение дополнительных приемов, связанных с измерением детали, вычислением коррекции, введением величин коррекций в систему ЧПУ, и вспомогательное время на приемы управления станком и системой ЧПУ.

В качестве примера рассчитаем затраты времени для токарной операции, рассмотренной ранее (см. рисунок 3.3). Определим  $T_{ца}$  как сумму затрат времени на элементарные перемещения и расчет сведем в таблицу 3.5, приняв по паспорту станка время смены инструмента по программе – 0,5 с на позицию, скорость быстрых перемещений – 5000 мм/мин.

Время на установку (снятие) заготовки  $T_{в.у} = 0,13$  мин [7, с. 59], вспомогательное время, связанное с операцией,  $T_{в.он} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,5$  мин [7, с. 79], время на измерения  $T_{в.изм} = 0,08 + 0,08 + 0,1 = 0,26$  мин [7, с. 84]. Так как время на измерения меньше времени работы по программе, в дальнейшем его не учитываем. Тогда вспомогательное время

$$T_g = 0,13 + 0,5 = 0,63 \text{ мин.}$$

Таблица 3.5 – Затраты времени на работу по программе  $T_{ца}$ 

Элементарное перемещение	Длина перемещения, мм	Характер перемещения	Подача, мм/об	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Подача, мм/мин	Время, мин
...	...	...	...	...	...	...
Переход 2						
ТЗ	–	$T_{ме}$	–	–	–	0,017
ИТ→24	24,759	$T_{ме}$	–	–	5000,00	0,005
24→25	2,828	$T_o$	0,5	1697,65	848,83	0,003
25→26	21,400	$T_o$	0,5	1697,65	848,83	0,025
26→27	4,000	$T_o$	0,5	1340,252	670,13	0,006
27→28	1,414	$T_o$	0,5	1273,24	636,62	0,002
28→29	22,000	$T_o$	0,5	1273,24	636,62	0,035
29→30	3,500	$T_o$	0,5	1083,61	541,80	0,006
30→31	1,414	$T_o$	0,5	1039,38	519,69	0,003
31→32	35,000	$T_o$	0,5	1039,38	519,69	0,067
32→33	1,500	$T_o$	0,5	960,94	480,47	0,003
33→ИТ	101,479	$T_{ме}$	–	–	5000,00	0,020
...	...	...	...	...	...	...
					Итого	0,613

Принимаем  $K_{тв} = 1$  ([7, с. 50], партия – 100 шт.),  $a_{тех} + a_{орг} = 2,3 \%$  [7, с. 91],  $a_{отд} = 2,3 \%$  [7, с. 93].

Штучное время

$$T_{шт} = (0,613 + 0,63 \cdot 1) \cdot \left(1 + \frac{2,3 + 2}{100}\right) = 1,243 \cdot 1,043 = 1,29 \text{ мин.}$$

Составляющие подготовительно-заключительного времени:

– норма времени на организационную подготовку [7, с. 96]: получить наряд, чертеж, технологическую документацию, программноноситель, инструмент, приспособление, заготовки и сдать их после окончания обработки на рабочем месте – 4 мин; ознакомиться с работой, чертежом, технологической документацией, осмотреть заготовки – 2 мин; инструктаж мастера – 2 мин. Тогда

$$T_{нз1} = 4 + 2 + 2 = 17 \text{ мин;}$$

– норма времени на наладку станка [7, с. 96]: установить и снять центр – 0,8 мин; сместить заднюю бабку – 0,3 мин; установить и снять инструментальный блок (инструмент) –  $3 \cdot 0,5$  мин; установить программноноситель в считывающее устройство и снять – 1 мин; настроить нулевое положение –  $3 \cdot 2$  мин; настроить устройство для подачи СОЖ – 0,2 мин. Тогда

$$T_{nz2} = 0,8 + 0,3 + 1,5 + 1 + 6 + 0,2 = 9,8 \text{ мин.}$$

Подготовительно-заключительное время

$$T_{nz} = T_{nz1} + T_{nz2} + T_{пр.обр} = 17 + 9,8 + 0,61 = 27,41 \text{ мин.}$$

Штучно-калькуляционное время токарной операции

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{nz}}{n} = 1,29 + \frac{27,49}{100} = 1,56 \text{ мин.}$$

### **3.10 Роботизированный технологический комплекс**

#### **3.10.1 Выбор промышленного робота.**

В роботизированных технологических комплексах механической обработки, как правило, используются промышленные роботы (ПР) 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 рабочей зоной сверху: токарных, шлифовальных и т. п.

После определения типа робота выбирают его технические характеристики.

**Грузоподъёмность.** Номинальная грузоподъёмность робота должна превышать суммарную массу заготовки и захватного устройства не менее чем на 10 %.

**Достигаемость.** Наибольший вылет руки робота должен обеспечивать доставку заготовки в рабочую зону станка: на линию центров или стол станка.

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

**Погрешность позиционирования.** Погрешность позиционирования определяет точность установки детали в центрах, патрон, приспособление.

Роботы с небольшой высотой устанавливают на специальные подставки или фундаменты.

При выборе модели промышленного робота предпочтительно использовать продукцию мировых и отечественных производителей (Fanuc, KUKA, ABB, Kawasaki, Motoman (Yaskawa), Panasonic, Mitsubishi, Hiwin, Omron, Universal Robots, OTC Daihen, Nachi, Comau, Staubli, Denso, Epson, Hyundai, Toshiba, Reis, Белробот, Grinik Robotics, Arkodim, Smitek и др.).

После выбора модели промышленного робота в пояснительной записке приводится его техническая характеристика.

Пример технической информации приведен в приложении Б.

#### **3.10.2 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 курсовом проекте студенты выбирают для роботизированного комплекса конструкцию вспомогательного оборудования (тактового стола, шагового транспортера и т. д.), которое обеспечивает межоперационное транспортирование и подачу заготовок в ориентированном виде в рабочую зону робота. Конкретная модель вспомогательного оборудования выбирается по габаритным размерам и массе транспортируемых заготовок.

Вместе с этим разрабатывается конструкция приспособления, которое закрепляется на поверхностях вспомогательного оборудования (например, пластины тактового 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.

При выборе модели вспомогательного оборудования предпочтительно использовать продукцию мировых производителей (liebherr.com, mazak.com, haltercncautomation.com, fastems.com, tuenkers.de, robotunits.com, bsz.by, boschrexroth.com, trumpf.com и др.).

После выбора модели вспомогательного оборудования в пояснительной записке приводится его техническая характеристика.

Пример технической информации приведен в приложении В.

### *3.10.3 Выбор захватного устройства.*

Для реализации робототехнических проектов, предполагающих перемещение или фиксацию заготовок, на промышленных роботах устанавливаются захватные устройства. Они подразделяются на механические, пневматические, вакуумные, магнитные и т. д. К подобным устройствам всегда предъявляются высокие требования точности и надежности.

При выборе следует четко понимать принципы подбора. Соответствующие принципы подбора в своей основе базируются на типе оборудования, где необходимо применять захваты, и поставленной задаче. Из них можно выделить основные критерии подбора захватного механизма:

- принцип захватывания объекта (механический захват, пневматический, вакуумный, магнитный и т. д.);
- система функционирования основного оборудования и захватного устройства;
- число рабочих положений, в которых устройство может полноценно работать;
- особенности управления, отличающиеся преимущественно программными параметрами;
- способы закрепления на оборудовании и пр.

При выборе модели захватного устройства предпочтительно использовать продукцию мировых производителей (schunk.com, schmalz.com, festo.com, zimmer-group.com и др.).

После выбора модели захватного устройства в пояснительной записке



приводится его техническая характеристика.

Пример технической информации приведен в приложении Г.

#### *3.10.4 Выбор компоновки РТК.*

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

При линейной компоновке станки располагают по одной линии. Такие комплексы обслуживают, как правило, роботы порталного 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.

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

#### *3.10.5 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.

Зная положение нулевой точки, последовательно вычерчивают элементы траектории, как это показано на рисунке 3.4 для компоновки кругового типа.

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 3.6.

В таблицу 3.6 помещена информация о фрагментах траектории, представленных на рисунке 3.4.

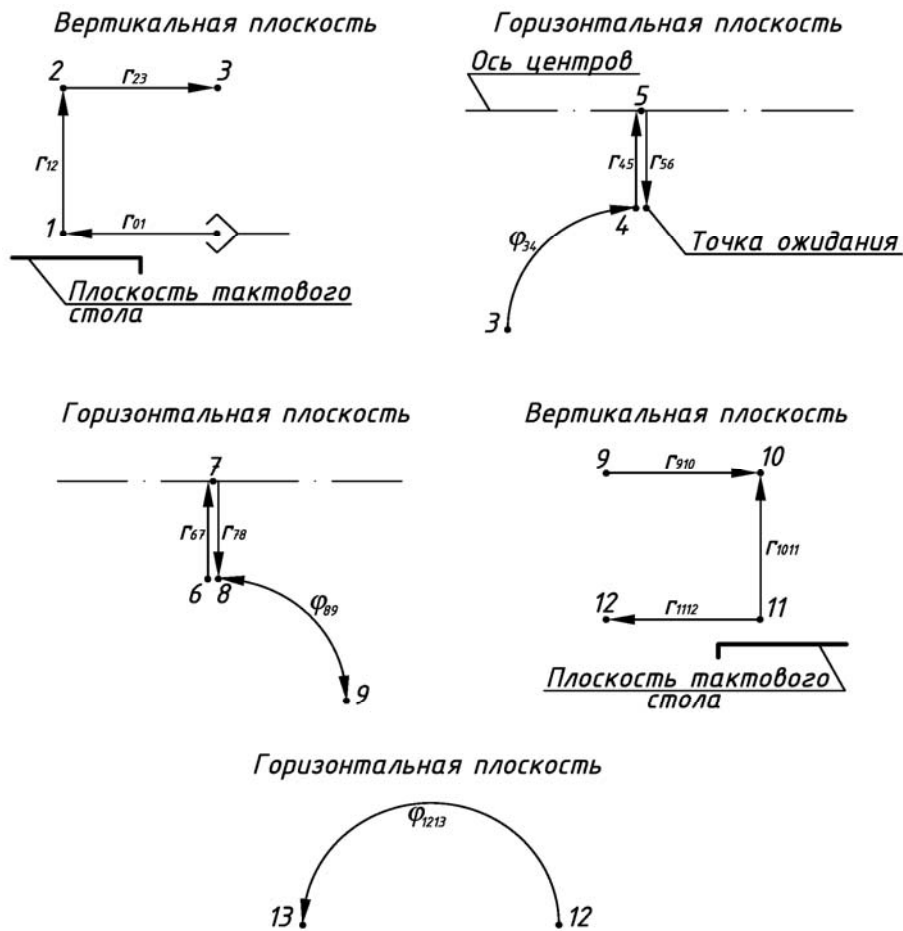


Рисунок 3.4 – Элементы траектории робота

Таблица 3.6 – Элементы траектории перемещения захватного устройства (схвата)

Элемент траектории	Комментарий	Величина перемещения, мм (град)
$r_{0.1}$	Перемещение руки ПР вперед	400
(1)	Зажим заготовки схватом ПР	–
$z_{1.2}$	Перемещение руки ПР вверх	200
$r_{2.3}$	Перемещение руки ПР назад	400
$\Phi_{3.4}$	Поворот руки ПР по часовой стрелке	90
$r_{4.5}$	Перемещение руки ПР вперед	500
(5)	Разжим заготовки	–
$r_{5.6}$	Перемещение руки ПР назад	400
(6)	Ожидание	–
$r_{6.7}$	Перемещение руки ПР вперед	500
...	...	...

### 3.10.6 Циклограмма работы 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  $T_u$ ;
- определения значения цикловой производительности  $Q_u$ ;
- установления возможности сокращения  $T_u$  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 формулам

$$t_i = \frac{\varphi_i}{\omega_i} \text{ или } t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (3.15)$$

где  $\varphi_i$  – угол поворота механизма;

$l_i$  – линейное перемещение механизма;

$\omega_i, v_i$  – скорость углового и линейного перемещений соответственно.

Результаты расчётов времени работы робота представляются в виде таблицы 3.7.

Таблица 3.7 – Время на выполнение перемещений робота

Элемент траектории	Линейное перемещение $l$ , м	Скорость линейного перемещения $v$ , м/с	Угловое перемещение $\varphi$ , град/с	Скорость углового перемещения $\omega$ , град/с	Время, с
$r_{01}$	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
$r_{6.7}$	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
Сумма					16,32

После оформления таблицы 3.7 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 циклограмме необходимо указать масштаб её построения, например  $1 \text{ с} = 10 \text{ мм}$ .

### 3.10.7 Расчёт показателей РТК.

В курсовом проекте выполняется расчёт следующих показателей работы РТК:

- цикловая производительность  $Q_{\text{ц}}$ ;
- коэффициент относительной загруженности ПР  $K_{\text{ср}}$ ;
- коэффициент использования ПР  $K_{\text{ипр}}$ ;
- коэффициент использования станка  $K_{\text{ис}}$ ;
- коэффициент нагруженности ПР  $K_{\text{нр}}$ ;
- режим работы робота.

Часовую цикловую производительность определяют по формуле

$$Q_{\text{ц}} = \frac{3600}{T_{\text{ц}}}, \quad (3.16)$$

где  $T_{\text{ц}}$  – время цикла работы РТК (можно найти по циклограмме), мин.

Коэффициент относительной загруженности ПР

$$K_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{ср}}}{P}, \quad (3.17)$$

где  $P_{\text{ср}}$  и  $P$  – средние значения рабочей нагрузки и номинальной грузоподъемности робота соответственно, кг.

Коэффициенты использования  $K_{\text{нр}}$  и  $K_{\text{ис}}$  определяют по формулам

$$K_{\text{нр}} = \frac{T_{\text{нр}}}{T_{\text{ц}}}; \quad (3.18)$$

$$K_{\text{ис}} = \frac{T_{\text{ца}}}{T_{\text{ц}}}, \quad (3.19)$$

где  $T_{\text{нр}}$  – время работы ПР за рабочий цикл  $T_{\text{ц}}$  (принимается по таблице 3.7), мин;

$T_{\text{ца}}$  – время цикла автоматической работы станка по программе за рабочий цикл  $T_{\text{ц}}$  (принимается по таблице 3.5), мин.

Режим работы робота определяют по [8], используя коэффициенты  $K_{gr}$  и  $K_{up}$ .

### ***3.11 Заключение***

В разделе содержатся общие выводы по курсовому проекту. Отражается использование новых высокопроизводительных методов обработки, нового оборудования, инструмента и приспособлений.

## 4 Обозначение чертежей

В курсовом проекте принята следующая структура обозначения чертежей (рисунок 4.1).

<b>КП.</b>	<b>000.</b>	<b>00.</b>	<b>00.</b>	<b>00.</b>
Курсовой проект	Номер группы (171, 181, 191...)	Шифр (две последние цифры номера зачетной книжки)	Номер чертежа	Номер детали (позиции)

Рисунок 4.1 – Схема обозначения чертежей

Номера чертежей (предпоследняя группа цифр) присваиваются следующим образом:

- чертеж детали – 01;
- чертеж заготовки – 06;
- чертежи маршрутных карт технологического процесса – 11;
- чертеж расчетно-технологической карты – 61;
- чертеж роботизированного технологического комплекса – 51.

Таким образом, студент гр. МИР-171, имеющий зачетную книжку № 041242, обозначает чертежи курсового проекта:

- КП.171.42.01.00 – чертеж детали;
- КП.171.42.61.00 – чертеж расчетно-технологической карты.

В пояснительной записке на всех листах записывается обозначение детали и буквы ПЗ: КП.171.42.01.00 ПЗ.

## Список литературы

1 Технология машиностроения: практикум: учебное пособие / А. А. Жолобов [и др.]; под ред. А. А. Жолобова. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 335 с.: ил.

2 **Минаков, А. П.** Проектирование и производство заготовок: учебное пособие / А. П. Минаков, И. Д. Камчицкая, Е. В. Ильюшина. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 326 с. : ил.

3 **ГОСТ 2590–2006.** Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 10 с.

4 **ГОСТ 7505–89.** Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски, кузнечные напуски. – Москва: Изд-во стандартов, 2003. – 36 с.

5 Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – Москва : Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.

6 Режимы резания металлов : справочник / Под ред. А. Д. Корчемкина. – Москва : НИИТавтопром, 1995. – 456 с.

7 Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч. 1 : Нормативы времени. – Москва : Экономика, 1990. – 206 с.

8 **Козырев, Ю. Г.** Промышленные роботы : справочник / Ю. Г. Козырев. – Москва : Машиностроение, 1988. – 376 с.

9 Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / М. Ф. Пашкевич [и др.]; под ред. М. Ф. Пашкевича. – Минск : Изд-во Гревцова, 2010. – 400 с.

10 Технология машиностроения. Курсовое и дипломное проектирование : учебное пособие / М. Ф. Пашкевич [и др.]; под общ. ред. А. А. Жолобова, В. И. Аверченкова. – Старый Оскол: ТНТ, 2015. – 444 с.

11 **Жолобов А. А.** Технология машиностроения : учебное пособие. Кн. 1 : Методы формирования деталей и узлов машин / А. А. Жолобов, А. М. Федоренко. – Минск: РИВШ, 2020. – 519 с.

# Приложение А (обязательное)

[ Technical Specifications ]

## Haas ST-10 CNC Lathe

### The High-Performance Turning Center



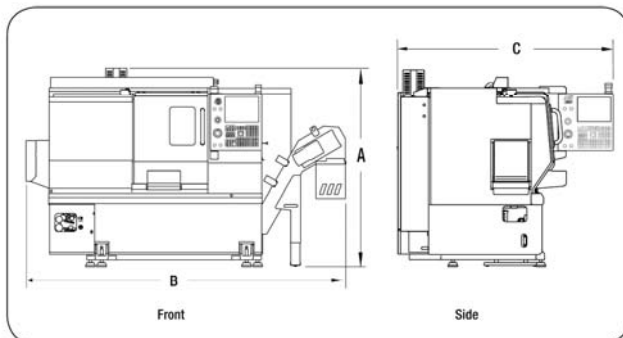
The ST-10 has a small footprint, yet provides a maximum capacity of 14" x 14", with a 16.25" swing over the cross slide. The spindle turns to 6000 rpm, and the 15 hp vector drive system provides 75 ft-lb of cutting torque. A 6.5" hydraulic chucking system and 12-station turret are standard. Available high-torque live tooling and C axis make it possible to machine multiple features and perform secondary operations in a single setup.



The ST-10 is available with high-torque live tooling and C axis to perform secondary machining operations in a single setup.



The ST-10 is equipped with a 12-position bolt-on style turret standard, with an option for a 12-station VDI40 turret.



Operating Dimensions	ST-10
A. Max Operating Height	83" 2 108 mm
B. Max Operating Width	115" 2 921 mm
C. Max Operating Depth <sup>1</sup>	76" 1 930 mm

<sup>1</sup> With control swung forward. Additional 36" (914 mm) required to open rear service panel.



Specifications subject to change without notice.  
Not responsible for typographical errors.  
Machines shown with optional equipment.

Dec 2010

#### [ Specifications ]

Capacities	ST-10
Chuck Size	6.5" 165 mm
Max Cutting Dia. <sup>1</sup>	14" 356 mm
Max Cutting Length	14" 356 mm
Std. Bar Capacity	1.75" 44 mm

Spindle	
Max Speed	6000 rpm
Max Motor Rating	15 hp 11.2 kW
Max Torque	75 ft-lb @ 1300 rpm 102 Nm @ 1300 rpm
Spindle Nose	A2-5
Spindle Bore	Ø2.31" Ø58.7 mm

Swing Diameter	
Over Front Apron	25.25" 641 mm
Over Cross Slide	16.25" 413 mm
Over Tailstock	23.50" 597 mm

Travels & Feedrates	
X Axis	7.88" 200 mm
Z Axis	14" 356 mm
X-Axis Max Thrust	3304 lb 14 697 N
Z-Axis Max Thrust	3304 lb 14 697 N
X-Axis Rapids	1200 ipm 30.5 m/min
Z-Axis Rapids	1200 ipm 30.5 m/min

Accuracy	
Positioning	±0.0002" ±0.005 mm
Repeatability	±0.0001" ±0.003 mm

General	
Power – 3-Phase	195 - 260 V @ 100 A
Coolant Capacity	30 gal 114 L
Weight	5000 lb 2 268 kg

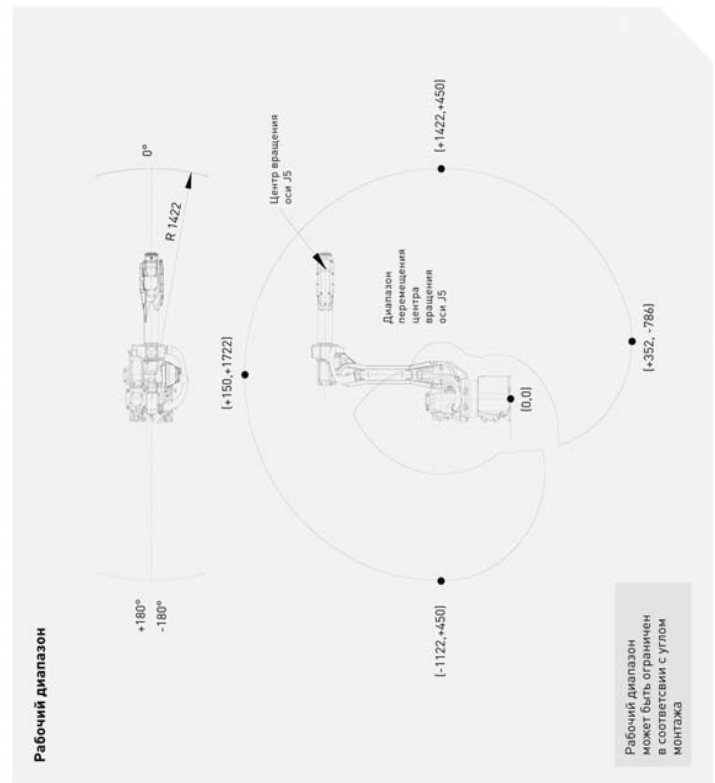
<sup>1</sup> Max diameter varies with turret. VDI-7" (178 mm).

Рисунок А.1 – Технические характеристики станка согласно официальной документации производителя



# Приложение Б (обязательное)

<b>M-10iA/10M</b> (Высокая инерция)		Достигаемость: <b>1422 мм</b>													
		Максимальная нагрузка на кисть: <b>10 кг</b>													
Управляемых осей	Повторяемость (мм)	Вес (кг)	Угол поворота [°]						Максимальная скорость [°/s]			Момент силы J5 (Нм) / Момент инерции (кгм)	Момент силы J6 (Нм) / Момент инерции (кгм)		
			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J4	J5	J6				
6	± 0.03*	130	340(360)	250	445	400	280	720	225	205	420	420	700	26.0/0.9	11.0/0.3



<b>Робот</b>		<b>M-10iA/10M</b>	
Площадь установки [мм]		283 x 283	
Монтаж напольный		•	
Монтаж в потолочном положении		•	
Монтаж под углом		•	
<b>Контроллер</b>		<b>R30iB</b>	
Шкаф Open Air		•	
Шкаф Mate		•	
Шкаф типа А		•	
Шкаф типа В		•	
Пульт управления iPendant		•	
<b>Электрические подключения</b>			
Напряжение 50/60 Гц, 3 фазы [В]		380-575	
Напряжение 50/60 Гц, 1 фазы [В]		-	
Среднее потребление энергии [кВт]		1	
<b>Встроенные коммуникации</b>			
Интегрированные Вх./Вых. цифровые сигналы в локтевом суставе		8/8	
Интегрированная пневмомагистраль		1	
<b>Условия эксплуатации</b>			
Уровень акустического шума [dB]		< 70	
Рабочая температура окружающей среды [°C]		0-45	
<b>Класс IP защиты</b>			
Корпус стандартный/опциональный		IP54/IP55	
Запястье и рука J3 стандартный/опциональный		IP67	

• стандартно | о по запросу - недоступно | | с аппаратным и/или программным обеспечением \*По стандарту ISO92

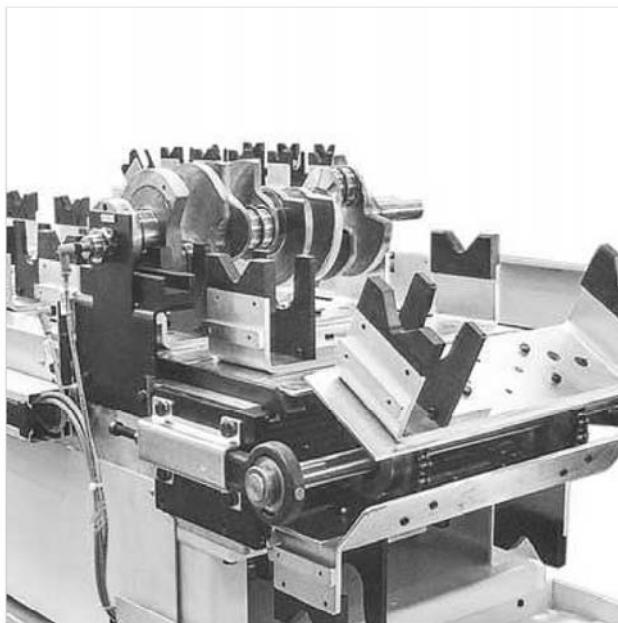
Рисунок Б.1 – Технические характеристики промышленного робота согласно официальной документации производителя

## Приложение В (обязательное)

# LIEBHERR

## ТКВ

Масса заготовки/стандарт макс.	<b>50 кг</b>
Конструкция	<b>работающий с заданным тактом</b>
Поддоны	<b>да</b>
Транспортировочный ремень	<b>детали в форме тела вращения / детали кубической формы</b>
Длина ленты	<b>макс. 12 м на привод / произвольный</b>



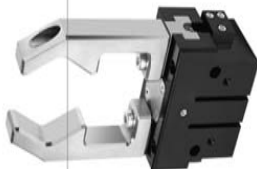
Масса заготовки/стандарт макс.	50 кг
Конструкция	работающий с заданным тактом
Поддоны	да
Транспортировочный ремень	детали в форме тела вращения / детали кубической формы
Длина ленты	макс. 12 м на привод / произвольный
Пропускная способность на каждый привод макс.	1 800 кг
Пропускная способность на метр длины ленты, макс.	150 кг
Привод	Мотор-редуктор трехфазного тока
Скорость транспортировки, опция 1	5 м/мин
Ленточное исполнение	1-канальный

Рисунок В.1 – Технические характеристики вспомогательного оборудования согласно официальной документации производителя

# Приложение Г (обязательное)

## 2-JAW PARALLEL GRIPPERS SERIES GP400

### ► PRODUCT ADVANTAGES



#### "The economical"

##### ► Concentration on the essentials

The most economic type of gripping: This is how you reduce your production costs

##### ► Proven T slot guide

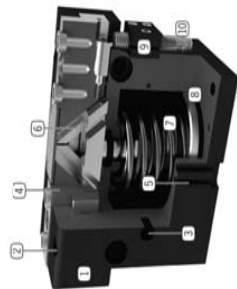
This established and proven guiding technology stands for the highest process reliability like no other

##### ► Compact structure

Reduces the interference contours for your application



### ► BENEFITS IN DETAIL



- 1 **Robust, lightweight housing**  
- Hard-coated aluminum alloy
- 2 **Mounting and positioning**  
- mounting possible from several sides for versatile positioning  
- possible from several sides
- 3 **Energy supply**  
- individual gripper finger mounting
- 4 **Gripper jaw**  
- mounting and positioning of magnetic field sensors
- 5 **Wedge mechanism**  
- synchronized movement of the gripper jaws
- 6 **Integrated gripping force safety device**  
- spring integrated into cylinder as energy storage
- 7 **Position sensing**  
- permanent magnet for direct monitoring of piston movement
- 8 **Mounting block**  
- mounting for inductive proximity switch

### ► SERIES CHARACTERISTICS

Installation size	Version				
	N	NC	ND	S	SD
Spring closing C Spring opening O High-strength S 10 million maintenance-free cycles (max.) Inductive sensor Magnetic field sensor Purged air IP40	•	•	•	•	•

### ► TECHNICAL DATA

Installation	Stroke per jaw [mm]	Gripping force [N]	Weight [kg]	IP class
GP403	3	85 - 115	0,09 - 0,1	IP40
GP404	2 - 4	170 - 500	0,14 - 0,16	IP40
GP405	3 - 6	300 - 900	0,27 - 0,32	IP40
GP408	4 - 8	500 - 1600	0,5 - 0,57	IP40
GP410	5 - 10	740 - 2340	0,85 - 1	IP40
GP412	6 - 12	1290 - 4130	1,5 - 1,78	IP40
GP416	8 - 16	1890 - 5780	2,9 - 3,4	IP40
GP420	10 - 20	3175 - 9400	5,5 - 6,7	IP40
GP420	15 - 30	6975 - 19275	14 - 18,9	IP40

### ► FURTHER INFORMATION IS AVAILABLE ONLINE



All information just a click away at: [www.zimmer-group.com](http://www.zimmer-group.com). Find data, illustrations, 3D models and operating instructions for your installation size using the order number for your desired product. Quick, clear and always up-to-date.

Рисунок Г.1 – Технические характеристики захватного устройства согласно официальной документации производителя

**Приложение Д  
(обязательное)**

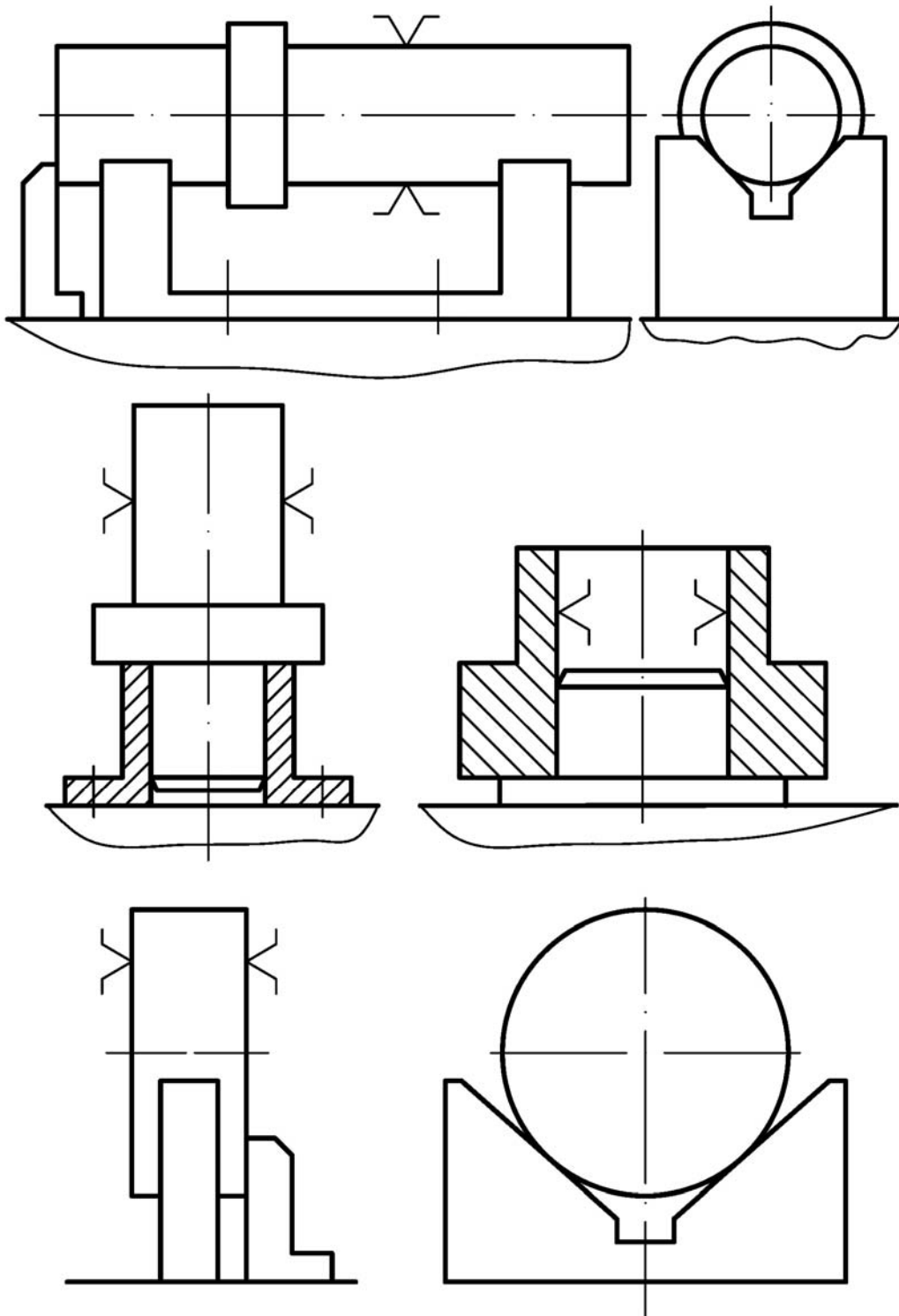


Рисунок Д.1 – Способы установки деталей на вспомогательном оборудовании

**Приложение Е  
(обязательное)**

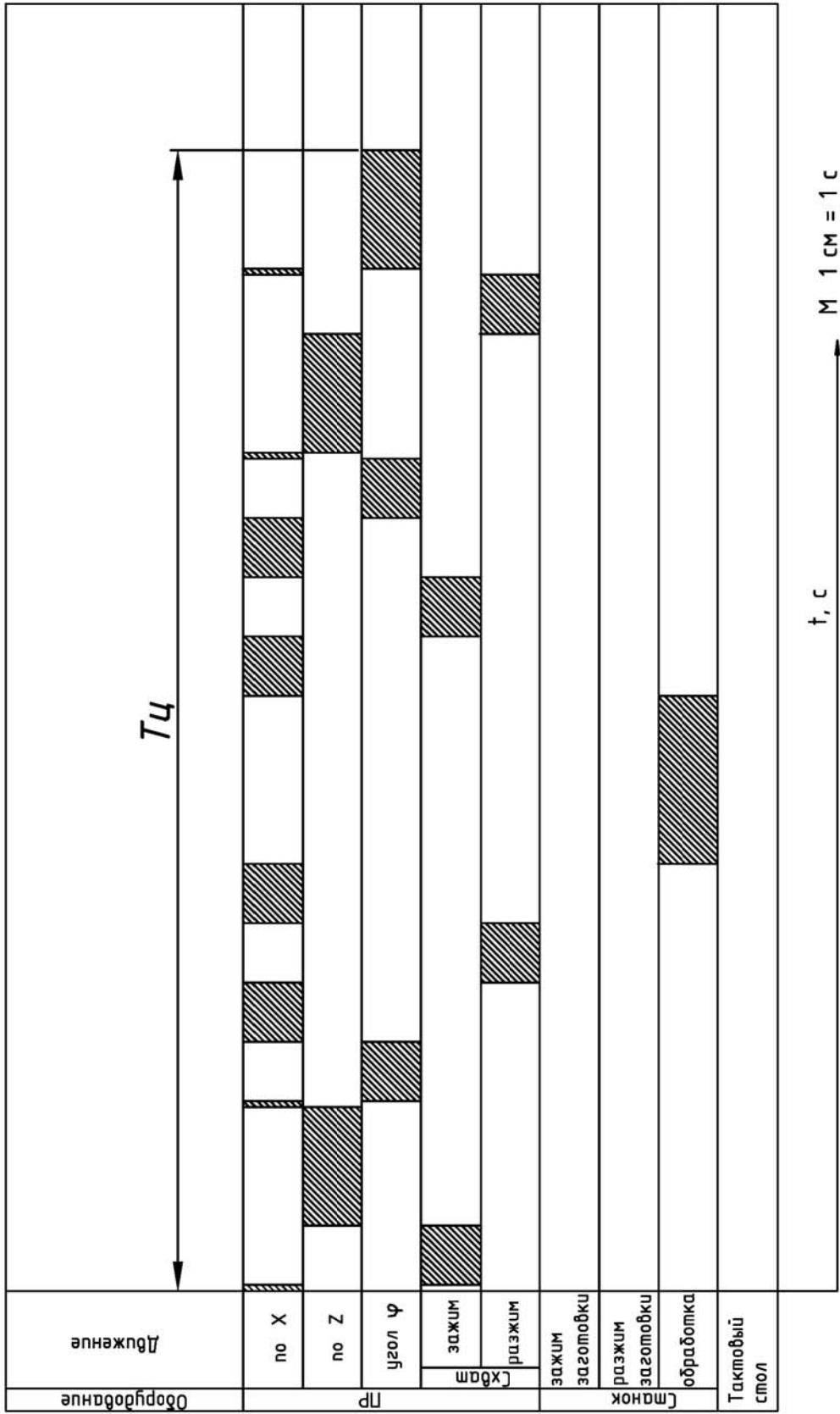


Рисунок Е.1 – Циклограмма РТК