

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет»

Н. М. Федосов, О. И. Наливко

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Методические рекомендации  
по выполнению дипломного проекта  
для студентов инженерных специальностей

Барановичи  
БарГУ  
2018

УДК 621(072)  
ББК 34.63-52-01  
Ф32

Рецензенты:

главный конструктор ОАО «Барановичский завод автоматических линий» *А. Н. Сулима*;  
кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и автоматизации  
производства БарГУ *В. Ф. Барышиников*

**Федосов, Н. М.**

**Ф32** Технологическое оборудование машиностроительного производства : метод. рекомендации по выполнению диплом. проекта для студентов инженер. специальностей / Н. М. Федосов, О. И. Наливко ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. — Барановичи : БарГУ, 2018. — 100 с. : ил. — 44 экз. ISBN 978-985-498-806-1.

В издании освещены тематика, состав, содержание основных разделов дипломных проектов для специальности 1-36 01 03 Технологическое оборудование машиностроительного производства. Даны рекомендации по использованию методической, технической и справочной литературы для решения конкретных задач дипломного проектирования.

Данные методические рекомендации также будут полезны для научных руководителей дипломных проектов вышеуказанной специальности.

УДК 621(072)  
ББК 34.63-52-01

0+

*Учебное издание*

**Федосов** Николай Михайлович  
**Наливко** Олег Игоревич

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Методические рекомендации  
по выполнению дипломного проекта  
для студентов инженерных специальностей

Ответственный за выпуск С. А. Березнюк  
Технический редактор Е. И. Березич  
Компьютерная верстка С. М. Глушак  
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 23.05.2018. Формат 60 × 84 1/16. Бумага ксероксная.  
Отпечатано на копировально-множительной технике. Усл. печ. л. 5,80.  
Уч.-изд. л. 3,40. Тираж 44 экз. Заказ 232.

Учреждение образования «Барановичский государственный университет»  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий от 2017 г. № 1/424 от 09.09.2016.

Ул. Войкова, 21, 21225404, г. Барановичи. Тел. 8 (0163) 45 46 28, e-mail: rio@barsu.by .

**ISBN 978-985-498-806-1**

© БарГУ, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Дипломный проект является для студента формой выпускной квалификационной работы инженера по специальностям 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства», 1-36 01 01 «Технология машиностроения».

Дипломный проект представляет собой законченную разработку, в которой решается задача с проработкой конструкторской (исследовательской), технологической и организационно-экономических частей, а также вопросов экологии, охраны труда и защиты окружающей среды, актуальных для предприятий, организаций, научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро, занимающихся научными исследованиями, проектированием, производством, эксплуатацией и ремонтом технологического оборудования машиностроительного производства.

Организация дипломного проектирования определяется учреждением высшего образования на основе Положения об итоговой аттестации выпускников учреждений высшего образования, Государственного образовательного стандарта по направлению подготовки дипломированных специалистов и методических рекомендаций учебно-методического отдела БарГУ в области технологического оборудования машиностроительного производства.

Методические рекомендации содержат сведения для выполнения проекта: рисунки, расчетные таблицы, образцы оформления технологической документации.

# Раздел I

## МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ КОНСТРУКТОРСКОГО РАЗДЕЛА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

### 1.1 Методика проектирования узлов и приспособлений металлорежущих станков

В соответствии с утвержденной темой дипломного проекта (например, «Совершенствование или разработка узла или механизма станка» и т. п.) руководитель дипломного проекта определяет для конкретной темы методику выполнения и структуру указанного подраздела (заполняется в бланке заданий по дипломному проектированию).

### 1.2 Разработка конструкции привода подачи металлорежущего станка с числовым программным управлением [11; 12]

#### *1.2.1 Анализ вариантов привода подачи и выбор оптимальной конструкции*

В приводах станков с числовым программным управлением (далее — ЧПУ) в настоящее время применяются высокомоментные регулируемые электродвигатели постоянного тока, а также асинхронные двигатели с частотным регулированием; на шариковом винте или непосредственно на валу двигателей, перемещающих суппорт в поперечных и продольных направлениях, устанавливают фотоимпульсные датчики, следящие за исполнением заданных перемещений и сообщающие эту информацию в устройство с ЧПУ. Последнее выдает соответствующие команды приводам подач. В результате повысилась точность позиционирования, а скорость быстрых перемещений суппорта возросла до 30 м / мин.

В приводах подач станков ЧПУ нашли широкое применение передачи «винт — гайка качения» (далее — ВГК). Преимущество таких передач перед обычными винтовыми парами скольжения в том, что пары качения имеют высокий КПД и при выборке люфта образуют беззазорную передачу со сравнительно высокой осевой жесткостью.

Передача состоит из винта, гайки, комплекта шариков и устройства для их возврата. Шарiki перемещаются между винтом и гайкой по замкнутому контуру (витку). В станках с ЧПУ применяют гайки, имеющие три рабочих контура. Шарiki дают возможность затянуть гайку таким образом, чтобы исключить зазор в передаче.

Наиболее распространена конструкция винтовой пары (рис. 1.1) с гайками 2 и 3, снабженными зубчатыми венцами. Число зубьев венцов отличается на единицу. Венцы гаек входят в соответствующие зубчатые венцы корпуса 4. Для тонкой осевой регулировки корпус 4 (с гайками 2 и 3) свинчивают на специальную втулку 5, надетую на хвостовик винта 1. Затем выводят зубчатые венцы обеих гаек из зацепления с корпусом и поворачивают гайки на одно и то же число зубьев в одну сторону. Неодинаковые углы поворота гаек обуславливают осевое сближение профилей их резьбы. В отрегулированной винтовой паре проверяют момент холостого хода и осевую жесткость. Для нормальной работы винтовой пары момент холостого хода должен быть минимальным, а осевая жесткость — максимальной. Увеличение осевой жесткости путем увеличения предварительного натяга в передаче приводит к росту момента холостого хода. Кроме того, чрезмерный предварительный натяг может снизить долговечность винтовой пары. Высокая осевая жесткость ходовых винтов обеспечивается также жесткой конструкцией их опор. Представим опоры (с предварительным натягом) ходового винта, сопряженного с гайкой привода продольного перемещения (рис. 1.2).

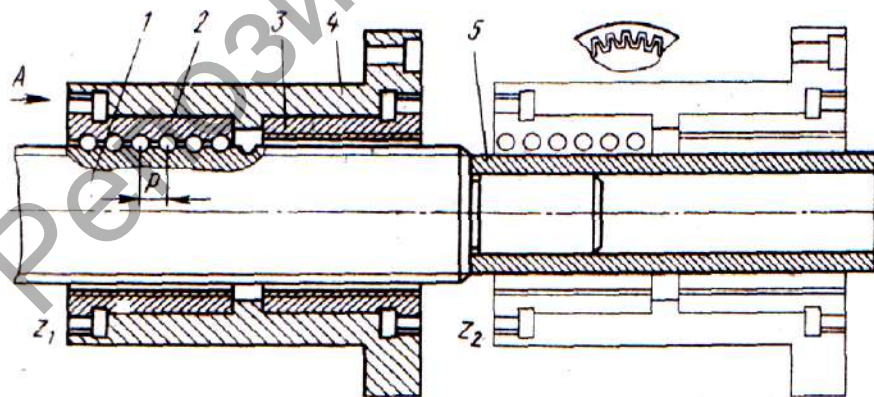


Рисунок 1.1 — Схема регулировки осевого натяга в винтовой паре качения

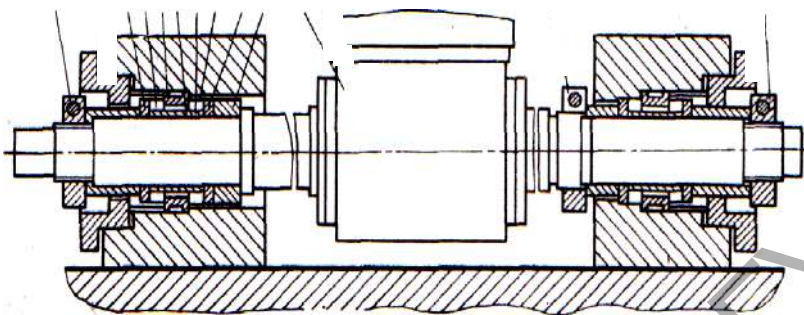


Рисунок 1.2 — Опоры (с предварительным натягом) ходового винта

### *Схемы возможных приводов подачи и их характеристики [11; 12]*

Приводами подачи с бесступенчатым регулированием оснащают станки с ЧПУ, гибкие производственные модули, станки с адаптивным управлением. Приводы должны обеспечивать широкий диапазон режимов обработки, максимальную производительность, высокую точность позиционирования исполнительных органов.

Для роста производительности станка предусматривают скорость быстрого хода исполнительных узлов 15 м/мин и более, а в легких токарных и сверлильных станках с малыми ходами — высокое быстродействие привода (время разгона до максимальной скорости не превышает 0,2 с).

Благодаря регулированию электродвигателя и упрощению механической части снижается нагрузка на двигатель, повышается КПД привода, снижается его момент инерции, повышается точность исполнения команд. Поскольку доля силы резания в общей нагрузке на привод подачи значительна и в процессе обработки сила резания изменяется в широком диапазоне, требования к статической и динамической жесткости приводов подач станков с ЧПУ намного выше, чем к приводам подач традиционных станков.

Рассмотрим схемы приводов подач с бесступенчатым регулированием [11; 12; 15].

1. Используются регулируемые высокомоментные, вентильные (синхронные) или асинхронные электродвигатели. Соединительно-предохранительная муфта допускает наличие смещения оси двигателя относительно оси ходового винта. Предохранительная часть муфты защищает привод от поломок в аварийной ситуации. Датчик обратной

связи производит отсчет перемещений. Круговой измерительный преобразователь пути устанавливают на ходовой винт или вал двигателя. В этом случае тяговый механизм привода подачи не охвачен обратной связью и его погрешности переносятся на обрабатываемую деталь. Представим тяговый механизм подачи без обратной связи (рис. 1.3).

2. В следящих приводах с замкнутым контуром обратной связи линейный измерительный преобразователь устанавливают на столе станка. Эти приводы характеризуются высокой точностью и пригодны для прецизионных станков. Рассмотрим тяговый механизм подачи с замкнутым контуром обратной связи (рис. 1.4).

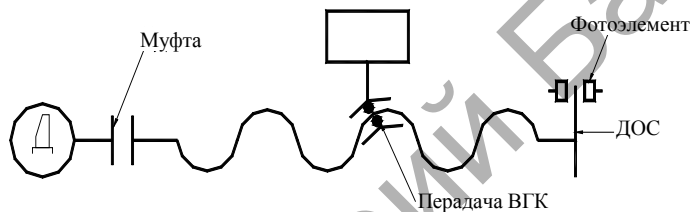


Рисунок 1.3 — Тяговый механизм подачи без обратной связи

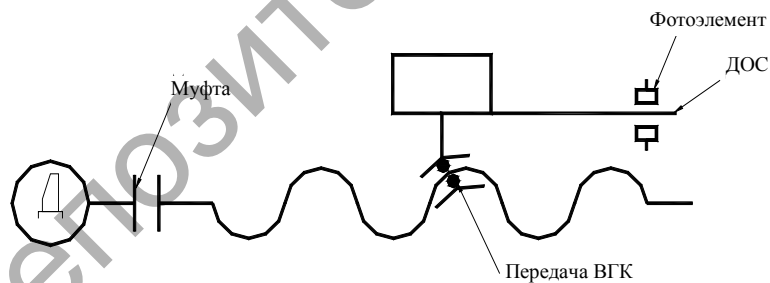


Рисунок 1.4 — Тяговый механизм подачи с замкнутым контуром обратной связи

3. В конструктивных целях и в целях повышения момента на ходовом винте применяют зубчатый редуктор. Изобразим тяговый механизм подачи указанной конструкции (рис. 1.5).

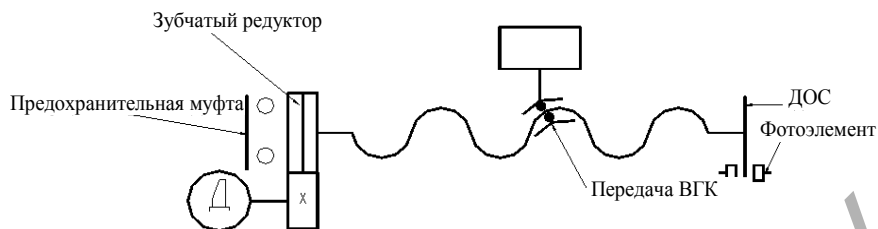


Рисунок 1.5 — Тяговый механизм подачи с зубчатым редуктором на ходовом винте

4. Редуктор выполнен в виде зубчато-ременной передачи, на шкив устанавливается предохранительная муфта. Представим тяговый механизм подачи указанной конструкции (рис. 1.6).

Рассмотрим ряд комплектующих по приводам подач различных фирм (рис. 1.7—1.9).

Роликовые направляющие “Star” разработаны главным образом для станочного оборудования и промышленных роботов, для которых требуются компактные направляющие на роликах, с различными классами точности, большой нагружаемостью и высокой жесткостью.

Шины и каретки в местах работы роликов выполняются с особой точностью, что обеспечивает взаимозаменяемость отдельных элементов. Это же позволяет комбинировать элементы в пределах одного класса точности. Каждый элемент может доставляться и храниться отдельно.

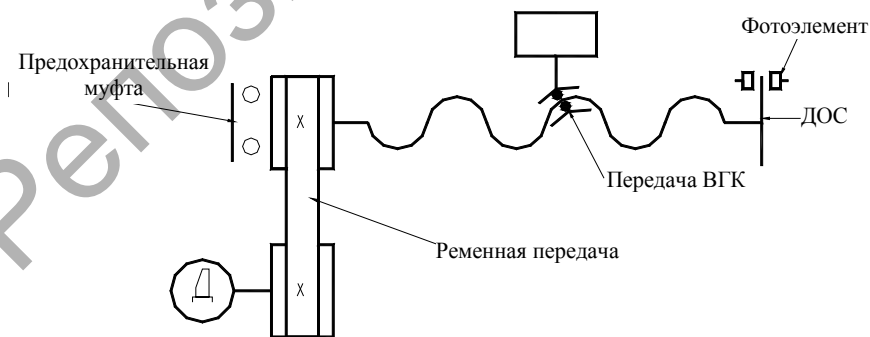


Рисунок 1.6 — Тяговый механизм подачи с зубчато-ременной передачей на ходовом винте и предохранительной муфтой

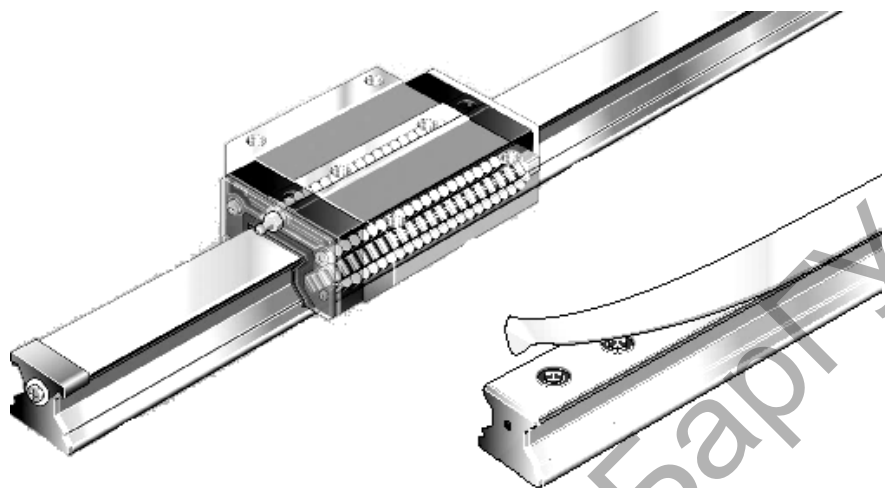


Рисунок 1.7 — Роликовые направляющие фирмы “Rehroth”

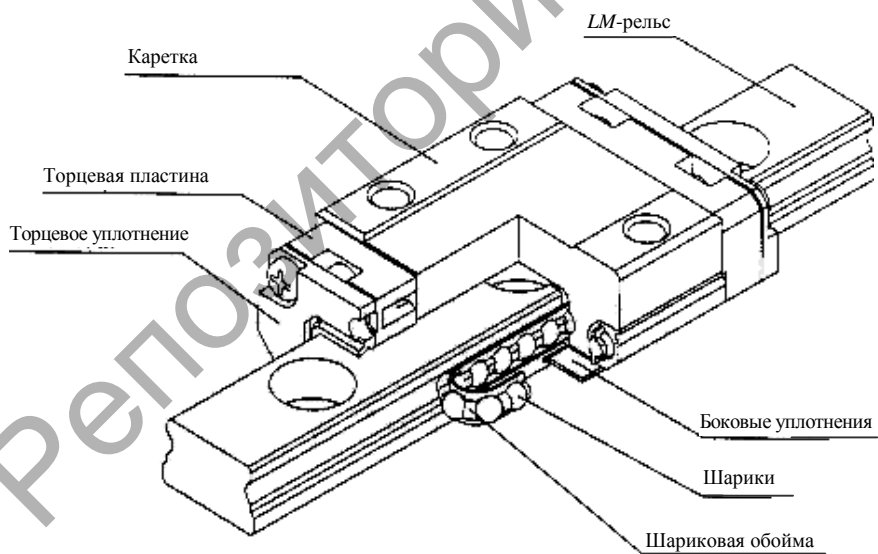


Рисунок 1.8 — Шариковые направляющие фирмы «ТНК»

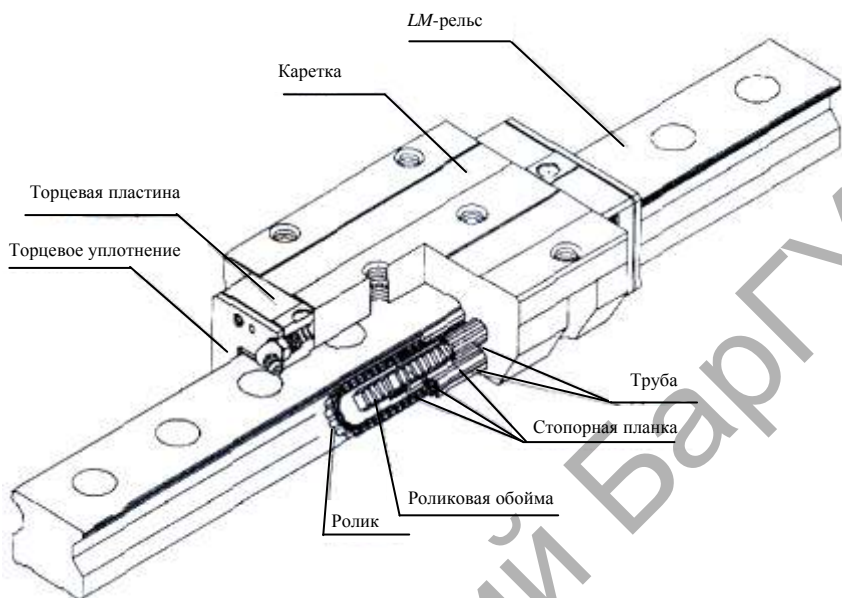


Рисунок 1.9 — Роликовые направляющие фирмы «ТНК»

### ***Устройство для очистки шинной направляющей***

Предлагаемое устройство для закрепления на совершающей возвратно-поступательное движение части станка служит для сброса находящихся на направляющей стружки и пыли. Оно имеет наружный листовой скребок, закрепленный на нем пластмассовый скребок с губкой и расположенную за ними присасывающую пластину, состоящие из войлока или пенопласта. Все эти элементы расположены в общем корпусе с выемками для приема смазочной жидкости для планки. Благодаря этому устройство работает с малым трением (рис. 1.10).

Также на каждой шине возможна установка гофрированных рукавов (см. рис. 1.7). Термостойкий гофрированный рукав, выполненный из ткани с двусторонней металлизацией, не горит и не воспламеняется, стойкий при попадании искр, капель сварки или горячей стружки.

В приводах линейных перемещений используются торцесмазывающие узлы (рис. 1.11).

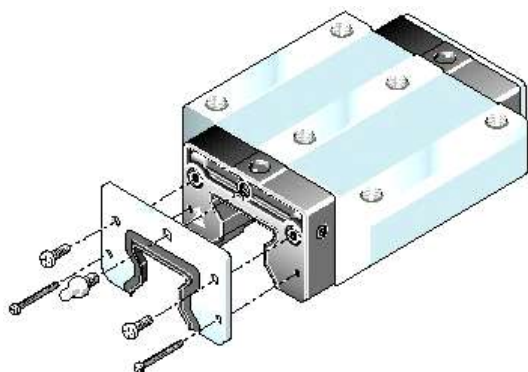


Рисунок 1.10 — Схема установки скребка

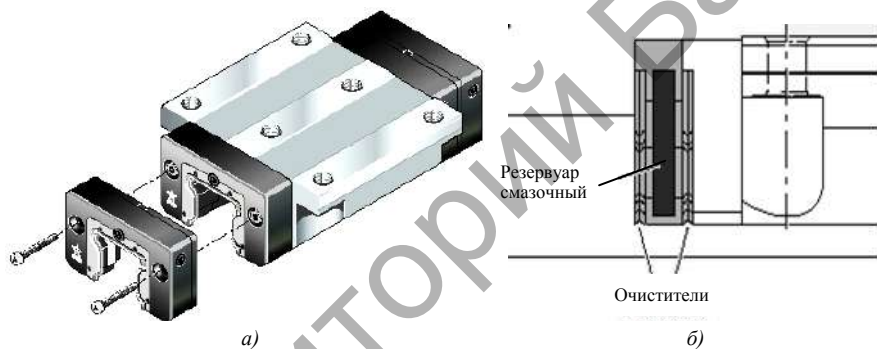


Рисунок 1.11 — Торцесмазывающие узлы “KSF”

Преимущества данных узлов при монтаже и эксплуатации заключаются в следующем: наработка до 10 000 Км; требуется только первичная смазка каретки; смазочные узлы находятся на двух сторонах каретки; очень малые потери смазки; уменьшенная потребность в смазке; отсутствие смазочных трубопроводов; рабочая температура до 60°C.

Для первичного заполнения смазочного узла рекомендуется масло MOBIL SHC 639 (вязкость 1 000 мм<sup>2</sup>/с при 40°C).

Заполнение кареток осуществляется консистентной смазкой K2K по DIN 51825.

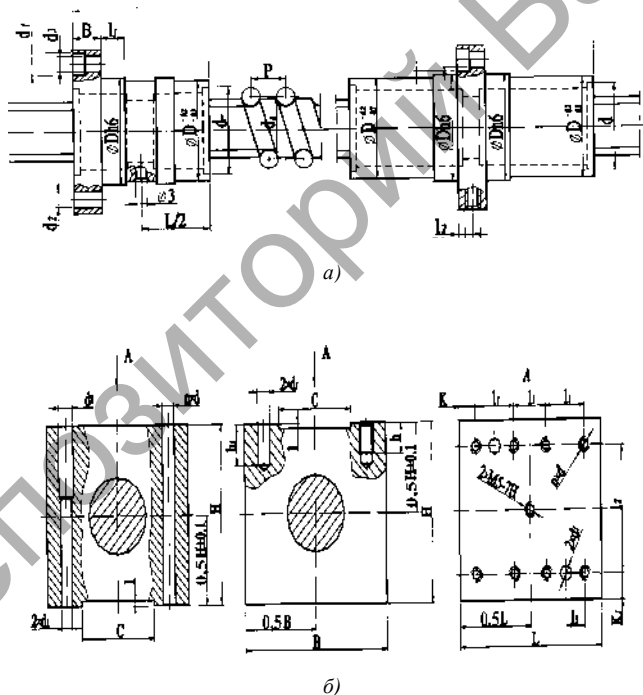
После наработки смазочный узел необходимо проверить. При наработке 100 000 км (после 3 лет работы) рекомендуется сменить смазочный узел и перед монтажом нового смазочного узла заполнить каретку смазкой. При чистых условиях работы смазка в каретку может

подаваться в отверстие в торце, через смазочный узел. Смазочные узлы периодически дозаполняются маслом.

Из широкой номенклатуры видов шарико-винтовых механизмов в данном дипломном проекте будем использовать механизмы “Star”, “Rexroth”.

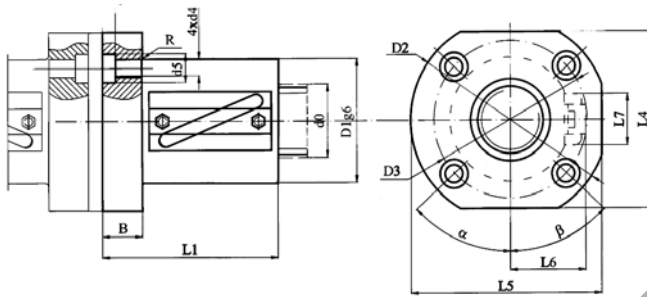
Преимущества шарико-винтовых приводов по сравнению с приводом с трапецеидальной резьбой: коэффициент полезного действия, не превышающий у трапецеидальной резьбы 50%, у шарико-винтового привода достигает 98%; значительно больший ресурс благодаря отсутствию трения скольжения; малые потери мощности; отсутствие схватывания резьбы и движения рывками; точное позиционирование; большие рабочие скорости; малый нагрев.

Представим типовые конструкции шарико-винтовых передач фирмы “Micron” (рис. 1.12).

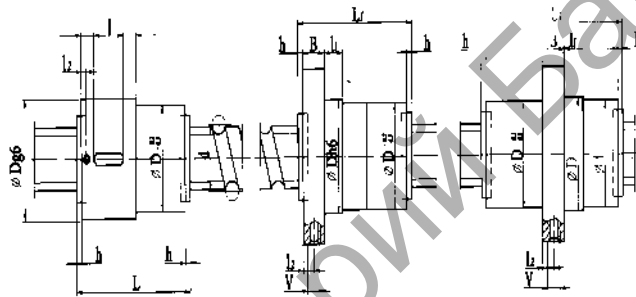


a — OMB01, OMB05; б — OMB10, OMB15; в — OMB20;  
 г — OMB25, OMB30, OMB35; д — OMB45; е — OMB50

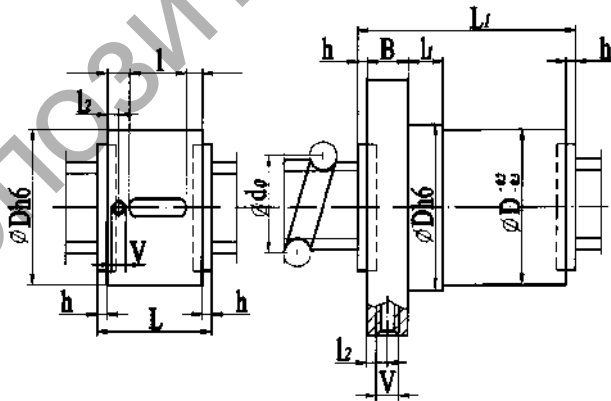
Рисунок 1.12 — Типовые конструкции шарико-винтовых передач, предлагаемых фирмой “Micron”



e)

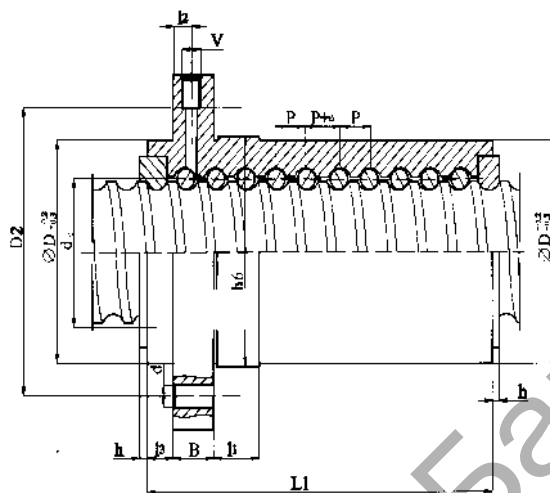


e)



d)

Рисунок 1.12 — Продолжение



e)

Рисунок 1.12 — Окончание

Представим конструктивное оформление шарико-винтовых пар различных фирм (рис. 1.13—1.15).



Одиная гайка с предварительным натягом

Рисунок 1.13 — Шарико-винтовая пара



Рисунок 1.14 — Шарико-винтовая пара фирмы «ТНК»



Рисунок 1.15 — Шарико-винтовые приводы фирмы “Star”



б)

Рисунок 1.15 — Окончание

Широкое применение нашли линейные измерительные системы. Считывающий датчик устанавливается на подвижной каретке, на боковой поверхности шины наносится светочувствительная полоса. Точность измерения — до 0,025 мкм.

Покажем линейно-измерительную систему фирмы “Star” (рис. 1.16).

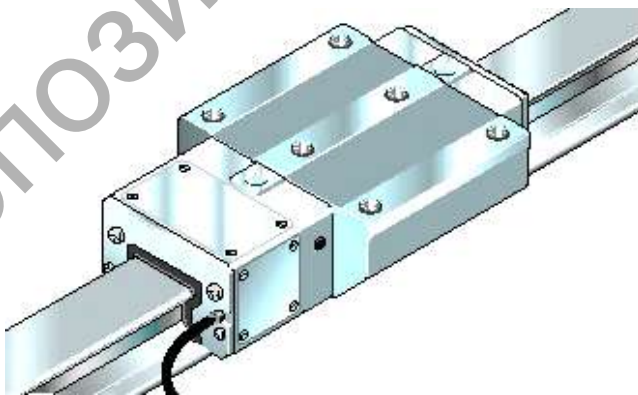


Рисунок 1.16 — Линейная измерительная система фирмы “Star”

### 1.2.2 Предварительный расчет привода продольной подачи [11; 12; 15]

Передача ВГК обладает свойствами, позволяющими применять ее как в приводах подач без отсчета перемещений (универсальных станков, силовых столов агрегатных станков), так и в приводах подач и позиционирования станков с ЧПУ. Механизмы ВГК также используются в приводах подач столов, суппортов, траверс почти всех станков.

Для передачи характерны высокий КПД (0,8...0,9), небольшое различие между силами трения движения и покоя, незначительное влияние частоты вращения винта на силу трения в механизме, полное отсутствие осевого зазора. Недостатками являются высокая стоимость, пониженное демпфирование, отсутствие самоторможения.

В соответствии с DIN 69 051 (часть 1) [24] шарико-винтовой привод определяется как винтовой приводной механизм с шариками, работающими в режиме качения. Он предназначен для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот.

#### ***Критерии выбора шарико-винтовых приводов***

Для расчета шарико-винтового привода существенны следующие исходные данные: требования к точности (отклонения хода), нагрузка, ресурс, предельная скорость вращения, продольная устойчивость, жесткость / люфт, коэффициент скорости вращения.

Чтобы получить конструктивно и экономически оптимальное решение, необходимо учитывать следующее: 1) шаг является решающим фактором для допустимой нагрузки (определяется также максимальным диаметром шариков); 2) при расчете необходимо принимать не крайние, а средние значения величины нагрузки и скорости вращения.

#### ***Выбор шарико-винтовой пары***

Ресурс машины при длительности включения шарико-винтового привода 60% должен составлять 40 000 ч. При изменяющихся режимах работы (переменные скорость вращения и нагрузка) ресурс рассчитывается на основе средних значений нагрузки  $F_{ам}$  (Н) и средней скорости вращения  $n_{(мин^{-1})}$  по формулам:

$$F_{ам} = \sqrt[3]{F_1^3 \cdot \frac{n_1}{n_m} \cdot \frac{q_1}{100} + F_2^3 \cdot \frac{n_2}{n_m} \cdot \frac{q_2}{100} K + F_n^3 \cdot \frac{n_n}{n_m} \cdot \frac{q_n}{100}}, \quad (1.1)$$

где  $F_1, F_2, F_n$  — нагрузки при различных режимах работы;  
 $q$  — общая длительность работ, %;

$$n_m = \frac{q_1}{100} \cdot n_1 + \frac{q_2}{100} \cdot n_2 + K + \frac{q_n}{100} \cdot n_n \quad (1.2)$$

Значения нагрузок для различных условий следующие:

- сверление:  $F_1 = 5\,500$  Н,  $q_1 = 40\%$ ,  $n_1 = 4$  об. / мин;
- точение чистовое:  $F_2 = 1\,500$  Н,  $q_2 = 30\%$ ,  $n_2 = 20$  об. / мин;
- холостой ход:  $F_3 = 20$  Н,  $q_3 = 20\%$ ,  $n_3 = 3\,000$  об. / мин;
- режим разгона:  $F_4 = 5\,020$  Н,  $q_4 = 10\%$ ,  $n_4 = 3\,000$  об. / мин.

Тяговая сила при движении на быстром ходу  $Q_{б.х}$  определяется по формуле

$$Q_{б.х} = n'T_0, \quad (1.3)$$

где  $n'$  — число граней направляющих, равное 4;

$T_0$  — сила трения при движении, Н.

Начальная сила трения на одной грани примерно равна  $T_0 = 4 \dots 5$  Н [21].

По формуле (1.3) определяем тяговую силу  $Q_{б.х}$  при движении на быстром ходу:

$$Q_{б.х} = 20 \text{ Н.}$$

Тяговая сила при разгоне  $Q_{разг}$  определяется по формуле

$$Q_{разг} = n'T_0 + ma, \quad (1.4)$$

где  $m$  — масса стола, равная 2 000 кг;

$a$  — ускорение стола при разгоне от 0 до максимальной величины рабочей подачи, м / с<sup>2</sup>, определяемое по формуле

$$a = V / \Delta t, \quad (1.5)$$

где  $V$  — максимальная скорость быстрого хода, м / с,  
 ( $V = 30\,000$  мм / мин);

$\Delta t$  — время изменения подачи от 0 до максимума ( $t = 0,2$  с).

Например:

$$a = \frac{30\,000 \cdot 0,001}{60 \cdot 0,2} = 2,5 \text{ м/с}^2;$$

$$Q_{\text{разг}} = 4 \cdot 5 + 2\,000 \cdot 2,5 = 5\,020 \text{ Н.}$$

Среднюю скорость вращения  $n_m$  рассчитаем по формуле (1.2):

$$n_m = \frac{40}{100} \cdot 4 + \frac{30}{100} \cdot 20 + \frac{20}{100} \cdot 3\,000 + \frac{10}{100} \cdot 3\,000 = 908 \text{ мин}^{-1}.$$

Среднюю нагрузку при переменных нагрузке и скорости вращения  $F_{am}$  рассчитаем по формуле (1.1):

$$F_{am} = \sqrt[3]{5\,500^3 \cdot \frac{41}{908} \cdot \frac{40}{100} + 1\,500^3 \cdot \frac{20}{908} \cdot \frac{30}{100} + 20^3 \cdot \frac{3\,000}{908} \cdot \frac{20}{100} + 5\,020^3 \cdot \frac{3\,000}{908} \cdot \frac{10}{100}} = 3\,500 \text{ Н.}$$

Найдем требуемый ресурс  $L$  по формуле

$$L = L_h n_m \cdot 60,$$

где  $L_h$  — ресурс, который определяется следующим образом: ресурс машины в часах умножается на длительность включения привода и делится на 100, ч:

$$L_h = 40\,000 \cdot 60 / 100 = 24\,000 \text{ ч.}$$

Тогда

$$L = 24\,000 \cdot 908 \cdot 100 = 1\,307\,520\,000 \text{ об.}$$

Рассчитаем допустимую динамическую нагрузку  $C$  по формуле

$$C = F \cdot a m^3 \sqrt{\frac{L}{10^6}}; \quad (1.6)$$

$$C = 3\,500 \sqrt[3]{\frac{1\,307\,520\,000}{10^6}} = 38\,150 \text{ Н.}$$

По полученным данным подбираем передачу ВГК фирмы “Rexroth” FDM-E-S  $40 \times 10R \times 6-4$ , статическая грузоподъемность  $C_{0am} = 86,40$  кН; динамическая грузоподъемность  $C_{am} = 50,0$  кН. Фланцевая двойная гайка.

### **Определение вращающего момента на ходовом винте**

Вращающий момент  $M_{x.v}$  на валу определяется по формуле

$$M_{x.v} = \frac{Qp}{2\pi\eta_B},$$

где  $p$  — шаг винтовой передачи;

$\eta_B$  — КПД винтовой передачи ( $z_B = 0,8 \dots 0,9$ ).

Принимаем  $\eta_B = 0,80$ , тогда

$$M_{x.v}^p = \frac{5\,500 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,80} = 10,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{x.v}^{б.х} = \frac{20 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,80} = 0,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{x.v}^{\text{разг}} = \frac{5\,020 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,80} = 10,1 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где  $M_{x.v}^p$  — момент при обработке;

$M_{x.v}^{б.х}$  — момент при быстрых ходах;

$M_{x.v}^{\text{разг}}$  — момент при разгоне.

Частоту вращения ходового винта на быстром ходу  $n_{б.х}$  определяем по формуле

$$n_{б.х} = V/p, \quad (1.7)$$

где  $V$  — скорость быстрого хода суппорта, м / мин ( $V = 30$  м / мин);

$p$  — шаг ходового винта, м;

$$n_{б.х} = \frac{30}{0,01} = 3\,000 \text{ мин}^{-1}.$$

### ***Предварительный выбор электродвигателя***

При повторно-кратковременном режиме двигатель выбирают с учетом продолжительности включения, т. е. по моменту  $M_{C_{ПВ}}$ , определяемому по формуле

$$M_{C_{ПВ}} = M_c^n \frac{ПВ}{100} = 14,9 \frac{60\%}{100} = 8,94 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Исходя из вышеприведенных расчетов, подбираем синхронный серводвигатель фирмы “Siemens” серии 1FT5074-1AF71. Приведем основные параметры этого двигателя (табл. 1.1).

Т а б л и ц а 1.1 — Конфигурация двигателя 1FT5074-1AF71

Показатель	Значение
Статический момент $M_0$ , Н · м	25,0
Максимальный момент $M_{max}$ , Н · м	34,0
Момент инерции ротора (без тормоза) $J$ , $10^{-4}$ кг · м <sup>2</sup>	36,7
Максимальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	3 000,0
Мощность, кВт	6,9

Трехфазные серводвигатели обеспечивают почти постоянный момент вращения и постоянную допустимую нагрузку во всем диапазоне регулирования частоты вращения.

Двигатель фланцевого исполнения, в котором предусмотрен тахогенератор, датчик положения ротора. Вал двигателя гладкий.

### 1.2.3 Предварительный расчет привода поперечной подачи

#### Выбор шарико-винтовой пары

Ресурс машины при длительности включения шарико-винтового привода 60% должен составлять 40 000 ч. При изменяющихся режимах работы (переменные скорость вращения и нагрузка) ресурс рассчитывается на основе средних значений  $F_m$  и  $n_m$  по формулам (1.1) и (1.2).

Значения нагрузок для различных условий следующие:

- холостой ход:  $F_3 = 20$  Н,  $q_3 = 20\%$ ,  $n_3 = 3\ 000$  об. / мин;
- режим разгона:  $F_4 = 3\ 770$  Н,  $q_4 = 10\%$ ,  $n_4 = 3\ 000$  об. / мин;
- тяговая сила при движении на рабочем ходу  $Q = 6\ 500$  Н;
- тяговая сила при движении на быстром ходу находится из формулы (1.3);
- начальная сила трения на одной грани  $T_0 \approx 4 \dots 5$  Н; тогда  $Q_{б.х} = 20$  Н;
- тяговая сила при разгоне вычисляется по формуле (1.4);
- масса шпиндельной бабки  $m = 1\ 500$  кг;
- из формулы (1.5) находим ускорение;
- максимальная скорость быстрого хода  $V = 30\ 000$  мм / мин;
- время изменения подачи от 0 до максимума  $t = 0,2$  с.

$$a = \frac{30\ 000 \cdot 0,001}{60 \cdot 0,2} = 2,5 \text{ м / с}^2;$$

$$Q_{\text{разг}} = 4 \cdot 5 + 1500 \cdot 2,5 = 3\ 770 \text{ Н.}$$

Рассчитаем среднюю скорость вращения по формуле (1.2):

$$n_m = \frac{20}{100} \cdot 3\ 000 + \frac{10}{100} \cdot 3\ 000 = 900 \text{ мин}^{-1}.$$

Вычислим среднюю нагрузку  $F_{am}$  при переменных нагрузке и скорости вращения по формуле (1.1):

$$F_{am} = \sqrt[3]{20^3 \cdot \frac{3\ 000}{900} \cdot \frac{20}{100} + 3\ 770^3 \cdot \frac{3\ 000}{900} \cdot \frac{10}{100}};$$

$$F_{am} = 2\ 450 \text{ Н.}$$

Найдем требуемый ресурс  $L$  по зависимости

$$L = 24\,000 \cdot 900 \cdot 60 = 13,0 \cdot 10^7 \text{ об.}$$

Рассчитаем допустимую динамическую нагрузку  $C$  по формуле (1.6):

$$C = 2\,450 \sqrt[3]{\frac{1\,300\,000\,000}{10^6}} = 26\,705 \text{ Н.}$$

По полученным данным подбираем передачу ВГК фирмы “Rexroth” SEM-E-S  $32 \times 10R \times 3.5-4$ , статическая грузоподъемность  $C_{0am} = 58,3 \text{ кН}$ ; динамическая грузоподъемность  $C_{am} = 31,7 \text{ кН}$ .  
Фланцевая одинарная гайка.

#### ***Определение вращающего момента на ходовом винте***

Коэффициент полезного действия винтовой передачи принимаем  $\eta_{\text{в}} = 0,8$ , тогда

$$M_{\text{х.в}}^{\text{р}} = \frac{4\,500 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,80} = 8,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{х.в}}^{\text{б.х}} = \frac{29 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,80} = 0,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{х.в}}^{\text{разг}} = \frac{2\,450 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,80} = 4,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

#### ***Определение частоты вращения ходового винта при быстрых перемещениях***

Частоту вращения ходового винта на быстром ходу  $n_{\text{б.х}}$  определяем по формуле

$$n_{\text{б.х}} = \frac{30\,000 \cdot 0,001}{0,01} = 3\,000 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{\text{б.х}} = \frac{30}{0,01} = 3\,000 \text{ мин}^{-1}.$$

Скорость быстрого хода суппорта  $V = 30\,000 \text{ мм / мин.}$

### **Предварительный выбор электродвигателя**

При повторно-кратковременном режиме двигатель выбирают с учетом продолжительности включения (ПВ), т. е. по моменту, с помощью формулы

$$M_{\text{СПВ}} = M_{\text{с}}^{\text{н}} \frac{\text{ПВ}}{100} = 8,9 \frac{60\%}{100} = 5,34 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Исходя из вышеприведенных расчетов, подбираем синхронный серводвигатель фирмы “Siemens” серии 1FT5074-1AF71. Приведем основные параметры этого двигателя (табл. 1.2).

Таблица 1.2 — Конфигурация двигателя 1FT5074-1AF71

Показатель	Значение
Статический момент $M_0$ , Н · м	25,0
Максимальный момент $M_{\text{max}}$ , Н · м	34,0
Момент инерции ротора (без тормоза) $J$ , $10^{-4}$ кг · м <sup>2</sup>	36,7
Максимальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	3 000,0
Мощность, кВт	5,7

#### **1.2.4 Уточненный расчет привода подачи**

##### **Проверка правильности выбора электродвигателя (продольный привод)**

Определение предельных значений скорости вращения ротора двигателя.

Скорость движения рабочего органа станка  $V$  (мм/мин) равна скорости минутной подачи. Передаточное отношение редуктора  $I$  определяется как отношение частоты вращения его выходного вала  $n_{\text{в}}$  к частоте вращения вала двигателя. Когда конечным звеном привода служит передача «винт—гайка» с шагом  $p$ , частота вращения вала двигателя определяется по зависимости.

Частоту вращения ходового винта на быстром ходу определяем по формуле

$$n_{\text{б.х}} = \frac{30}{0,01} = 3\,000 \text{ мин}^{-1}.$$

Приведенная к валу двигателя масса поступательно перемещающихся частей  $I_{\text{п}}$  определяется по формуле

$$I_{\text{п}} = \frac{mp^2i^2}{4\pi^2},$$

где  $m$  — масса исполнительного органа станка (вместе с заготовкой), кг;  
 $p$  — шаг винта, мм;  
 $i$  — передаточное отношение цепи передач (отсутствует).

$$I_{\text{п}} = \frac{2000 \cdot 0,01^2}{4 \cdot 3,14^2} = 50,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Для определения момента инерции ходового винта воспользуемся данными, приведенными в каталоге “Rexroth”: момент инерции обкатанного прецизионного вала  $40 \times 10R \times 6 J_s = 13,53 \text{ кг} \cdot \text{см}^2 / \text{м}$ .

Следовательно,  $I_{\text{в}} = 13,53 \cdot 10^{-4} \cdot 1,36 \text{ м} = 18,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Момент инерции предохранительно-соединительной муфты  $I_{\text{м}} = 19,71 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Окончательно приведенный к валу двигателя момент инерции механической части привода

$$I = (36,7 + 50,7 + 18,4 + 19,71) \cdot 10^{-4} = 125,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

### ***Определение статического момента привода***

Составляющими приведенного к валу двигателя момента статического сопротивления  $M_{\text{с}}$  являются: момент от силы резания  $M_{\text{р}}$ , момент от силы тяжести узлов, перемещаемых в вертикальной плоскости,  $M_{\text{Г}}$ , момент от силы трения в механизмах привода  $M_{\text{Т}}$ . Статический момент сопротивления  $M_{\text{с}}$  определяется по формуле

$$M_{\text{с}} = M_{\text{р}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{Т}} = M_{\text{р}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{Т.в}} + M_{\text{Т.н}} + M_{\text{Т.п}},$$

где  $M_{\text{р}}$  — момент от тягового усилия, Н · м;

$M_{\text{Г}}$  — момент от силы тяжести узлов, Н · м;

$M_{\text{Т.в}}$  — момент от силы трения в винтовом механизме, Н · м;

$M_{т.н}$  — момент от силы трения в направляющих, Н · м;

$M_{т.п}$  — момент от силы трения в опорах ходового винта, Н · м.

Определяем составляющие  $M_G$  и  $M_p$  приведенного к валу двигателя момента статического сопротивления по формулам:

$$M_p = \frac{P_z p}{2\pi\eta_B},$$

где  $P_z$  — тяговая сила, Н;

$p$  — шаг винтовой передачи, м;

$\eta_B$  — КПД винтовой передачи качения;

$$M_p = \frac{7500 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 14,05 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_G = \frac{Gp}{2\pi\eta_B},$$

где  $G$  — вес стола, Н;

$$G = mg = 19\,620 \text{ Н};$$

$$M_G = \frac{19\,620 \cdot 0,01}{2\pi \cdot 0,85} = 26 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{т.н} = \frac{F_{т.н} p}{2\pi\eta_B},$$

где  $F_{т.н}$  — сила трения в направляющих, Н, определяемая по формуле

$$F_{т.н} = mgf,$$

$$F_{т.н} = 2\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,002 = 39,24 \text{ Н}.$$

$$\text{Тогда } M_{т.н} = \frac{39,24 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 0,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент в винтовом механизме:

$$M_{т.в.} = M_{х.х.},$$

где  $M_{х.х.}$  — момент холостого хода шарико-винтового механизма, Н · м:

$$M_{х.х.} = 0,5 P_n^1 k_z Z_1 u d_k [\sin(\beta + \varphi) - \sin(\beta - \varphi)], \quad (1.8)$$

где  $P_n^1$  — сила натяга, приходящаяся на один шарик, Н;

$Z_1$  — число рабочих шариков в одном винте гайки;

$k_z$  — коэффициент, учитывающий погрешность изготовления шарико-винтового механизма ( $k_z = 0,8 \dots 0,9$ );

$u$  — число рабочих витков гайки;

$d_k$  — диаметр цилиндра, на котором находятся точки контакта шариков с винтом, м;

$\beta$  — угол подъема винтовой канавки на ходовом винте, град.;

$\varphi$  — приведенный угол трения, град.

Все перечисленные параметры берутся из каталога.

Тогда получаем

$$M_{х.х.} = 0,5 \cdot 350 \cdot 0,85 \cdot 38 \cdot 4 \cdot 0,045 \cdot [\sin(3,64^\circ + 0,27^\circ) - \sin(3,64^\circ - 0,27^\circ)] = 9,58 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{т.в.} = 9,58 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенный к валу двигателя момент трения в опорах ходового винта определяем по формуле

$$M_{т.п.} = \frac{(P + F_{т.н.}) \mu d_m k}{3 \eta_B},$$

где  $\mu$  — условный коэффициент трения ( $\mu = 0,003 \dots 0,004$  м);

$d_m$  — средний диаметр подшипника, м;

$k$  — коэффициент, учитывающий конструкцию опор ходового винта ( $k = 5$ );

$$M_{т.п.} = \frac{(7500 + 39,24) \cdot 0,004 \cdot 0,045 \cdot 5}{3 \cdot 0,85} = 2,66 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом,

$$M_c = 14,05 + 26 + 0,07 + 9,58 + 2,66 = 52,36 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим статический момент привода при установившемся движении рабочего органа на быстром ( $M_c$ ) ходу по формуле

$$M_c' = M_G + M_{г.н} + M_{г.в} + M_{г.п},$$

$$M_c' = 26 + 0,07 + 9,58 + 2,66 = 38,31 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

при обработке резанием:

$$M_c'' \approx M_c = 38,31 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Выбор двигателя по статическому моменту привода.

Так как привод работает в повторно-кратковременном режиме с ПВ 60%, то двигатель выбираем по моменту  $M_{C_{ПВ}}$ , определяемому по формуле

$$M_{C_{ПВ}} = M_c'' \cdot \frac{\text{ПВ}}{100} = 38,31 \cdot \frac{60}{100} = 22,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверяем, подходит ли двигатель для привода по выполнению двух условий:

$$M_n > M_{C_{ПВ}},$$

$$M_n > M_C^{-1}, \text{ при } n \geq n_{б.х}.$$

Получаем:

- 1)  $25 \text{ Н} \cdot \text{м} > 22,98 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;
- 2)  $25 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$  при 3 000 об. / мин.

Оба условия выполняются.

## Расчет передачи ВГК

### *Расчет винта на устойчивость по критической осевой силе*

Расчет ведется по рекомендациям “Rexroth” [11].

Представим расчетную схему для определения длины ходового винта (рис. 1.17).

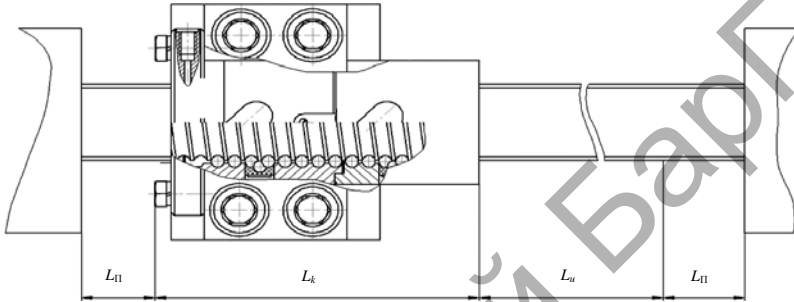


Рисунок 1.17 — Расчетная схема для определения длины ходового винта

Найдем расчетную длину неопорной части ходового винта  $L$  по формуле

$$L = l_u + l_k + 2l_{\text{п}},$$

где  $l_u$  — перемещение исполнительного органа станка ( $l_u = 1\,200$  мм);

$l_k$  — длина корпуса гайки, ( $l_k = 140$  мм);

$l_{\text{п}}$  — длина перебега ( $l_{\text{п}} = 20$  мм);

$$L = 1\,200 + 140 + 2 \cdot 20 = 1\,380 \text{ мм.}$$

Длина винта шарико-винтовой пары между опорными шейками ограничивается критической осевой силой ( $F_{\text{кр}}$ , кН) и определяется по формуле

$$F_{\text{кр}} = f_{\text{FK}} \frac{d^4}{L^2} \cdot 10^4, \quad (1.9)$$

где  $f_{FK}$  — коэффициент вида установки ( $f_{FK} = 40,6$ );  
 $g$  — коэффициент запаса ( $g \geq 2$ );  
 $d$  — внутренний диаметр резьбы винта, мм ( $d = 33,8$ );

$$F_{кр} = 40,6 \cdot \frac{33,8^4}{1380^2} \cdot 10^4 = 27,8 \text{ кН.}$$

Определяем допустимую рабочую нагрузку  $F_{KZUL}$  по формуле

$$F_{KZUL} = \frac{F_{кр}}{2} = \frac{27,8}{2} = 13,9 \text{ кН.}$$

Из расчета видно, что значение критической осевой силы  $F_{кр}$  для винта диаметром 40 мм с числом рабочих контуров 4 составляет 13,9 кН, что больше, чем максимальное тяговое усилие:

$$7,5 \text{ кН} \leq 13,9 \text{ кН.}$$

Условие устойчивости выполняется.

#### ***Расчет винта на устойчивость по критической частоте вращения***

В моменты быстрых перемещений рабочего органа станка, когда винт вращается с высокой частотой, центробежные силы могут вызвать потерю его устойчивости, что проявляется в наступлении вибраций. Расчет ведется по рекомендациям “Rexroth” [11].

Критическая частота вращения винта  $n_k$  определяется по формуле

$$n_k = f_{FK} \frac{d}{L^2} \cdot 10^7,$$

где  $f_{FK} = 27,4$  — коэффициент вида установки.

Определяем допустимую рабочую скорость вращения:

$$n_k = 27,4 \cdot \frac{33,8}{1380^2} \cdot 10^7 = 4 \text{ 863 об. / мин.}$$

Максимальная частота вращения вала двигателя  
 $n_{max} = 3 \text{ 000 об. / мин} < n_k = 4 \text{ 863 об. / мин.}$

Следовательно, условие выполняется.

### Расчет предохранительно-соединительной муфты

В качестве предохранительного устройства двигателя от сгорания при превышении критического момента, а также для устранения возможных перекосов при установке двигателя используется шариковая комбинированная предохранительно-соединительная муфта фирмы “Maug” (рис. 1.18).

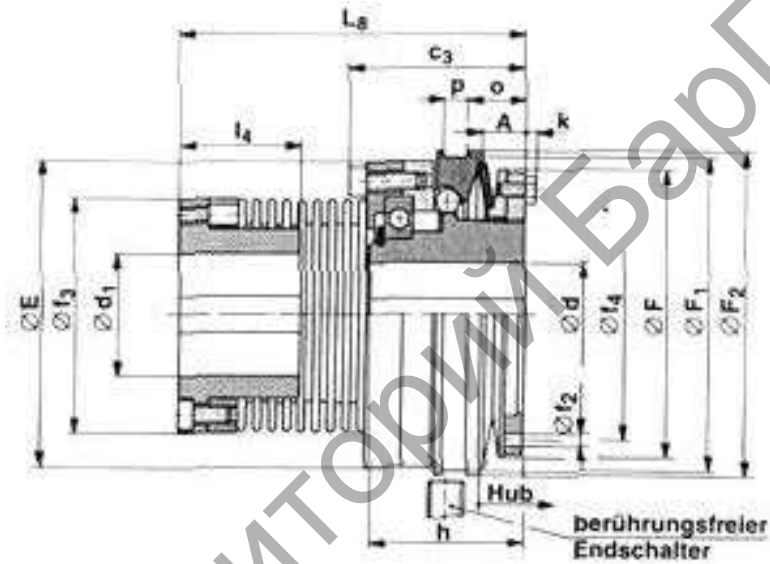


Рисунок 1.18 — Предохранительно-соединительная муфта “Maug”

Расчет муфты ведем по методике, изложенной в каталоге “Maug”.

Определяем момент  $M_{req}$ , необходимый для предварительного сцепления, по формуле

$$M_{req} = 1,5 M_n, \quad (1.10)$$

где  $M_n$  — номинальный момент на двигателе, Н · м;

$$M_{req} = 1,5 \cdot 25 = 37,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Показатель подачи перемещающегося узла  $V$  определяется по формуле

$$V = \frac{pn_2}{6 \cdot 10^4},$$

где  $n_2$  — частота вращения винта, об. / мин;

$$V = \frac{10 \cdot 3000}{6 \cdot 10^4} = 0,5 \text{ м / с.}$$

Угловая скорость вала двигателя и винта  $\omega$  рассчитывается по формуле

$$\omega = \frac{\pi n}{30};$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Момент инерции  $I_L$ , сведенный к винту передачи, определяется по формуле

$$I_L = m \frac{V^2}{\omega^2},$$

где  $m$  — масса перемещающихся узлов, кг;

$$I_L = 2000 \cdot \frac{0,5^2}{314^2} = 50,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расход энергии без муфты  $I_g$  определяется по формуле

$$I_g = I_M + I_s + I_{z_1} + I_L,$$

где  $I_g$  — момент инерции механической части привода без муфты, кг · м<sup>2</sup>;

$I_M$  — приведенный момент инерции двигателя ( $I_M = 36,7 \cdot 10^{-4}$  кг · м<sup>2</sup>);

$I_s$  — приведенный к валу двигателя момент инерции ходового винта  
( $I_s = 18,4 \cdot 10^{-4}$  кг · м<sup>2</sup>);

$I_{z_1}$  — приведенный к валу двигателя момент инерции шкива.

Окончательно приведенный к валу двигателя момент инерции механической части привода

$$I_g = (36,7 + 18,4 + 50,7) \cdot 10^{-4} = 105,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расход энергии  $W_g$  определяется по формуле

$$W_g = \frac{1}{2} I_g \omega^2;$$

$$W_g = 0,5 \cdot 105,8 \cdot 10^{-4} \cdot 3142 = 521 \text{ Дж.}$$

Расход энергии с муфтой  $I_2$  определяется по формуле

$$I_2 = I_N + I_s + I_{z_1} + I_L,$$

где  $I_N$  — приведенный к валу двигателя момент инерции полумуфты ( $I_N = 11,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ );

$$I_2 = (11,7 + 18,4 + 50,7) \cdot 10^{-4} = 80,8 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расход энергии  $W_2$  определяется по формуле

$$W_2 = \frac{1}{2} I_2 \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 80,8 \cdot 10^{-4} \cdot (314)^2 = 398 \text{ Дж.}$$

Разность энергии  $W_R$  определяется по формуле

$$W_R = \frac{W_2}{W_g}.$$

Освобожденная энергия  $\Delta W$  вычисляется по формуле

$$\Delta W = W_g - W_2;$$

$$\Delta W = 521 - 398 = 123 \text{ Дж.}$$

Требуемый момент разъединения в фазе ускорения  $M_A$  определяется по формуле

$$M_A = M_B \cdot \frac{I_2}{I_2 + I_1},$$

где  $M_B$  — максимальный момент на двигателе ( $M_B = 32 \text{ Н} \cdot \text{м}$ );

$I_1$  — приведенный момент инерции при разгоне ( $I_1 = I_M + I_N$ ).

Тогда  $I_1 = (36,7 + 11,7) \cdot 10^{-4} = 48,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Следовательно,

$$M_A = 32 \cdot \frac{80,8 \cdot 10^{-4}}{(80,8 + 48,4) \cdot 10^{-4}} = 20,01 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Настраиваемый предельный момент  $M_g$  определяется по формуле

$$M_g = 1,5M_H = 1,5 \cdot 25 = 35,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Разъединяющий момент  $M_A = 20,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$  меньше, чем настраиваемый предельный момент  $M_g = 35,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , следовательно, условие выполняется.

### 1.2.5 Расчет осевой жесткости привода [11; 12]

Жесткость шарико-винтового привода зависит от многих входящих в него деталей, в том числе опор деталей крепления, корпусов гаек и т. д.

**Суммарная осевая жесткость  $R_{tot}$  шарико-винтового привода** определяется жесткостью опоры  $R_{al}$ , вала  $R_s$  и гайки  $R_{nu}$  по формуле

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{al}} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{nu}}. \quad (1.11)$$

Жесткость опор  $R_{al} = 1\,300$  Н/мкм. Жесткость подшипника указывается в каталогах изготовителя.

Жесткость гайки  $R_{nu} = 530$  Н/мкм в месте ее установки. Определяется по соответствующим таблицам.

Жесткость вала  $R_s = 211$  Н/мкм. Она также определяется по соответствующим таблицам.

С учетом того, что жесткость вала зависит от типа опор, ее можно найти по формуле

$$R_s = 165 \cdot \frac{(d_0 - 0,71D_w)^2 I_s}{I_s - I_{s_2}}$$

В этом случае минимальная жесткость вала  $R_{s_{\min}}$  наблюдается на его середине ( $I_s = I_s / 2$ ). Она определяется по формуле

$$R_s = 660 \cdot \frac{d_0^2}{I_s} = 660 \cdot \frac{40^2}{1\,380} = 765 \text{ Н} \cdot \text{мкм},$$

где  $d_0 = 40$  мм;

$I_s$  — расстояние от опоры до опоры ( $I_s = 1\,380$  мм).

Тогда суммарная осевая жесткость  $R_{tot}$  вычисляется по формуле (1.11):

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{al}} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{nu}} = \frac{1}{1\,300} + \frac{1}{765} + \frac{1}{530} = 0,00394 \text{ мкм} / \text{Н};$$

$$R_{tot} = 253,8 \text{ Н} / \text{мкм}.$$

**Проверка правильности выбора электродвигателя (поперечный привод)**

Найдем частоту вращения на быстром ходу  $n_{6.x}$  по формуле

$$n_{6.x} = \frac{30\,000 \cdot 0,001}{0,01} = 3\,000 \text{ мин}^{-1}.$$

Определяем приведенный к валу двигателя момент инерции механической части привода по формуле

$$I_{\text{п}} = \frac{1500 \cdot 0,01^2}{4 \cdot 3,14^2} = 38,03 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции ротора выбранного ранее двигателя  $I_{\text{д}} = 36,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Определяем, используя данные (масса исполнительного органа станка  $m = 1500 \text{ кг}$ ; шаг винта  $p = 10 \text{ мм}$ ), приведенную к валу двигателя массу поступательно перемещающихся частей.

Для определения момента инерции ходового винта воспользуемся данными, приведенными в каталоге “Rexroth”: момент инерции обкатанного прецизионного вала  $32 \cdot 10R = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{см}^2 / \text{м}$ .

Следовательно,  $I_{\text{в}} = 6,4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,41 \text{ м} = 2,624 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Момент инерции предохранительно-соединительной муфты  $I_{\text{м}} = 19,71 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Окончательно приведенный к валу двигателя момент инерции механической части привода

$$I = (36,7 + 38,03 + 2,62 + 19,71) \cdot 10^{-4} = 97,06 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

### ***Определение статического момента привода***

Составляющими приведенного к валу двигателя момента статического сопротивления  $M_{\text{с}}$  являются: момент  $M_{\text{р}}$  от силы резания, момент  $M_{\text{Г}}$  от силы тяжести узлов, перемещаемых в вертикальной плоскости, момент  $M_{\text{Т}}$  от силы трения в механизмах привода. Момент статического сопротивления  $M_{\text{с}}$  определяется по формуле

$$M_{\text{с}} = M_{\text{р}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{Т}} = M_{\text{р}} + M_{\text{Г}} + M_{\text{Т.в}} + M_{\text{Т.н}} + M_{\text{Т.п}},$$

где  $M_{\text{р}}$  — момент от тягового усилия,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$M_{\text{Г}}$  — момент от силы тяжести узлов,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$M_{\text{Т.в}}$  — момент от силы трения в винтовом механизме,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$M_{\text{Т.н}}$  — момент от силы трения в направляющих,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;

$M_{\text{Т.п}}$  — момент от силы трения в опорах ходового винта,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ .

Определяем составляющие приведенного к валу двигателя момента статического сопротивления по формулам:

$$M_p = \frac{P_z p}{2\pi\eta_B},$$

$$M_p = \frac{6\,500 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 12,18 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_G = \frac{Gp}{2\pi\eta_B},$$

$$G = mg = 14\,715 \text{ Н};$$

$$M_G = \frac{14\,715 \cdot 0,01}{2\pi \cdot 0,85} = 24,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{т.н} = \frac{F_{т.н} p}{2\pi\eta_B},$$

где  $F_{т.н}$  — сила трения в направляющих, Н;

$$F_{т.н} = mgf = 1\,500 \cdot 9,81 \cdot 0,002 = 29,43 \text{ Н}.$$

$$\text{Тогда } M_{т.н} = \frac{29,43 \cdot 0,01}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 0,051 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент в винтовом механизме:

$$M_{т.в} = M_{х.х}.$$

Момент холостого хода шарико-винтового механизма  $M_{х.х}$  (Н · м) определяется по формуле (1.8):

$$M_{х.х} = 0,5 P_H^1 k_z Z_1 u d_k \left[ \sin(\beta + \varphi) - \sin(\beta - \varphi) \right].$$

Тогда получаем:

$$M_{x,x} = 0,5 \cdot 110 \cdot 0,85 \cdot 26 \cdot 4 \cdot 0,045 \cdot [\sin(3,64^\circ + 0,27^\circ) - \sin(3,64^\circ - 0,27^\circ)] = 2,05 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{т.в} = 2,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Приведенный к валу двигателя момент трения в опорах ходового винта определяется по формуле

$$M_{т.п} = \frac{(P + F_{т.п}) \mu d_m k}{3 \eta_v},$$

где  $\mu$  — условный коэффициент трения ( $\mu = 0,003 \dots 0,004$  м);

$d_m$  — средний диаметр подшипника, м;

$k$  — коэффициент, учитывающий конструкцию опор ходового винта ( $k=5$ );

$$M_{т.п} = \frac{(1675,7 + 29,43) \cdot 0,004 \cdot 0,04 \cdot 5}{3 \cdot 0,85} = 13,47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким образом,

$$M_c = 12,18 + 24,5 + 2,05 + 0,051 + 13,47 = 52,25 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Определим статический момент привода при установившемся движении рабочего органа на быстром ходу:

$$M_c' = M_G + M_{т.н} + M_{т.в} + M_{т.п},$$

$$M_c' = 24,5 + 2,05 + 0,051 + 13,47 = 40,07 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

при обработке резанием:

$$M_c'' \approx M_c = 40,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

### **Выбор двигателя по статическому моменту привода**

Если учесть, что привод работает в повторно-кратковременном режиме с продолжительностью включения 60%, то двигатель выбираем по моменту  $M_{C_{ПВ}}$  :

$$M_{C_{ПВ}} = M_c' \cdot \frac{ПВ}{100} = 40,07 \cdot \frac{60}{100} = 24,04 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверяем, подходит ли двигатель для привода, по выполнению двух условий:

$$M_n \geq M_{C_{ПВ}}.$$

$$M_n \geq M_C^1 \text{ при } n \geq n_{б.х.}$$

Получаем:

1)  $25 \text{ Н} \cdot \text{м} > 24,04 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,

2)  $25 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 8,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$  при 3 000 об. / мин.

Оба условия выполняются.

### **Расчет передачи ВГК**

#### **Расчет винта на устойчивость по критической осевой силе [8]:**

– неопорная длина винта  $L = 410 \text{ мм}$ ;

– коэффициент вида установки  $f_{FK} = 20,4$ ;

– коэффициент запаса  $g \geq 2$ .

Длина винта шарико-винтовой пары между опорными шейками ограничивается критической осевой силой, которая находится из формулы (1.9):

$$F_{кр} = 20,4 \cdot \frac{31^4}{410^2} \cdot 10^4 = 112,1 \text{ кН}.$$

Определяем допустимую рабочую нагрузку:

$$F_{KZUL} = \frac{F_{кр}}{2} = \frac{112,1}{2} = 56 \text{ кН}.$$

Из расчета видно, что значение критической осевой силы  $F_{кр}$  для винта диаметром 32 мм с числом рабочих контуров 4 составляет 56 кН, что больше, чем максимальное тяговое усилие:  $6,5 \text{ кН} \leq 56 \text{ кН}$ .

Условие устойчивости выполняется.

### **Расчет винта на устойчивость по критической частоте вращения [11]**

В моменты быстрых перемещений рабочего органа станка, когда винт вращается с высокой частотой, центробежные силы могут вызвать потерю его устойчивости, что проявляется в наступлении вибраций.

Критическая частота вращения винта находится из формулы

$$n_k = f_{FK} \frac{d_2}{l_n^2} \cdot 10^7,$$

где  $f_{FK}$  — коэффициент вида установки ( $f_{FK} = 18,9$ );

$d_2$  — диаметр стержня винта, мм ( $d_2 = 27,9$ );

$l_n$  — расстояние между опорами винта, мм ( $l_n = 410$ ).

$$n_k = 18,9 \cdot \frac{27,9}{410^2} \cdot 10^7 = 31\,368 \text{ об. / мин.}$$

Определяем допустимую рабочую скорость вращения:

$$n_k = n_k \cdot 0,8 = 31\,368 \cdot 0,8 = 25\,095 \text{ об. / мин.}$$

Максимальная частота вращения вала двигателя  $n_{\max} = 3\,000 \text{ об. / мин.}$

Следовательно, условие выполняется.

### **Расчет предохранительно-соединительной муфты**

В качестве предохранительного устройства двигателя от сгорания при превышении критического момента, а также для устранения возможных перекосов при установке двигателя используется шариковая комбинированная предохранительно-соединительная муфта фирмы “Maug”.

Ведем расчет муфты.

Определяем момент, необходимый для предварительного сцепления,  $M_{req}$  по формуле (1.10):

$$M_{req} = 1,5 \cdot 25 = 35,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Показатель подачи перемещающегося узла вычисляем по формуле

$$V = \frac{10 \cdot 3000}{6 \cdot 10^4} = 0,5 \text{ м / с.}$$

Угловая скорость вала двигателя и винта находится по формуле

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Момент инерции, сведенный к винту передачи:

$$I_L = 1500 \cdot \frac{0,5^2}{314^2} = 38,03 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расход энергии без муфты:

$I_g$  — момент инерции механической части привода без муфты,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;

$I_M$  — приведенный момент инерции двигателя ( $I_M = 36,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ );

$I_s$  — приведенный к валу двигателя момент инерции ходового винта ( $I_s = 6,76 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ).

Окончательно приведенный к валу двигателя момент инерции механической части привода

$$I_g = (38,03 + 36,7 + 6,76) \cdot 10^{-4} = 81,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расход энергии определяем по формуле

$$W_g = \frac{1}{2} \cdot I_g \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 81,5 \cdot 10^{-4} \cdot (314)^2 = 401 \text{ Дж.}$$

Расход энергии с муфтой:

$I_N$  — приведенный к валу двигателя момент инерции полумуфты ( $I_N = 11,7 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ).

$$I_2 = (11,7 + 6,76 + 38,03) \cdot 10^{-4} = 56,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Расход энергии с муфтой  $W_2$  определяем по формуле

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot I_2 \cdot \omega^2 = \frac{1}{2} \cdot 56,5 \cdot 10^{-4} \cdot (314)^2 = 278,5 \text{ Дж.}$$

Разность энергий  $W_R$  определяем по формуле

$$W_R = \frac{W_2}{W_g} = \frac{278,5}{401} = 0,69.$$

Освобожденная энергия  $\Delta W$  вычисляется по формуле

$$\Delta W = W_g - W_2 = 401 - 278,5 = 122,5 \text{ Дж;}$$

$$\Delta W = 100 - 69,5 = 30,5\% .$$

Требуемый момент разъединения — в фазе ускорения.

Максимальный момент на двигателе  $M_B = 34,0 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Приведенный момент инерции при разгоне определяем по формуле

$$I_1 = I_M + I_N .$$

Тогда  $I_1 = (36,7 + 11,7) \cdot 10^{-4} = 48,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

Следовательно,

$$M_A = 34 \cdot \frac{56,5 \cdot 10^{-4}}{(56,5 + 48,4) \cdot 10^{-4}} = 18,31 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Настраиваемый предельный момент находим по формуле

$$M_g = 1,5M_H = 1,5 \cdot 25 = 35,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Разъединяющий момент  $M_A = 18,31 \text{ Н} \cdot \text{м}$  меньше, чем настраиваемый предельный момент  $M_g = 35,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , следовательно, условие выполняется.

### **Расчет суммарной осевой жесткости шарико-винтового привода [11, 24]**

Жесткость шарико-винтового привода зависит от многих входящих в него деталей, в том числе опор деталей крепления, корпусов гаек и т. д.

Суммарная осевая жесткость  $R_{tot}$  определяется жесткостью опоры  $R_{al}$ , вала  $R_s$  и гайки  $R_{nu}$  и находится по формуле (1.11):

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{al}} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{nu}}.$$

Жесткость опор  $R_{al} = 650$  Н / мкм. Жесткость подшипника указывается в каталогах изготовителя [11].

Жесткость гайки  $R_{nu} = 500$  Н / мкм в месте ее установки. Определяется по соответствующим таблицам [11].

Жесткость вала  $R_s = 141$  Н / мкм. Она также определяется по соответствующим таблицам.

С учетом того, что жесткость вала зависит от типа опор, ее можно найти по формуле

$$R_s = 165 \frac{(d_0 - 0,71D_w)^2 I_s}{I_s - I_{s_2}}.$$

В этом случае минимальная жесткость вала  $R_{s_{min}}$  наблюдается на его середине ( $I_s = I_{s_2} / 2$ ). Она определяется по формуле

$$R_{s_{min}} = 660 \frac{d_0^2}{I_s} = 660 \cdot \frac{27,8^2}{1380} = 1244 \text{ Н} \cdot \text{мкм},$$

где  $R_s$  — минимальная жесткость вала;

$$d_0 = 27,8 \text{ мм};$$

$$I_s \text{ — расстояние от опоры до опоры } (I_s = 410 \text{ мм}).$$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_{al}} + \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_{nu}} = \frac{1}{650} + \frac{1}{1244} + \frac{1}{500} = 0,0044 \text{ мкм} / \text{Н}.$$

Тогда суммарная осевая жесткость  $R_{tot} = 227,3$  Н / мкм.

### 1.3 Порядок проектирования станочного приспособления [1; 9]

Обычно проектирование станочного приспособления состоит из двух этапов.

*Первый этап* — разработка технологического процесса обработки детали. Студент-дипломник выполняет эскизы механической обработки детали и на них намечает базовые поверхности и места зажима ее в приспособлении. Положение детали на эскизе должно быть таким же, как и в станочном приспособлении при выполнении операции на станке. Деталь изображается в том виде, какой она имеет после обработки на данной операции.

*Второй этап* — конструирование приспособления. После разработки операционных эскизов студент-дипломник обязан изучить: 1) чертежи заготовки и готовой детали и технические условия на деталь; 2) технологический процесс и эскиз механической обработки на соответствующей операции; 3) техническую характеристику, паспортные данные, посадочные места, на которых устанавливается проектируемое приспособление.

При конструировании приспособления его необходимо вычертить в следующем порядке:

- 1) контур обрабатываемой детали (обычно в трех проекциях). Контур детали показывается утолщенными штрихпунктирными линиями;
- 2) вокруг контура обрабатываемой детали направляющие элементы приспособления для режущего инструмента (кондукторные втулки и т. д.);
- 3) установочные (центрирующие) или опорные элементы (подвижные и неподвижные опоры и т. п.);
- 4) зажимные и вспомогательные элементы приспособления;
- 5) корпус. При этом выполняются разрезы и сечения, проставляются габаритные контрольные размеры приспособления (диаметры кондукторных втулок, расстояние между осями кондукторных втулок, а также базовыми поверхностями) и задаются технические условия на точность изготовления приспособления.

Студент-дипломник также должен выполнить расчеты по определению: 1) сил зажима в зависимости от сил резания; 2) точности базирования в зависимости от требуемой точности изготовления детали; 3) основных параметров зажимных устройств (расчет на прочность и жесткость); 4) основных параметров силового привода.

## 1.4 Методика расчета приспособлений [9]

### 1.4.1 Методика расчета на точность

Суммарная погрешность  $\sum \varepsilon$  при обработке детали не должна превышать величины допуска размера, т. е.  $\sum \varepsilon \leq \delta$  [9].

Для выражения допуска  $\delta$ , выполняемого при обработке размера, следует пользоваться формулой

$$\delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + e^2 + 3\Delta_n^2 + 3\Delta_T^2 + \Sigma\Delta_\phi},$$

где  $\Delta_y$  — погрешность вследствие упругих отжатий технологической системы под влиянием сил резания;

$\Delta_n$  — погрешность настройки станка;

$e$  — погрешность установки заготовки в приспособлении;

$\Delta_n$  — погрешность от размерного изнашивания инструмента;

$\Delta_T$  — погрешность обработки, вызываемая тепловыми деформациями технологической системы;

$\Sigma\Delta_\phi$  — суммарная погрешность формы обрабатываемой поверхности, обусловленная геометрическими погрешностями станка, деформацией заготовки и входящая в  $\delta$ , так как погрешность формы поверхности является частью поля допуска ее размера.

По приведенной формуле можно найти  $\varepsilon$ , принимая ее за допустимое значение погрешности установки  $e'$  заготовки в приспособлении, определяемой по формуле

$$\varepsilon' = \sqrt{(\delta - \Sigma\Delta_\phi)^2 - \Delta_y^2 + \Delta_n^2 - 3\Delta_n^2 - 3\Delta_T^2}.$$

Погрешность установки заготовки в приспособлении находим по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{пр}^2},$$

где  $\varepsilon_6$  — погрешность базирования детали в приспособлении;

$\varepsilon_3$  — погрешность закрепления заготовки, возникающая в результате сил зажима;

$\Delta_{\text{пр}}$  — погрешность положения заготовки, зависящая от приспособления и определяемая по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_y + \varepsilon_{\text{и}},$$

где  $\varepsilon_{\text{пр}}$  — погрешность изготовления приспособления по выбранному параметру, зависящая от погрешностей изготовления и сборки установочных и других элементов приспособления;

$\varepsilon_y$  — погрешность установки приспособления на станке;

$\varepsilon_{\text{и}}$  — погрешность положения заготовки, возникающая в результате изнашивания элементов приспособления.

Для принятой схемы установки должно соблюдаться условие  $e \leq e'$ . При несоблюдении следует изменить построение операции обработки или схему установки заготовки в приспособлении.

Указанные составляющие  $\Delta_{\text{пр}}$  представляют собой поля рассеивания случайных величин. Значения  $\Delta_{\text{пр}}$  изменяются в зависимости от условий и типа производства, а также от особенностей конструкции приспособления. При использовании приспособления в мелкосерийном и серийном производствах  $\Delta_{\text{пр}}$  определяется по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{пр}} + \sqrt{\varepsilon_y^2 + 3\varepsilon_{\text{и}}^2}.$$

Здесь  $\varepsilon_{\text{пр}}$  рассматривается как постоянная величина, которая может компенсироваться настройкой станка.

В массовом и крупносерийном производствах при использовании одноместных приспособлений  $\Delta_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{пр}}$  операции строго закреплены за рабочими местами,  $\varepsilon_{\text{пр}}$  и  $\varepsilon_{\text{и}}$  компенсируются настройкой системы «станок—приспособления—инструмент—деталь».

В случае применения многоместных приспособлений  $\varepsilon_{\text{пр}}$  определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + 3\varepsilon_{\text{и}}^2}.$$

Когда одновременно используется много экземпляров одного приспособления, например, приспособления-спутника на автоматической линии,  $\Delta_{\text{пр}}$  определяется по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{пр}}^2 + \varepsilon_y^2 + 3\varepsilon_{\text{и}}}$$

Последнюю можно рассматривать как обычный случай, когда в работе одновременно находится несколько приспособлений одной конструкции.

В некоторых приспособлениях предусматриваются элементы для направления и определения положения или траектории движения обрабатываемого инструмента (кондукторные втулки, копиры и т. д.), поэтому в общей погрешности обработки заготовки появляется еще одна составляющая — погрешность от перекоса  $\varepsilon_{\text{п}}$  инструмента.

Поэтому при использовании в работе нескольких (многих) приспособлений погрешность обработки  $\varepsilon_0$ , приравненная к допуску выполняемого размера, находится по формуле

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_{\text{и}}^2 + e_6^2 + e_{\text{пр}}^2 + e_3^2 + 3\Delta_{\text{и}}^2 + e_y^2 + 3e_{\text{п}}^2 + 3\Delta_{\text{и}}^2 + \sqrt{+ 3\Delta_{\text{т}}^2 + \Sigma\Delta_{\text{ф}}}}$$

Отсюда погрешность изготовления приспособления определяется по формуле

$$e_{\text{пр}} = \left[ (\delta - \Sigma\Delta_{\text{ф}})^2 - \Delta_y^2 - \Delta_{\text{и}}^2 - e_6^2 - e_3^2 - 3e_{\text{и}}^2 - e_y^2 - e_{\text{п}}^2 - 3\Delta_{\text{и}}^2 - 3\Delta_{\text{т}}^2 \right]^{1/2}$$

По приведенной формуле можно находить значение расчетного параметра приспособления, которым и будет  $\varepsilon_{\text{пр}}$ .

В связи со сложностью нахождения значений ряда величин, входящих в приведенную выше формулу для определения  $\varepsilon_{\text{пр}}$ , погрешность изготовления приспособления можно рассчитывать

по упрощенным формулам [3; 7; 9]. Расчет  $\varepsilon_{\text{пр}}$  при этом сводится к вычитанию из допуска выполняемого размера всех других составляющих погрешностей обработки и определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq \delta - k_T \sqrt{(k_{T1} \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{\text{н}}^2 + (k_{T2} \omega)^2},$$

- где  $\delta$  — допуск выполняемого при обработке размера заготовки, мм;
- $k_T$  — коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих от закона нормального распределения ( $k_T = 1 \dots 1,2$  в зависимости от количества значимых слагаемых: чем их больше, тем ближе к единице следует принимать значение коэффициента);
- $k_{T1}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение предельного значения погрешности базирования при работе на настроенных станках ( $k_{T1} = 0,8 \dots 0,85$ );
- $k_{T2}$  — коэффициент, учитывающий долю погрешности обработки в суммарной погрешности, вызываемый факторами, не зависящими от приспособления ( $\Delta_y, \Delta_n, \Delta_{\text{н}}, \Delta_T, \Sigma \Delta_{\phi}$ ) (0,6...0,8: большее значение коэффициента принимается при меньшем количестве значимых величин, зависящих от приспособления);
- $\omega$  — экономическая точность обработки.

### 1.4.2 Пример расчета приспособления на точность [9]

#### Назначение и принцип работы приспособления

Выбранное станочное приспособление 7532-4001 предназначено для нарезания зубьев в двух деталях, устанавливаемых на оправку одновременно (рис. 1.19).

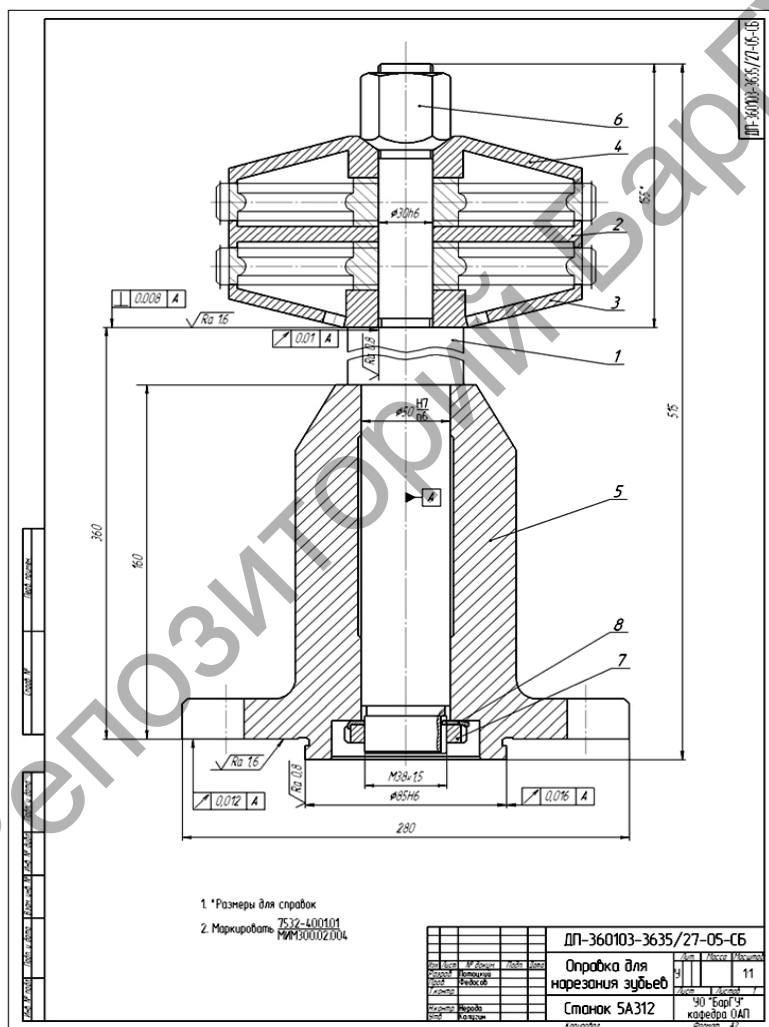


Рисунок 1.19 — Приспособление для закрепления детали

Приспособление 7532-4001 используется на операции 070 зубофрезерной.

Базовая деталь приспособления — оправка 1 — устанавливается и закрепляется на тумбе 5. На оправку через опору 3 устанавливается первое колесо, на него ставится шайба 2 и устанавливается второе обрабатываемое колесо. Закрепляются колеса на оправке прижимом 4 и гайкой 6.

### **Расчет на точность**

Суммарная погрешность  $\sum \varepsilon$  при обработке детали не должна превышать величины допуска  $\delta$  размера, т. е.  $\sum \varepsilon \leq \delta$ . Погрешность приспособления определяется по формуле [9]

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq \delta - k_T \sqrt{(k_{T1} \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_n^2 + (k_{T2} \omega)^2},$$

где  $\delta$

- допуск выполняемого размера, мм;
- $\varepsilon_6, \varepsilon_3, \varepsilon_y, \varepsilon_n, \varepsilon_n$  — погрешности базирования, закрепления, установки приспособления на станке из-за износа установочных элементов приспособления и от перекоса инструмента  
 $\varepsilon_6 = 0,021$  мм;  $\varepsilon_3 = 0,2$  мм;  $\varepsilon_y = 0,02$  мм;
- $\omega$  — экономическая точность обработки;
- $k_T$  — коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих величин от закона нормального распределения ( $k_T = 1$ );
- $k_{T2}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение предельного значения погрешности базирования при обработке на настроенных станках ( $k_{T1} = 0,8$ );
- $k_{T1}$  — коэффициент, учитывающий долю погрешности обработки в суммарной погрешности, вызываемой факторами, независимыми от приспособления ( $k_{T2} = 0,6$ ).

Расчет погрешности сведен в таблицу 1.3.

Т а б л и ц а 1.3 — Расчет погрешности

Погрешность	Расчет точности
Расчетный параметр	Размер 128,85—0,29 мм
Базирования	$\varepsilon_{\delta} = 0,021$ мм
Закрепления	$\varepsilon_{\alpha} = 0,2$ мм
Установки приспособления	$\varepsilon_{\gamma} = 0,02$ мм
Смещения инструмента	$\varepsilon_{\pi} = 0$ , так как отсутствуют направляющие элементы для инструмента
Износа установочных элементов	$\varepsilon_{\text{и}} = 0$
Экономическая точность обработки	$\omega = 0,2$ — фрезерование зубьев (длина поверхности 300...600 мм)
Допустимая погрешность приспособления	$\varepsilon_{\text{пр}} \leq \delta - k_{\text{т}} \sqrt{(k_{\text{т1}}\varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_{\alpha}^2 + \varepsilon_{\gamma}^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\pi}^2 + (k_{\text{т2}}\omega)^2},$ $0,029 - \sqrt{(0,8 \cdot 0,021)^2 + 0,2^2 + 0,02^2 + 0 + 0 + (0,6 \cdot 0,2)^2} =$ $= 0,29 - 0,23 = 0,06 \text{ мм}$

Определим номинальный (наружный) диаметр резьбы винта  $d$  по формуле

$$d = C \sqrt{W/[y]},$$

где  $C$  — коэффициент ( $C=1,4$ );

$W$  — потребная сила зажима, Н;

$[y]$  — допускаемое напряжение растяжения (сжатия), для винтов из стали 45 с учетом износа резьбы можно принимать  $[y] = 80...100$  МПа.

Полученное значение  $d$  округляется до ближайшего большего стандартного значения. Обычно в приспособлениях применяются резьбы от М6 до М48.

Зная номинальный диаметр резьбы винта  $d$ , мы можем определить  $W$  по формуле

$$W = \left( d \sqrt{[y]/C} \right)^2 = 36\,735 \text{ Н.}$$

Далее определяется момент  $M$ , который нужно развить на винте (гайке) для обеспечения заданной зажимной силы  $W$ , по формуле

$$M = r_{\text{cp}} W \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi) + M_{\text{тр}},$$

где  $r_{\text{cp}}$  — средний радиус резьбы (можно принимать  $r_{\text{cp}} = 0,45d$ );

$\alpha$  — угол подъема резьбы (для резьб от М8 до М52  $\alpha$  изменяется от  $3^\circ 10'$  до  $1^\circ 51'$ );

$\varphi$  — угол трения в резьбе;

$M_{\text{тр}}$  — момент трения на опорном торце гайки или в месте контакта торца нажимного винта.

При средних значениях  $\alpha = 2^\circ 30'$ ;  $\varphi = 10^\circ 30'$ ;  $D = 1,7d$ ;  $f = 0,15$  можно пользоваться приближенным расчетом  $M$  для гаек и звездочек по формуле

$$M = 0,2dW;$$

$$M = 0,2 \cdot 30 \cdot 36\,735 = 220\,410 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Момент открепления винтового зажимного устройства (при  $\varphi' > \alpha$ ) определяется по формуле

$$M' = r_{\text{cp}} W \cdot \text{tg}(\varphi - \alpha) + M_{\text{тр}}.$$

С учетом того, что при откреплении преодолевается трение покоя,  $\varphi$  и  $f_1$  (коэффициент трения в резьбе) следует брать на 30...50% большими. С учетом указанного и после выполнения всех преобразований можно получить формулу для момента открепления:

$$M' = 0,25dW;$$

$$M' = 0,25 \cdot 30 \cdot 36\,735 = 275\,522 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Затем рассчитываем длину рукоятки (ключа)  $l$  по заданной силе воздействия (при ручном зажиме  $P_{\text{пр}} \leq 200 \text{ Н}$ ) из условия равновесия гайки (винта):  $P_{\text{пр}} l = M'$ . Отсюда длину рукоятки определяем по формуле

$$l = \frac{M'}{P_{\text{пр}}},$$

$$l = \frac{275\,522}{200} = 1\,377,6 \text{ мм} = 1,38 \text{ м.}$$

### ***Расчет на прочность [10]***

Рассчитаем необходимый в данном случае диаметр резьбы оправки для крепления прижима 4 (см. рис. 1.19) по формуле

$$d_1 = \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma]}}, \quad (1.12)$$

где  $d_1$  — внутренний диаметр резьбы;

$P$  — осевое усилие, Н;

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение материала на растяжение ( $[\sigma] = 100$  МПа).

Подставив в формулу (1.12) значения, получим:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 45\,918}{3,14 \cdot 100}} = 24 \text{ мм.}$$

Минимальный диаметр резьбы на оправке — М24.

Прижим крепится гайкой М30, что удовлетворяет надежности.

### ***1.4.3 Методика силового расчета приспособления [9]***

При выполнении дипломного проекта студентам необходимо произвести анализ приспособлений, заложенных в технологических процессах базовых заводов, принимать технические решения по устранению недостатков в их конструкции, выполнять силовые расчеты приспособлений исходя из условий режима обработки заготовок, по разрабатываемому (новому) техпроцессу. Перечисленные вопросы целесообразно рассмотреть на примере.

Представим чертеж многоместного фрезерного приспособления (фрезерное приспособление с гидравлическим приводом) (рис. 1.20). Оно предназначено для базирования и закрепления заготовок в виде втулок и колец при разрезании их дисковой фрезой на горизонтально-фрезерном станке. В деталях 1 (верхняя часть), 9 и 10 предусмотрен паз для выхода фрезы. Корпусом приспособления является деталь 1. Элементом контроля положения инструмента (дисковой фрезы) при

настройке и подналадки станка служит установка 6. Приспособление фиксируется на станке по Т-образным пазам привертными шпонками 14 и закрепляется болтами с помощью проушин В корпуса 1 и Т-образных пазов стола станка.

Заготовки пакетом (рис. 1.21) надеваются внутренней цилиндрической поверхностью 162 мм на наружную поверхность съемного установочного элемента (длинная цилиндрическая часть детали 10 на рисунке 1.20). Пакет заготовок левым торцом опирается на торцовую поверхность второго установочного элемента в виде кругового пояса детали 9. Заготовка зажимается буртом детали 10. Таким образом, деталь 10 является и установочным, и зажимным элементом. Для наиболее благоприятного положения опорной поверхности пояса детали 9 и зажимного бурта детали 10 высота пакета заготовок-колец должна быть примерно 130 мм. При высоте колец 5 мм в приспособление устанавливается пакет из 26 заготовок. Ширина прорезаемого в соответствии с чертежом паза — 0,8 мм. Положение заготовок 8 в приспособлении показано на рисунке 1.21.

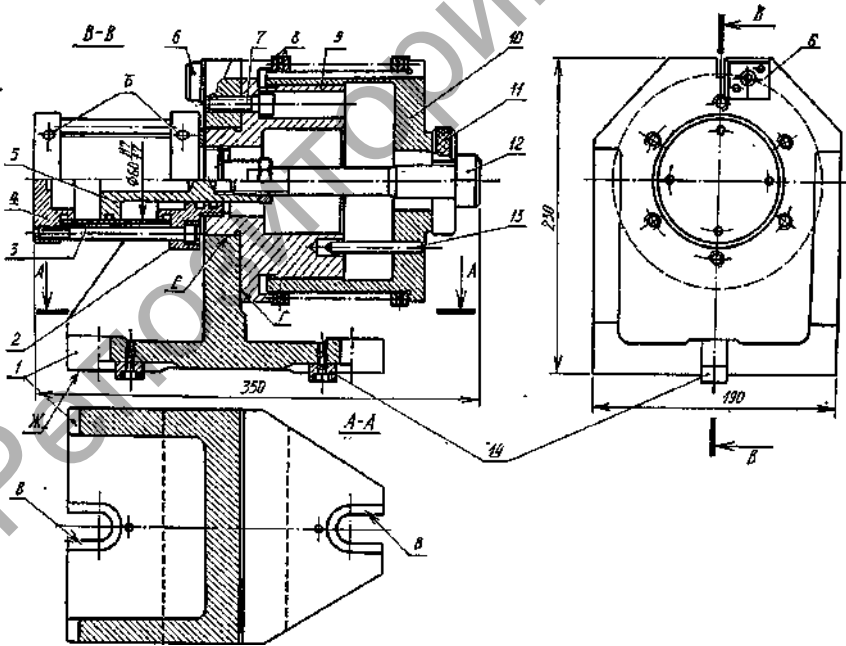


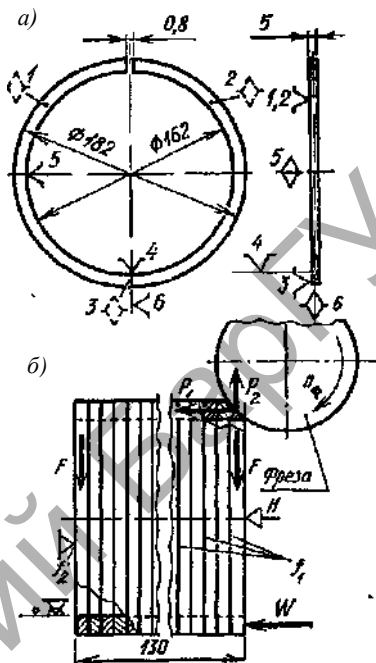
Рисунок 1.20 — Фрезерное приспособление с гидроприводом

### Описание элементов приспособления

Корпус 1 (см. рис. 1.20) приспособления выполнен в виде угольника и представляет собой отливку из серого чугуна СЧ 15. Осевую составляющую  $P_1$  силы резания воспринимает стойка корпуса. Для обеспечения прочности и жесткости корпуса стойка имеет усиленные ребра жесткости. В целях повышения жесткости стыков деталь 9 должна быть хорошо притянута винтами 7 к корпусу 1 (предварительная затяжка).

Для соблюдения точности обработки в приспособлении следует обеспечить перпендикулярность поверхности  $\Gamma$  стойки, с которой контактирует деталь 9, и пазов для установки привертных шпонок 14 со стороны поверхности  $\mathcal{Ж}$  корпуса, которой он контактирует со столом станка. Кроме того, необходимо обеспечить перпендикулярность оси отверстия  $E$  для запрессовки хвостовика детали 9 к поверхности  $\mathcal{Ж}$ . Для

сохранения точности относительного положения рабочих поверхностей корпус должен пройти термообработку (низкотемпературный отжиг). Корпус имеет простую конфигурацию, что обеспечивает его достаточно высокую технологичность. Однако заготовка корпуса выполнена литьем по индивидуальному чертежу (недостаток). Установка 6 служит для базирования с помощью шупа дисковой фрезы в боковом направлении (диск фрезы необходимо располагать по центру обрабатываемых заготовок). Он должен обладать высокими износостойкостью, точностью изготовления и расположения на приспособлении. На корпусе приспособления установка фиксируется с помощью двух штифтов и закрепляется посредством винта. Рабочая поверхность установки на собранном приспособлении должна быть параллельной оси пазов корпуса 1 для направляющих шпонок 14. Установка изго-



*a* — обработанная заготовка; *б* — пакет, набираемый из данных заготовок, со схемами базирования и закрепления

Рисунок 1.21 — Эскиз обработанной заготовки

тавливается из стали 20X; для обеспечения высокой износостойкости она цементируется на глубину 0,8...1,2 мм и закаливается до твердости 56...61HRC<sub>3</sub>. Призматические привертные шпонки 14 позволяют ориентировать приспособление на столе станка по Т-образным пазам.

Они имеют две рабочие боковые поверхности, которые должны быть параллельны и иметь жесткий допуск относительного расположения. Шпонки изготовлены из стали 45 и для повышения износостойкости закалены до твердости 41...45 HRC<sub>3</sub>.

Фиксатор 13 выполнен в виде шпильки, впрессованной одним концом в отверстие втулки 10, и служит для обеспечения совпадения паза для выхода фрезы на детали 10 с пазами на деталях 1 и 9. Фиксация относительного углового положения деталей обеспечивается за счет вхождения свободного конца шпильки при установке установочно-зажимного элемента (деталь 10) в отверстие детали 9. В целях повышения износостойкости и прочности шпилька, изготовленная

из стали У8А, закалена токами высокой частоты (поверхностная закалка ТВЧ) до твердости поверхностного слоя металла 56...61 HRC<sub>3</sub>.

*Описание работы приспособления.* При принятой схеме обработки (см. рис. 1.21, б) приспособление устанавливается на столе станка гидроцилиндром влево. Заготовки 8 (см. рис. 1.20) устанавливаются на снятую втулку 10 до упора в зажимной бурт. Высота пакета заготовок может определяться по кольцевой риске на наружной рабочей поверхности втулки 10.

Втулка 10 с пакетом заготовок внутренней цилиндрической поверхностью надевается на наружную цилиндрическую поверхность втулки 9. При этом фиксатор 13 должен обязательно войти в отверстие втулки 9. Затем на тягу 12 надевается быстросъемная шайба 11 и включается гидропривод (кран управления расположен на столе станка вне приспособления). Гидропривод размещен с другой стороны стойки корпуса 1 между ребрами жесткости. Он состоит из крышек 2 и 4, гильзы (собственно цилиндра) 3 и поршня-штока 5. Гидроцилиндр собирается с помощью стягивания крышек 2 и 4 стяжными винтами.

Присоединение гидроцилиндра к детали 9 приспособления осуществлено с помощью резьбовой шейки крышки 2. Для подачи жидкости в правую (зажим заготовки) и левую (отключение зажимного устройства) полости гидроцилиндра в крышках 2 и 4 предусмотрены два отверстия Б с резьбой для вкручивания штуцеров гидропривода. Тяга 12 соединена с поршнем-штоком гидроцилиндра

с помощью резьбы. Длина ее вылета для обеспечения надежного закрепления и открепления пакета заготовок может регулироваться и фиксироваться контргайкой.

Таким образом, на описанном многоместном приспособлении осуществлена схема последовательной передачи одинаковой силы зажима от заготовки к заготовке.

*Исходные данные для силового расчета приспособления.* Производство серийное; составляющая силы резания в радиальном направлении  $P_2 = 700$  Н; давление масла в гидромагистрали  $p_{ж} = 6$  МПа; материал заготовки — высокопрочный чугун ВЧ 80-2.

*Расчет потребной силы зажима.* Из схемы установки пакета (см. рис. 1.21, б) следует, что первая заготовка опирается одним торцом на установочный элемент в виде кольцевой поверхности пояска детали 9 (см. рис. 1.20), вторая и каждая последующая — на торец впереди стоящей заготовки. Во внешний торец последней заготовки упирается кольцевой зажимный элемент — бурт детали 10, через который передается сила зажима  $W$ .

На заготовку действуют силы резания: две боковые силы, которые уравнивают друг друга, так как направлены в разные стороны и равны; составляющие силы резания  $P_1$  и  $P_2$ . Сила  $P_1$  действует в сторону торцевой опоры и воспринимается ею; сила  $P_2$  стремится сдвинуть заготовку (вытянуть из пакета) вверх. Именно при действии  $P_2$  возможно смещение заготовок пакета. Следует учесть, что центрирующий съемный установочный элемент (деталь 10) не должен воспринимать сил резания, так как это приведет к быстрому его изнашиванию и снижению точности базирования. Сдвигающей силе  $P_2$  могут противодействовать создаваемые зажимной силой  $W$  силы трения на обоих торцах каждой заготовки пакета. Но сдвигу заготовки будет противодействовать только сила трения  $F$ , создаваемая со стороны торцевого установочного элемента для первой и каждой последующей заготовок, так как тяга 12 не воспринимает тангенциальных (в данном случае радиально направленных) сил. Составляющая  $P_1$  силы резания действует в направлении силы зажима  $W$ . Но в расчетах силу  $P_i$  учитывать не следует, так как она действует только в верхней части зажатых колец. Поэтому условие равновесия каждой заготовки пакета с учетом коэффициента запаса  $k$  будет выражаться уравнением  $kP_2 = Wf_2$ . Коэффициент запаса определяется по ранее приведенной формуле с учетом табличных данных и рекомендаций:

$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6 = 1,5 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25$ . Из условий обработки  $P_2 = 700$  Н.

Значение коэффициента трения принимается одинаковым как для контакта заготовки с установочным элементом, так и для контактов заготовки с заготовкой ( $f_2 = f_1 = 0,15$ ).

Решением приведенного уравнения равновесия относительно  $W$  и подстановкой значений  $k$ ,  $P_2$  и  $f_2$  определяется необходимая сила зажима:

$$W = \frac{kP_2}{f_2} = 2,25 \frac{700}{0,15} = 10\,500 \text{ Н.}$$

Расчет зажимного устройства в рассматриваемом приспособлении производить не следует, потому что зажим заготовки осуществляется непосредственно от штока гидроцилиндра без какого-либо промежуточного звена.

*Расчет привода.* Рабочим является тянущее усилие на штоке  $P'_{\text{ш}} = W = 10\,500$  Н. По условию давление жидкости в гидросистеме  $P_{\text{ж}} = 6$  МПа. Принимается  $\eta = 0,92$ . Из чертежа приспособления следует, что диаметр  $d$  штока равен половине диаметра  $D$  поршня (цилиндра), т. е.  $d = 0,5D$ . Поэтому расчет диаметра цилиндра  $D$  следует осуществлять по формуле

$$D = 2\sqrt{P'_{\text{ш}} / (0,75pP_{\text{ж}})} = 2\sqrt{10\,500 / (0,75 \cdot 6 \cdot 0,92)} = 57 \text{ мм.}$$

Принимается  $D = 60$  мм. Фактически развиваемая на штоке гидроцилиндра сила обеспечит еще более надежный зажим заготовок в приспособлении:

$$P'_{\text{ш}} = \pi / 4 (D^2 - d^2) P_{\text{ж}} \eta = \pi / 4 (60^2 - 30^2) \cdot 6 \cdot 0,92 = 11\,700 \text{ Н.}$$

*Возможность усовершенствования конструкции приспособления.* В процессе анализа приспособления можно видеть недостатки конструкции, которые сводятся к следующему:

а) корпус приспособления выполнен по индивидуальному чертежу, что повышает себестоимость приспособления;

б) при неблагоприятном сочетании допусков высотного размера заготовок возможен их неравномерный зажим по кругу из-за неопределенности контакта головки тяги 12 (см. рис. 1.20) и быстросъемной шайбы 11 по плоскости, что не обеспечивает их точное положение (самоустанавливаемость) при перекосах установочно-зажимного элемента;

в) недостаточная жесткость положения правого конца установочно-зажимного элемента 10 не позволяет полностью использовать возникающие силы трения и приводит к необходимости применения более мощного привода.

После анализа приспособления высказываются предложения по совершенствованию его конструкции.

1. Вместо специальной заготовки корпуса 1 целесообразно использовать стандартную сборную заготовку, состоящую из плиты (чугун СЧ 18, исполнение I) по ГОСТ 12948-67 и неравнобокого угольника (чугун СЧ 18, исполнение II) по ГОСТ 12945-67. Применение стандартных заготовок корпуса позволит снизить себестоимость приспособления.

2. Рабочий торец головки тяги 12 следует выполнить в виде сферы, а на быстросъемной шайбе 11 предусмотреть сферическую фаску, что обеспечит высокую точность положения, самоустанавливаемость деталей 11 и 12 приведет к равномерности распределения сил зажима по всей кольцевой поверхности зажимаемых заготовок.

3. В целях повышения жесткости положения правой стороны установочно-зажимного элемента на детали 9 следует предусмотреть кольцевой хвостовик, который при базировании этого элемента на приспособлении будет входить в дополнительно предусмотренную выточку детали 10. Для сохранения диаметра внутренней монтажной выточки детали 9, где размещаются тяга 12 и контргайка для фиксации ее вылета, диаметры вновь вводимых хвостовика и выточки должны быть увеличены, поэтому радиус расположения шпильки фиксатора 13 в детали 10 и отверстия в детали 9 следует также увеличить.

Для компенсации изменения высоты зажимаемых пакетов заготовок необходимо предусмотреть гарантированный зазор между торцами вновь вводимых хвостовика детали 9 и выточки детали 10.

При ужесточении положения установочно-зажимного элемента появится возможность ввести расчет потребной зажимной силы с учетом сил трения, создаваемой с обоих торцов каждой заготовки. При этом потребная зажимная сила  $W$  уменьшится в два раза, вместо гидропри-

вода с диаметром цилиндра 60 мм можно будет использовать гидроцилиндр с рабочим диаметром 40 мм, что экономически оправданно.

В целом приспособление соответствует требованиям серийного производства. Механизированный быстродействующий привод, обеспечение высокой производительности обработки (в приспособление одновременно устанавливаются 26 заготовок), надежность в работе, простота изготовления и эксплуатации — положительные стороны приспособления. Оно может быть конструктивно улучшено за счет реализации приведенных выше предложений.

#### *1.4.4 Методика расчета деталей приспособления на прочность*

Прочность — одно из основных требований, предъявляемых к деталям и приспособлениям в целом. Она может рассматриваться по коэффициентам запаса или по номинальным допускаемым напряжениям. Расчеты по номинальным допускаемым напряжениям менее точны и прогрессивны, но значительно проще. Допускаемые напряжения наиболее распространенных материалов, используемых для изготовления деталей (элементов) приспособлений, приведены в приложении [9].

С помощью расчета деталей (элементов) приспособлений на прочность можно решать две задачи: а) проверку на прочность уже существующих деталей с определенными размерами сечений путем сравнения фактических напряжений (моментов, сил) с допускаемыми — проверочный расчет; б) определение размеров сечений деталей — предварительный проектный расчет.

*Расчет на прочность (задача а) детали в виде стержня круглого сечения, нагруженного осевой силой, по допускаемым напряжениям растяжения (сжатия)  $\sigma$  осуществляется по формуле*

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} \leq [\sigma],$$

где  $\sigma$  — фактическое напряжение растяжения (сжатия), МПа;

$P$  — расчетная осевая сила, Н;

$d$  — диаметр опасного сечения (для резьбового стержня — внутренний диаметр резьбы), мм;

$[\sigma]$  — допускаемое напряжение растяжения (сжатия), МПа.

Определение необходимого размера опасного сечения (задача б) для подобного случая можно производить по формуле

$$d = \sqrt[3]{4P/(\pi\sigma)}.$$

Полученное значение округляется в сторону увеличения до целого или ближайшего стандартного значения. При наличии шпоночного паза в опасном сечении детали полученное расчетом значение  $d$  следует увеличить на 5...10%.

Расчеты на прочность валов и осей в целях определения их размеров (задача б) можно производить по формулам:

– на изгиб (детали круглого сечения) —

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{из}}{0,1[y_{из}]}} \quad (1.13)$$

– на изгиб (детали кольцевого сечения) —

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{из}}{0,1(1-k_0^4)[y_{из}]}};$$

– на кручение —

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2[\phi_{кр}]}};$$

– на изгиб с кручением (детали круглого сечения) —

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{эКВ}}{0,1[y_{из}]}};$$

– на изгиб с кручением (детали кольцевого сечения) —

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{эКВ}}{0,1(1-k_0^4)[y_{из}]}};$$

где  $M_{из}$  — изгибающий момент, Н · мм;

$M_{кр}$  — крутящий момент, Н · мм;

$M_{\text{экв}}$  — эквивалентный момент, Н · мм;

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{M_{\text{из}}^2 + M_{\text{кр}}^2};$$

где  $[\sigma_{\text{из}}]$  — допускаемое напряжение при изгибе, МПа;

$[\tau_{\text{кр}}]$  — допускаемое напряжение при кручении, МПа;

$k_0$  — отношение внутреннего диаметра вала (оси)  $d_0$  к наружному  $d$  ( $k_0 = d_0 / d$ ).

Необходимо помнить, что оси рассчитываются только на изгиб, так как они не передают крутящего момента.

Валы и оси можно рассчитывать на жесткость, но диаметр деталей в этом случае получается большим, чем при расчете на прочность. Расчет на изгибную жесткость состоит из определения углов наклона и прогибов упругой линии осей и валов и сравнения их с допускаемыми значениями. Следует отметить и сложность расчетов деталей на жесткость. Например, расчет валов на жесткость (задача *a*) при кручении производится по формуле

$$\varphi = \frac{180 M_{\text{кр}} l}{\varphi G I_p} \leq [\varphi],$$

где  $\varphi$  — действительный угол закручивания вала, град.;

$[\varphi]$  — допускаемый угол закручивания (можно принимать для большинства валов  $[\varphi] = 15'$  на 1 м длины; для менее ответственных валов  $[\varphi]$  принимается до  $2^\circ$ );

$M_{\text{кр}}$  — крутящий момент, Н · мм;

$l$  — длина скручиваемой части вала, мм;

$G$  — модуль упругости при сдвиге, МПа (для стали  $G = 8 \cdot 10^4$  МПа);

$I_p$  — полярный момент инерции сечения вала, мм<sup>4</sup>  
( $I_p = n \cdot d^4 / 32$  — для круглого сечения и  $I_p = n / 32$   
( $1 - k_0^4$ ) — для кольцевого сечения).

Уточненный расчет валов на прочность, в случае возникновения такой необходимости, заключается в определении коэффициентов запаса для опасных сечений.

При нагружении соединения силами в плоскости (по поверхности) стыка деталей и в случаях установки штифта (цилиндрического

гладкого стержня винта) без зазора и работы на срез проверочный расчет (задача *a*) штифта (винта) может осуществляться по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{4P}{\pi d^2 i} \leq [\tau_{\text{ср}}],$$

где  $P$  — срезающая сила, Н;

$d$  — диаметр штифта (стержня винта), мм;

$i$  — число стыков (количество штифтов или винтов) в соединении;

$[\tau_{\text{ср}}]$  — допускаемое напряжение среза, МПа.

Расчет на прочность шпоночных и шлицевых соединений заключается в сравнении фактически передаваемого крутящего момента с допускаемым моментом из условий прочности шпонок (шлиц).

Расчет на прочность шпоночных соединений (задача *a*) производится по формулам:

– на смятие:

для призматических шпонок —

$$M_{\text{кр}} \leq 0,25Dhl[\sigma_{\text{см}}],$$

для сегментных шпонок —

$$M_{\text{кр}} \leq 0,5DK_{\text{ш}}l[\sigma_{\text{см}}];$$

– на срез:

для призматических и сегментных шпонок —

$$M_{\text{кр}} \leq 0,5Db l[\tau_{\text{ср}}],$$

где  $M_{\text{кр}}$  — крутящий момент (рассчитывается по передаваемой мощности и частоте вращения вала), Н · мм;

$D$  — наружный диаметр вала, мм;

$h$  — высота призматической шпонки, мм;

$K_{\text{ш}}$  — размер выступающей из паза части сегментной шпонки, мм;

$l$  — рабочая длина шпонки, мм;

$[\sigma_{\text{см}}]$  — допустимые напряжения смятия, МПа.

Проверочный расчет на прочность шлицевых соединений (задача *a*) может осуществляться по формулам:

– на смятие:

для прямобочного профиля —

$$M_{кр} \leq 0,5zhl\psi'[\sigma_{см}],$$

для эвольвентного профиля —

$$M_{кр} \leq 0,5mz^2hl\psi'[\sigma_{см}];$$

– на срез:

для прямобочного и эвольвентного профилей —

$$M_{кр} \leq 0,25zbl\psi'(D + d)[\tau_{ср}],$$

где  $M_{кр}$  — крутящий момент, Н · мм;

$z$  — число шлицев;

$h$  — высота поверхности контакта (для прямобочного профиля  $h = 0,5(D - d) - 2f_{ш}$ , здесь  $f_{ш}$  — фаска зуба и паза шпоночного соединения, по СТ СЭВ 188-75 фаска принимается равной 0,3...0,5 мм с допуском +0,2...+0,3; для эвольвентных шлицев с центрированием по боковым поверхностям  $h = m$ , с центрированием по наружной цилиндрической поверхности  $h = 0,9m$ );

$D$  — наружный диаметр вала, мм;

$d$  — внутренний диаметр отверстия, мм;

$b$  — ширина шлица, мм;

$m$  — модуль эвольвентного соединения, мм;

$\psi'$  — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по шлицам ( $\psi'$  принимается равным 0,7...0,8).

При необходимости расчеты на прочность сварных соединений, пружин, подшипников, клиноременных, зубчатых передач и других специфических сборочных единиц и деталей специальных приспособлений следует выполнять с помощью справочных и других литературных источников [3; 4; 15; 22] и др.

#### 1.4.5 Пример расчета приспособления на прочность

Представим многоместное приспособление (рис. 1.22). В качестве примера приведен расчет его опасного звена на прочность. Назначение и конструктивные особенности состоят в том, что в практике машиностроения часто используют многоместные приспособления, работающие по схеме смешанной параллельно-последовательной передачи сил зажима заготовок. На рисунке 1.22 показано многоместное приспособление со встроенным диафрагменным пневмоприводом для одновременной обработки шести заготовок. Обрабатываемые по поверхности  $A$

Репозиторий Баргу

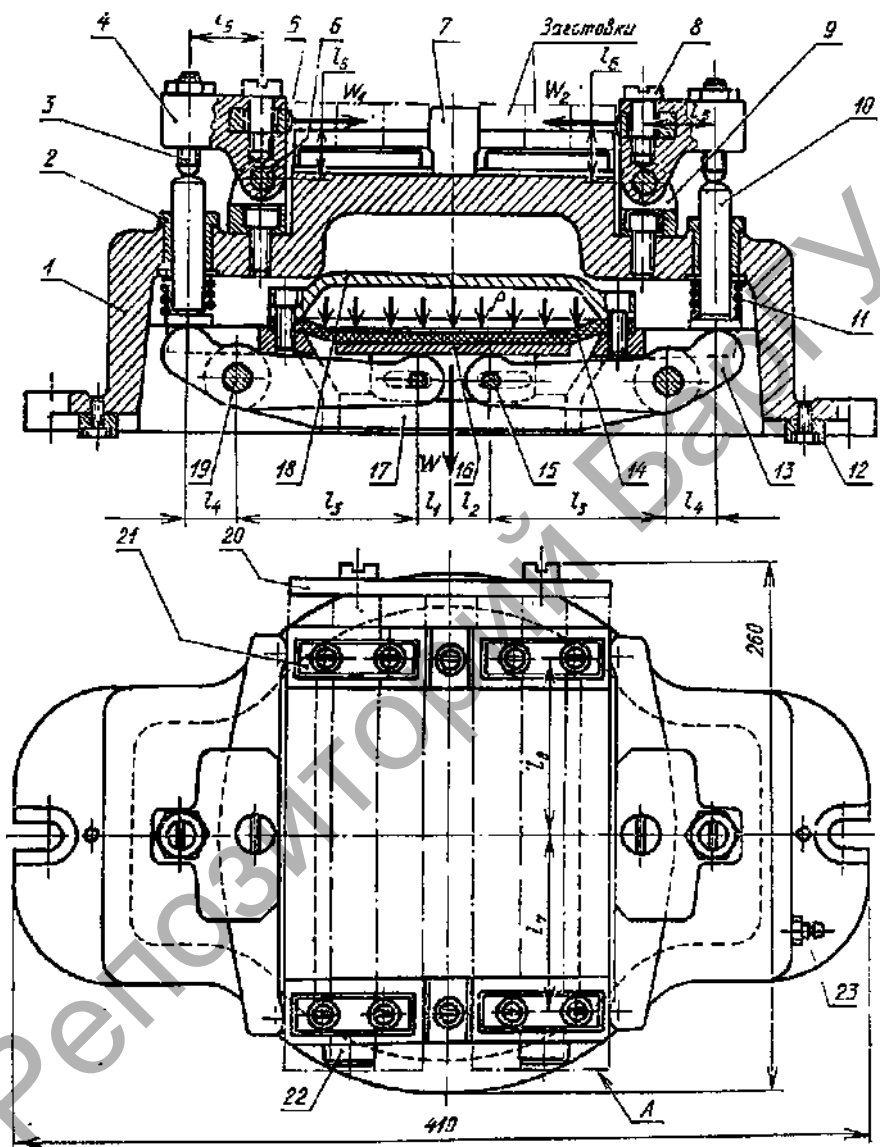


Рисунок 1.22 — Фрезерное многоместное приспособление для обработки торцов заготовок типа планок со схемой комбинированной передачи сил зажима

заготовки устанавливаются в приспособление на опорные пластины 21 при выключенном зажимном устройстве. При базировании заготовок (по три с каждой стороны стоек 7) следует обеспечить их перемещение до упора в пластину 20 и контактирования со стойками 7.

После этого с помощью крана управления (расположен отдельно от приспособления) включается пневмопривод. Сжатый воздух из пневмомагистрали через штуцер 23 поступает в пространство между крышкой 18 и диафрагмой 14, смонтированными в корпусе 1. При деформации под воздействием сжатого воздуха диафрагма, защемленная между крышкой 18 и корпусом 17 привода, перемещает вниз шайбу 16 и длинные концы рычагов 13, соединенные посредством пальцев 15 со стойками шайбы 16. При этом рычаги 13 поворачиваются на осях 19. Короткие концы этих рычагов воздействуют

на штоки 10, которые, сжимая пружины 11 и перемещаясь во втулке 2, давят на пяты 3 рычагов 4. В результате рычаги 4 поворачиваются вокруг осей 6 стоек 9 и посредством осей 8 и коромысел 5 поджимают с необходимой силой обрабатываемые заготовки к стойкам 7. Зажим обеспечивает заданное положение заготовок при фрезеровании.

По окончании обработки перекрывается пневмомагистраль и открывается выход воздуха из камеры в атмосферу. При этом под воздействием пружин 11 штоки 10 отходят вниз и поворачивают в исходное положение рычаги 13. При повороте длинные концы рычагов 13 поднимают вверх шайбу 16 и способствуют выправлению и обратному прогибу диафрагмы 14. С опусканием вниз штоков 10 рычаги 4 под действием собственной силы тяжести (центр тяжести рычагов смещен от оси их поворота в сторону регулируемых пят 3) поворачиваются вокруг осей 6 и отводят от заготовок зажимные элементы — коромысла 5. Зажим отключается, обработанные заготовки вынимаются из приспособления. При установке новых заготовок цикл повторяется.

Приспособление устанавливается на стол горизонтально-фрезерного станка и ориентируется по Т-образным пазам стола направляющими шпонками 12. Обработка поверхностей *A* заготовок осуществляется фрезой, устанавливаемой в нужное положение с помощью шупа и установкой 22.

В результате рассмотрения приспособления можно сделать вывод, что сила, создаваемая диафрагменным пневмоприводом, передается на длинные концы рычагов 13 и при равенстве расстояний  $l_1$

и  $l_2$  на каждый рычаг действует сила, равная  $W/2$ . На других концах рычагов действуют силы  $Wl_3/(2l_4)$  (без учета сил трения). Эти силы изменяются по направлению действия и значению рычагами 4. Таким образом, на каждое коромысло 5 действует одна и та же сила  $W_1 = Wl_3l_5/(2l_4l_6)$ , каждый пакет заготовок при равенстве плеч коромысла поджимается к стойкам 7 двумя силами, равными  $W_1/2$ . В этом плане в приспособлении осуществлена схема параллельной передачи сил зажима. Но в каждом пакете три заготовки, и силы зажима  $W_1/2$  последовательно передаются от коромысла 5 на первую заготовку, от нее — на вторую, а от второй — на третью. И в этом плане в приспособлении реализуется схема последовательной передачи сил зажима.

В случаях, когда в многоместном приспособлении обрабатываются различные поверхности и возникают неодинаковые силы резания, расчеты потребных сил зажима, зажимных устройств и приводов к ним осуществляются отдельно для каждой позиции.

Рассмотрев данное приспособление (см. рис. 1.22), можно сделать вывод, что одной из наиболее нагруженных деталей является ось 6 стойки 9. Она воспринимает повышенные нагрузки, связанные с зажимом обрабатываемых заготовок. Направление действия создаваемой пневмоцилиндром силы меняется на противоположное посредством рычага 13. При этом она увеличивается в несколько раз. Затем через штоки 10 и пяты 3 она передается на рычаг 4, получает направление в сторону зажима заготовок и вновь возрастает. Таким образом, на прочность целесообразно рассчитывать наиболее нагруженное звено 6. Ось 6 в отверстиях рычага 4 и стойки 9 установлена с зазором и будет работать на изгиб. В соответствии с принятым она изготавливается из стали 20Х с цементацией и закалкой до твердости 57...63 HRC<sub>3</sub>. Вид нагрузки — П (переменная). Напряжение изгиба  $\sigma_{из}$  для приведенного случая равно 220 МПа. Из силового расчета выявлено, что изгибающий момент  $M_{из}$ , действующий на опасное звено приспособления, равен 10 800 Н · мм. Минимальный диаметр оси  $d$  можно рассчитать по формуле (1.13):

$$d = \sqrt{\frac{10\,800}{0,1 \cdot 220}} = 7,9 \text{ мм.}$$

В описанных условиях можно принять размер  $d = 10$  мм, что обеспечит более надежную работу оси  $b$  в приспособлении.

Репозиторий Баргу

## Раздел II МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗДЕЛА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

### 2.1 Основные положения по разработке

Технологический раздел дипломного проекта разрабатывается при условии, что тема дипломного проекта соответствует проектированию механизмов, приспособлений и других сборочных единиц, входящих в технологическую подготовку производства на базовом предприятии (кроме технологического оборудования).

Решение о целесообразности включения технологического раздела в состав дипломного проекта принимает заведующий кафедрой совместно с руководителем дипломного проектирования.

При разработке (модернизации) металлорежущего станка (или его частей), а также другого технологического оборудования и сложных сборочных механизмов при условии, что объем графического материала и пояснительной записки соответствует необходимому, выполнение технологического раздела не требуется. В целях наглядности состав технологического раздела дается в данных методических рекомендациях в примерах с иллюстрациями.

#### *2.1.1 Назначение и конструкция обрабатываемой детали [8]*

Рассматриваемая деталь — колесо зубчатое МИМ 300.02.004 (рис. 2.1) — является одной из основных единиц в редукторе, за исключением электродвигателя и шестерни. Редуктор приводит в движение шнек мясорубки. В зубчатой передаче движение передается с помощью зацепления пары зубчатых колес.

Колесо зубчатое МИМ 300.02.004 косозубое находится в зацеплении с шестерней, посаженной на вал электродвигателя.

Материалом для данной детали служит СЧ 20 ГОСТ 1412-85. Серый чугун — технологичный материал, обладает хорошей жидкотекучестью, малой склонностью к образованию усадочных дефектов по сравнению с чугуном других типов. Из него можно изготавливать отливки самой сложной конфигурации с толщиной стенок от 2 до 500 мм.



и размеров к форме и размерам готовой детали при условии обеспечения технологичности дальнейшей механической обработки заготовки.

Инструмент для обработки используется стандартный.

### **Количественный анализ**

Как количественные показатели технологичности могут рассматриваться следующие параметры:

1) коэффициент использования материала определяется по формуле

$$K_{и.м} = \frac{M_{д}}{M_3}, \quad (2.1)$$

где  $M_{д}$  — масса детали;

$M_3$  — масса заготовки;

$$K_{и.м} = \frac{1,88}{2,6} = 0,72;$$

2) коэффициент точности (табл. А.3) находится по формуле

$$K_{тч} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i} = 0,88, \quad (2.2)$$

где  $n_i$  — число размеров соответствующего класса точности;

$T$  — класс точности обработки;

3) коэффициент шероховатости (табл. А.4) определяется по формуле

$$K_{ш} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T n_i} = 0,88,$$

Среднее значение шероховатости определяется по формуле

$$\bar{Ш}_{ср} = \frac{\sum Ш_i n_i}{\sum n_i} = \frac{58,5}{13} = 4,5;$$

4) масса детали  $M = 1,88$  кг;

5) максимальное значение качества обработки  $IT-10$ ;

6) максимальное значение параметра шероховатости обрабатываемых поверхностей  $Ra = 6,3$  мкм.

В процессе проверки уровня технологичности видно, что данная деталь является достаточно технологичной.

### 2.1.3 Определение типа производства [8]

Определение типа производства необходимо для дальнейшего проектирования технологического процесса, поскольку от конкретного типа производства зависит форма организации.

Под типом производства понимают совокупность основных признаков, характеризующих (определяющих) построение производственного процесса.

Тип производства по ГОСТ 14.004-83 характеризуется коэффициентом закрепления операций  $K_{з.о}$ :  $K_{з.о} = 1$  — массовое;  $1 < K_{з.о} < 10$  — крупносерийное;  $10 < K_{з.о} < 20$  — серийное;  $20 < K_{з.о} < 40$  — мелкосерийное; в единичном производстве  $K_{з.о}$  не регламентируется [8]. Если учесть, что  $K_{з.о}$  отражает периодичность обслуживания рабочего всей необходимой информацией, а также снабжения рабочего места всеми необходимыми вещественными элементами производства, то  $K_{з.о}$  оценивается применительно к явочному числу рабочих подразделения из расчета на одну смену и определяется по формуле

$$K_{з.о} = \Sigma П / P_{я},$$

где  $\Sigma П$  — суммарное число различных операций;

$P_{я}$  — принятое количество рабочих мест.

Определим действительный годовой фонд времени работы оборудования: полное количество дней в году — 365; количество дней отдыха — 104; количество праздничных дней — 9; количество дней, сокращенных на час перед праздничными днями — 8; количество рабочих дней в году:  $365 - (104 + 9) = 252$ ; количество рабочих дней с полной продолжительностью рабочей смены:  $252 - 8 = 244$ ; количество рабочих часов:  $244 \cdot 8 + 8 \cdot 7 = 2\,070$  ч.

Учитывая, что по условию режим работы односменный, годовой фонд времени работы оборудования  $F_{д} = 2\,070$  ч.

Такт выпуска определяется по формуле

$$\tau = 60 F_{д} / N,$$

где  $F_{д}$  — действительный годовой фонд времени работы оборудования;

$N$  — объем выпуска изделий в год;

$F_{д}$  — годовой фонд времени при односменном режиме работы ( $F_{д} = 2\,070$  ч).

$$\tau = 60 \cdot 2\,070 / 7\,000 = 17,7 \text{ мин.}$$

Располагая штучным временем, затраченным на каждую операцию, определяют количество станков  $m_p$  по формуле

$$m_p = \frac{NT_{шт}}{60F_d \cdot \eta_{з.н}},$$

где  $N$  — годовая программа выпуска, шт.;

$T_{шт}$  — штучное время, мин;

$F_d$  — действительный годовой фонд времени, ч ( $F_d = 2\,070$ );

$\eta_{з.н}$  — нормативный коэффициент загрузки оборудования.

$$m_p = \frac{7\,000 \cdot 3,04}{60 \cdot 2\,070 \cdot 0,75} = 0,229,$$

где  $m_{пр}$  — принятое количество станков.

Затем устанавливают принятое число рабочих мест  $m_{пр}$ , округляя до ближайшего большего целого числа полученные значения  $m_p$ .

Далее по каждой операции вычисляют значение фактического коэффициента загрузки рабочего места  $\eta_{з.ф}$  по формуле

$$\eta_{з.ф} = \frac{m_p}{P_{я}};$$

$$\eta_{з.ф} = 0,229 / 1 = 0,229.$$

Если  $\eta_{з.ф}$  операции выше нормативного, следует увеличить для данной операции количество станков.

Количество операций, выполняемых на рабочем месте, определяется по формуле

$$O = \frac{\eta_{з.н}}{\eta_{з.ф}},$$

где  $\eta_{з.ф}$  — фактический коэффициент загрузки оборудования;

$$O = \frac{0,75}{0,229} = 3.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу А.5 (приложение А).

Тогда коэффициент закрепления операций определяется по формуле

$$K_{з.о} = \frac{38}{7} = 5,4.$$

Тип производства — крупносерийное.

Для серийного типа производства рассчитывается количество деталей в партии  $n$  по формуле

$$n = \frac{N\lambda}{F},$$

где  $\lambda$  — периодичность запуска (рекомендуются: 3, 6, 12, 24 дня);  
 $F$  — число рабочих дней в году, которое определяется по формуле

$$n = \frac{7\,000 \cdot 6}{252} = 167 \text{ шт.}$$

Принимаем количество деталей в партии  $n = 200$  шт.

#### *2.1.4 Выбор и технико-экономическое обоснование метода получения заготовки*

Метод получения заготовки определяется назначением, конструкцией детали, материалом, техническими требованиями, масштабом и серийностью выпуска, а также экономичностью изготовления, который во многом определяется типом производства. После определения типа производства выбирается наиболее экономически целесообразный метод получения заготовок [17]. Затем по ГОСТ 7505-89, ГОСТ 26645-85; ГОСТ 7062-67, ГОСТ 7289-70 определяются припуски на механическую обработку.

В зависимости от способа получения заготовки (литьем или давлением) [17] определяется предварительно метод получения заготовки (табл. 2.1 и 2.2).

Экономическое обоснование сравнения возможных вариантов получения предполагает два этапа:

1) сравнение методов получения заготовки по коэффициенту использования материала, который определяется по формуле

$$K = \frac{G_{\text{дет}}}{G_{\text{заг}}},$$

где  $G_{\text{дет}}$  — масса детали, кг;

$G_{\text{заг}}$  — масса заготовки, кг;

при этом учитываются следующие рекомендации: в массовом производстве  $K \geq 0,85$ , в серийном производстве  $K \geq 0,5 \dots 0,6$ ;

Т а б л и ц а 2.1 — Характеристика основных методов получения заготовок литьем

Метод получения	Масса заготовок, т	Наименьшая толщина стенок, мм	Точность выполнения	Шероховатость $Ra$ , мкм	Материал	Тип производства
Разовые формы						
<i>Литье в песчано-глинистые формы</i>	До 100	Чугун 3...5	IT 17	80...20	Чугун, сталь, специальные сплавы	Единичное и мелкосерийное
Ручная формовка по деревянным моделям		Сталь 5...8 Цветные сплавы 3...8				
Машинная формовка	До 10		IT 16...17	20...5		Серийное
Машинная формовка по металлическим моделям	3...5		IT 14...16	20...5		Крупносерийное и массовое
<i>Литье по выплавляемым моделям</i> (выжимаемым, растворимым, замороживаемым)	До 0,15	0,5	IT 11...12	10...25	Труднообрабатываемые сплавы	Серийное
<i>Литье в оболочковые формы</i> (песчано-смоляные, химически твердеющие)	До 0,15	Сталь 3...5, алюминий 1...1,5	IT 13...14	10...25	Чугун, сталь, цветные сплавы	Серийное и массовое
Многokrатные формы						
<i>Центробежное литье</i>	0,01...1	5...6	IT 12...14	40...10	Чугун, сталь, цветные сплавы	Крупносерийное и массовое
<i>Литье под давлением</i>	До 0,1	0,5	IT 8...12	5,0...0,63	Цветные сплавы	
<i>Литье в кокиль</i>	7 (чугун) 4 (сталь) 0,5 (цветные сплавы)	Чугун 15, сталь 10	IT 12...15	20...25	Чугун, сталь, цветные сплавы	Серийное и массовое

Т а б л и ц а 2.2 — Характеристика основных методов получения заготовок обработкой давлением

Метод получения заготовок		Размер или масса	Толщина стенок, мм	Точность	Шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	Материал	Тип производства
<b>К О В К А</b>	На молотах и прессах	До 250 т		На молотах по ГОСТ 7829-70, на прессах по ГОСТ 7062-79	До 12,5		Единичное и мелко-серийное
	На молотах и подкладных кольцах и штампках	До 10 кг	3...5	По ГОСТ 7929-70	До 12,5		Мелкосерийное
	На радиально-ковочных машинах	Диаметр прутка (трубы) до 150 мм		0,1...0,6 (горячая); 0,04...0,4 (холодная)	До 0,4 (холодная)	Углеродистые и легированные стали	
<b>Ш Т А М П О В К А</b>	На молотах и прессах	До 0,4т	2,5	Классы Т4...Т5 по ГОСТ 7505-89			Серийное и массовое
	На горизонтально-ковочных машинах	До 30 кг	2,5	Классы Т4...Т5 по ГОСТ 7505-89			
	Выдавливание	Диаметр до 200 мм	—	Классы Т3...Т4 по ГОСТ 7505-89	12,5...3,2		
	На чеканочных и кривошипных коленчатых прессах	До 0,1 т	2,5	На 25...30% выше, чем на молотах			

2) сравнение методов получения заготовки на основании расчета стоимости заготовки с учетом ее черновой обработки. Стоимость заготовки  $C_m$  определяется по формуле

$$C_m = G_{\text{дет}} \Pi_m - G_o \Pi_o + C_{\text{зч}} T \left( 1 + \frac{C_n}{100} \right),$$

где  $G_{\text{дет}}$  — масса детали, кг;

$\Pi_m$  — оптовая цена на материал в зависимости от метода получения заготовки;

$G_o$  — масса отходов материала, кг;

$\Pi_o$  — цена 1 кг отходов, р.;

$C_{\text{зч}}$  — средняя часовая заработная плата основных рабочих по тарифу, р. / ч;

$T$  — время черновой обработки, ч;

$C_n$  — цеховые накладные расходы (для механических цехов могут быть приняты равными 60...80%).

В качестве примера рассмотрим такой метод получения заготовок, как литье в оболочковые формы, который является прогрессивным способом получения отливок с повышенной чистотой поверхности и точностью размеров. Оболочковая форма состоит из двух полуформ с горизонтальной или вертикальной плоскостью разъема и стержней. После затвердевания отливки оболочковая форма легко разрушается. Для изготовления таких форм в производстве используются различные типы машин, основное назначение которых — формирование и съем оболочек; процесс легко поддается механизации и автоматизации. Литьем в оболочковые формы изготавливают ответственные детали, например гильзы, звездочки, зубчатые колеса, детали компрессоров, тепловозов из чугуна, нелегированных сталей, цветных и специальных сплавов. Можно получать отливки массой от нескольких сотен граммов до ста килограммов. Максимально возможные габариты отливок — 500...700 мм.

Преимущества данного способа перед литьем в песчаные формы [2]:

- значительная экономия металла (до 30...50%);
- отливки имеют чистую поверхность и повышенную точность размеров, что позволяет назначать припуски на механическую обработку, примерно в два раза меньшие, чем при литье в песчаные формы;
- уменьшается расход формовочных материалов в 10...20 раз;

– применение оболочковых форм увеличивает выход годного литья за счет снижения брака в 1,5...2 раза;

– при выбивке формы оболочка легко разрушается, что уменьшает затраты труда на обрубку и очистку отливок в среднем на 50%.

Наиболее рационально применение литья в оболочковые формы при массовом и крупносерийном производствах.

### *2.1.5 Анализ базового технологического процесса*

Для оценки базового варианта технологического процесса необходимо подвергнуть его подробному анализу, результаты которого будут предпосылкой для разработки нового варианта технологического процесса. Анализ производится с точки зрения обеспечения заданного качества изделия и производительности обработки. Он базируется на оценке количественных и качественных показателей как отдельных технологических операций, так и процесса в целом. Оценка качественных показателей производится путем логических рассуждений. Количественные показатели определяются технико-экономическими расчетами или по данным технологической документации.

Степень анализа зависит от различных факторов: конструкции детали; применяемых методов обработки; реальных производственных условий.

Предметом анализа является технологический процесс изготовления детали «Колесо зубчатое МИМ300.02.004». Производство крупносерийное. Годовой объем выпуска — 7 000 шт.

Технологический процесс состоит из следующих операций механической обработки:

- 030 токарно-винторезной, станок модели 16К20;
- 040 токарно-винторезной, станок модели 16К20;
- 050 горизонтально-протяжной, станок модели 7523;
- 060 токарно-винторезной, станок модели 16К20;
- 070 зубофрезерной, станок модели 5А312;
- 080 горизонтально-протяжной, станок модели 7523.

Все операции выполняются в механическом цеху, который состоит из ряда участков: гальванопокрытий, термического, участка изготовления деталей из пластмасс, механического.

Для анализа применяемого для обработки данной детали оборудования составляем таблицу А.6 (приложение А), в которой указываются характеристика срока службы, стоимости, сложности, производительности и степени использования применяемого оборудования.

Принятую в данном варианте технологического процесса общую последовательность обработки следует считать логически целесообразной, так как при этом соблюдаются принципы постепенности формирования свойств обрабатываемой детали. Как видно из таблицы, коэффициенты загрузки станков очень малы, поэтому станки необходимо догрузить обработкой других деталей до среднего коэффициента загрузки не менее 0,6...0,8.

Согласно таблице А.7 (приложение А), в технологическом процессе применяется в основном стандартный покупной инструмент, что ускоряет технологическую подготовку производства и уменьшает затраты на него, а также твердосплавные режущие материалы и абразивные круги. Режимы резания достаточно высокие, обработка ведется с применением смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС), что позволяет вести ее с высокими скоростями и сохранением оптимальных периодов стойкости инструмента.

В рассматриваемом технологическом процессе применена специализированная вспомогательная оснастка, показанная в таблице А.8 (приложение А). Время, необходимое на смену одного режущего инструмента во вспомогательном, сравнительно невелико. Затраты времени на смену (правку) инструмента можно снизить, если применить более стойкие твердосплавные инструменты с износостойкими покрытиями. Крепление инструментов, их установка и смена не сложны. Таким образом, вспомогательная оснастка соответствует данному типу производства.

В технологическом процессе применены быстродействующие измерительные инструменты (универсальные и специальные), показанные в таблице А.9 (приложение А). Точность измерения достаточно высокая (погрешность измерения не превышает 30% допуска на размер). Оснащенность измерительными средствами операций обработки хорошая.

### *2.1.6 Определение припусков на механическую обработку в соответствии со стандартами*

Припуски на обработку (на сторону) назначают дифференцированно на каждую обрабатываемую поверхность отливки в соответствии с экономически целесообразным выбранным методом получения заготовки.

Численные значения припусков на каждую обрабатываемую поверхность назначают по ГОСТ 7505-89; ГОСТ 26645-85; ГОСТ 7062-67; ГОСТ 7289-70.

Минимальный литейный припуск в соответствии с выбранным способом получения заготовки на обработку поверхности отливки назначают в соответствии с таблицей 5 ГОСТ 26645-85 для устранения неровностей и дефектов литой поверхности и уменьшения шероховатости поверхности при отсутствии необходимости в повышении точности размеров, формы и расположения обрабатываемой поверхности.

Общий припуск назначают в соответствии с таблицей 6 для устранения погрешностей размеров, формы и расположения, неровностей и дефектов обрабатываемой поверхности, формирующихся при изготовлении отливки и последовательных переходах ее обработки, в целях повышения точности обрабатываемого элемента отливки.

Общие припуски назначают по полным значениям общих допусков во всех случаях, кроме оговоренных в пп. 4.2.1 и 4.2.2 ГОСТ 26645-85.

Общие припуски на поверхности вращения и противоположные поверхности, используемые в качестве взаимных баз при их обработке, назначают по половинным значениям общих допусков отливки на соответствующие диаметры или расстояния между противоположными поверхностями отливки.

Чертеж заготовки с назначенными припусками представлен на рисунке В.1 (приложение В).

### *2.1.7 Определение основного технологического времени [8]*

Для определения норм времени по обрабатываемой поверхности воспользуемся формулами [8]. Рассчитаем основное технологическое время для операции 080 (горизонтально-протяжная) на станке 7523. Обработка состоит из нескольких позиций. Рассчитаем норму времени для каждой из них, тогда  $T_0$  по обрабатываемой поверхности для всей операции будет равно их сумме.

Позиция 1. Протягивание предварительное:  $T_0 = 0,00041 = 172,8 \cdot 10^{-3}$  мин.

Позиция 2. Протягивание окончательное :  $T_0 = 0,00041 = 172,8 \cdot 10^{-3}$  мин.

Тогда  $T_0 = (172,8 + 172,8) \cdot 10^{-3} = 345,6 \cdot 10^{-3} = 0,3456$  мин.

Расчет основного технологического времени на остальные операции приведен в таблице А.10 (приложение А).

### 2.1.8 Техническое нормирование [8]

В серийном производстве норма штучно-калькуляционного времени  $T_{шт.-к}$  определяется по формуле

$$T_{шт.-к} = T_{шт} + \frac{T_{п.-з}}{n}, \quad (2.14)$$

где  $T_{шт}$  — штучное время;

$T_{п.-з}$  — подготовительно-заключительное время, мин;

$n$  — количество деталей в партии, шт.

Штучное время определяется по формуле

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обсл} + T_{отд},$$

где  $T_o$  — основное время, мин;

$T_v$  — вспомогательное время, мин;

$T_{обсл}$  — время на обслуживание рабочего места, мин;

$T_{отд}$  — время перерывов на отдых и личные надобности, мин.

Вспомогательное время  $T_v$  определяется по формуле

$$T_v = T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{изм},$$

где  $T_{у.с}$  — время на установку и снятие детали;

$T_{з.о}$  — время на закрепление и открепление детали;

$T_{уп}$  — время на приемы управления;

$T_{изм}$  — время на измерения детали.

Рассчитать норму штучно-калькуляционного времени для операции 080 — протягивание шпоночного паза, выполняемой на станке модели 7523. Производство крупносерийное, размер партии деталей равен 200 шт., 15% деталей контролируется калибрами на размер — 0,09 мин; 0,1 мин. Масса детали равна 1,88 кг. Деталь устанавливается в адаптер 7622-4001-02. Основное технологическое время  $T_o = 0,346$  мин.

Для нормирования вспомогательного времени в серийном производстве применяют коэффициент  $k$  (в крупносерийном производстве — 1,5).

Вспомогательное время на установку детали в приспособление и снятие ее (вручную) включает приготовление детали, установку и закрепление, открепление. Тогда

$$T_{у.с} + T_{з.о} = 0,1 \text{ мин.}$$

Время на приемы управления станком: включение и выключение станка — 0,01 мин; подведение протяжки — 0,07 мин; отведение протяжки — 0,02 мин:

$$T_{\text{упр}} = 0,01 + 0,07 + 0,02 = 0,10.$$

Время на измерение детали при 15% контролируемых деталей:

$$T_{\text{изм}} = \frac{0,29 \cdot 15}{100} = 0,04 \text{ мин.}$$

С учетом поправочного коэффициента — вспомогательное время для серийного производства

$$T_{\text{в}} = (0,1 + 0,1 + 0,04) \cdot 1,5 = 0,36 \text{ мин.}$$

оперативное время

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} = 0,346 + 0,36 = 0,706 \text{ мин.}$$

Время на обслуживание рабочего места и отдых составляет 7% оперативного времени, тогда

$$T_{\text{об.от}} = 0,07 \cdot T_{\text{оп}} = 0,07 \cdot 0,706 = 0,049 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{о}} + T_{\text{об}} + T_{\text{об.от}} = 0,346 + 0,36 + 0,049 = 0,755 \text{ мин.}$$

Определяем подготовительно-заключительное время: 11 мин — наладка станка, инструмента и приспособления; время на дополнительные приемы (5 мин) — получение инструмента до начала работы и сдача после ее завершения [8]:

$$T_{\text{п.з}} = 11 + 5 = 16 \text{ мин.}$$

Тогда штучно-калькуляционное время  $T_{\text{шт.-к}}$  определяется по формуле

$$T_{\text{шт.-к}} = \frac{T_{\text{п.з}}}{n} + T_{\text{шт}};$$

$$T_{\text{шт.-к}} = \frac{16}{200} + (0,786 + 0,055) = 0,92 \text{ мин.}$$

Аналогичным образом производится расчет норм времени по остальным операциям (табл. А.11).

### 2.1.9 Выбор оборудования и расчет его количества [8]

Правильный выбор оборудования определяет его рациональное использование. С этой целью определим критерии, показывающие степень использования каждого станка в отдельности и всех вместе по разработанному технологическому процессу.

Коэффициент загрузки станка  $\eta_3$  определяется как соотношение по формуле

$$\eta_3 = \frac{m_p}{m_{пр}}$$

где  $m_p$  — расчетное количество станков (табл. А.5);

$m_{пр}$  — принятое количество станков.

Коэффициент использования оборудования по основному времени  $\eta_o$  определяется по формуле

$$\eta_o = \frac{T_o}{T_{шт.к}}$$

Коэффициент использования станков по мощности привода определяется по формуле

$$\eta_{и} = \frac{P_{пр}}{P_{ст}}$$

где  $P_{пр}$  — необходимая мощность на приводе станка;

$P_{ст}$  — фактическая мощность привода станка.

Расчет коэффициентов использования оборудования сводим в таблицу А.12 (приложение А).

Находим среднее значение коэффициентов для всего технологического процесса:

$$z_{3cp} = \frac{\sum z_{3i}}{\sum m_{прi}}$$

$$\eta_{оcp} = \frac{\sum \eta_{oi}}{\sum m_{прi}}$$

$$\eta_{\text{м.ср}} = \frac{\sum \eta_{\text{м.и}}}{\sum m_{\text{пр.и}}},$$

где  $\sum m_{\text{пр.и}}$  — число станков, используемых при данном технологическом процессе, шт.;

$$\eta_{\text{з.ср}} = 180 / 7 = 25,76\%;$$

$$\eta_{\text{о.ср}} = 308 / 7 = 44,0\%;$$

$$\eta_{\text{м.ср}} = 148 / 7 = 16,4\%.$$

Станки остаются недогруженными, что в условиях реального производства недопустимо, поэтому на производстве их догружают другими деталями.

Для наглядности оценки эффективности разработанного технико-экономического процесса (приложение Б) построим диаграммы использования оборудования по основному времени, использования станков по мощности, стойкости инструмента по операциям процесса (рис. 2.2—2.4).

Анализируя проведенные расчеты и выполненные графики, следует отметить на всех операциях невысокий коэффициент использования оборудования. Дозагрузку данного оборудования следует компенсировать обработкой других деталей.

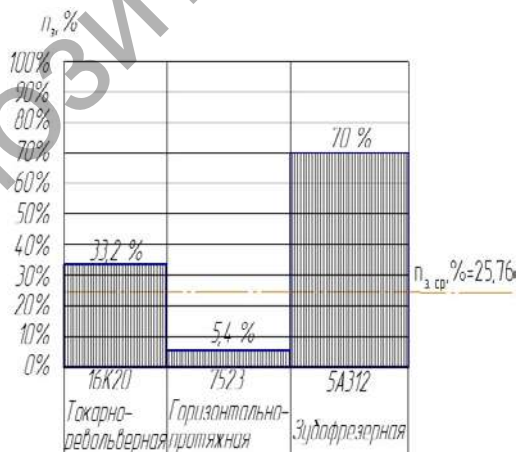


Рисунок 2.2 — График загрузки оборудования

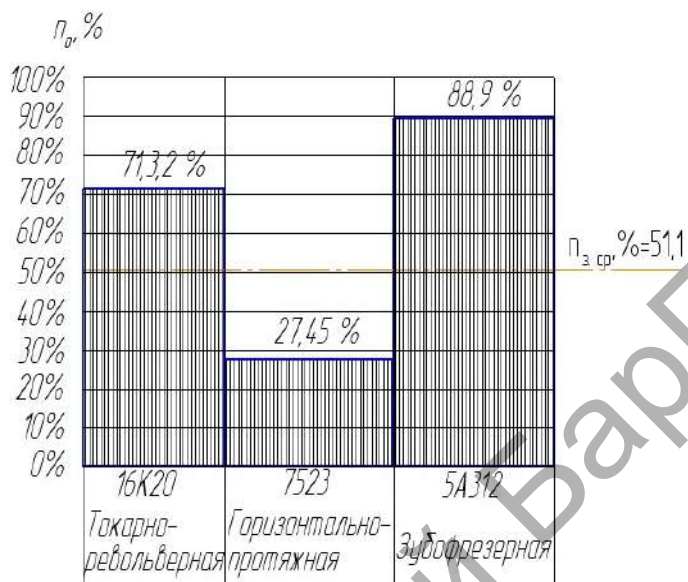


Рисунок 2.3 — График использования оборудования по основному времени

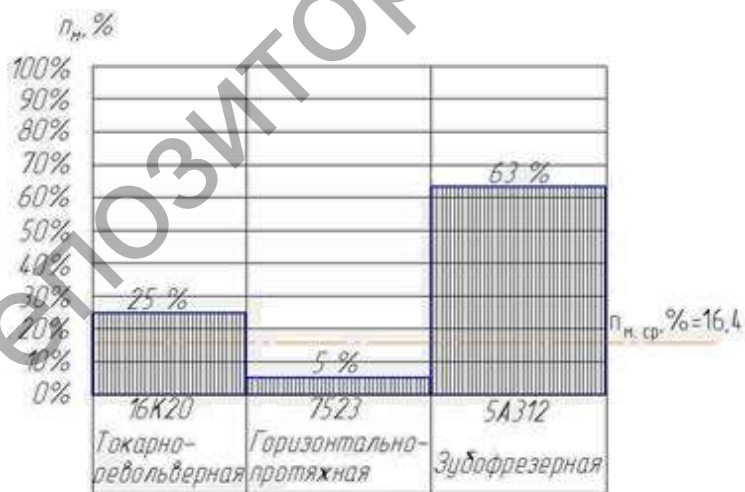


Рисунок 2.4 — График использования оборудования по мощности

### 2.1.10 Технико-экономическое обоснование разработанного технологического процесса [8]

Определим себестоимость обработки по сравниваемым вариантам. Критерием оптимальности является минимум приведенных затрат на единицу продукции.

Часовые приведенные затраты  $C_{п.з}$  (р./ч) можно определить по формуле

$$C_{п.з} = C_3 + C_{чз} + E_n (K_c + K_3),$$

где  $C_3$  — основная и дополнительная зарплата с начислениями, р./ч;

$C_{чз}$  — затраты часовые на эксплуатацию рабочего места, р./ч;

$E_n$  — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (0,15) [8];

$K_3$  — удельные часовые капитальные вложения в здание, р./ч;

$K_c$  — удельные часовые капитальные вложения в станок, р./ч, которые определяются по формуле

$$C_3 = \varepsilon C_{тф} k y,$$

где  $\varepsilon$  — коэффициент к часовой тарифной ставке, равный 1,53 [8];

$C_{тф}$  — часовая тарифная ставка станочника-сдельщика соответствующего разряда, р./ч;

$k$  — коэффициент, учитывающий зарплату наладчика;

$y$  — коэффициент штучного времени, учитывающий оплату труда рабочего при многостаночном обслуживании;

Часовые затраты на эксплуатацию рабочего места  $C_{чз}$  рассчитываем по формуле

$$C_{чз} = C_{чз}^{бп} k_m,$$

где  $C_{чз}^{бп}$  — практические часовые затраты на базовом рабочем месте

$$(C_{чз}^{бп} = 0,16 \text{ р./ч});$$

$k_m$  — коэффициент, показывающий, во сколько раз затраты, связанные с работой данного станка, больше, чем аналогичные расходы, связанные с работой базового станка.

Капитальные вложения в станок определяются по формуле

$$K_c = Ц / (F \cdot \eta_3),$$

где  $Ц$  — балансовая стоимость станка, р.;

$F$  — эффективный годовой фонд времени работы станка (2 070 ч);

$\eta_3$  — коэффициент загрузки станка ( $\eta_3 = 0,8$ ) [7].

Капитальные вложения в здание определяются по формуле

$$K_3 = (Ц_{зд} \cdot A) / (F \cdot \eta_3),$$

где  $Ц_{зд}$  — стоимость одного квадратного метра производственной площади ( $Ц_{зд} = 42,3$  р.);

$A$  — производственная площадь, занимаемая станком с учетом проходов, которая определяется по формуле

$$A = f k_f,$$

где  $f$  — площадь станка, м<sup>2</sup>;

$k_f$  — коэффициент, зависящий от площади станка.

Технологическая себестоимость операции механической обработки определяется по формуле

$$C_o = (C_{пз} \cdot T_{шт.-к}) / 60,$$

где  $T_{шт.-к}$  — штучно-калькуляционное время обработки на данном станке, мин.

### **Базовый вариант**

Обработка на станке модели 16К20, операция 030.

$Ц = 21\,500$  р.;  $T_{шт.-к} = 8,493$  мин;  $f = 3,89$  м<sup>2</sup>;  $k_f = 3,5$  [7];  $\varepsilon = 1,53$ ;  $k = 1$ ,  
 $y = 1$ ;  $k_m = 1,3$ ;  $A = 13,64$  м<sup>2</sup>;  $C_3 = 0,76$  р./ч;  $C_{чз} = 0,16 \cdot 1,3 = 0,208$  р./ч;

$$K_c = \frac{Ц}{F_d \eta_3} = \frac{21\,500}{2\,070 \cdot 0,8} = 12,98 \text{ р. / ч;}$$

$$K_3 = \frac{A Ц_3}{F_d \eta_3} = \frac{13,64 \cdot 42,3}{2\,070 \cdot 0,8} = 0,35 \text{ р. / ч;}$$

$$C_{пз} = 1,16 + 0,208 + 0,15 \cdot (12,98 + 0,35) = 3,37 \text{ р. / ч;}$$

$$C_{об} = \frac{3,37 \cdot 8,493}{60} = 0,48 \text{ р.}$$

### **Проектный вариант**

Обработка на станке модели 16К20Ф3, операция 030.

$\Pi = 45\,500 \text{ р.; } T_{шт.-к} = 3,126 \text{ мин; } f = 4,31 \text{ м}^2; k_f = 3,5; \varepsilon = 1,53; k = 1, y = 0,65;$

$k_m = 1,42; A = 16,21 \text{ м}^2; C_3 = 0,88 \text{ р. / ч; } C_{чз} = 0,19 \cdot 1,42 = 0,27 \text{ р. / ч;}$

$$K_c = \frac{\Pi}{F_{дз_3}} = \frac{45\,500}{2\,070 \cdot 0,8} = 27,48 \text{ р. / ч;}$$

$$K_3 = \frac{A\Pi_D}{F_{дз_3}} = \frac{16,21 \cdot 42,3}{2\,070 \cdot 0,8} = 0,41 \text{ р. / ч;}$$

$$C_{пз} = 0,88 + 0,27 + 0,15 \cdot (27,48 + 0,41) = 5,33 \text{ р. / ч;}$$

$$C_{оп} = \frac{5,33 \cdot 3,126}{60} = 0,28 \text{ р.}$$

Определим экономию  $\mathcal{E}_r$  за счет уменьшения размеров колеса [8] по формуле

$$\mathcal{E}_r = (C_{об} - C_{оп}) N_r,$$

где  $C_{об}$  и  $C_{оп}$  — технологические себестоимости операций по сравниваемым вариантам;

$N_r$  — годовая программа выпуска;

$$\mathcal{E}_r = (0,48 - 0,28) \cdot 7\,000 = 1\,400 \text{ р.}$$

Из таблицы А.13 видно, что изменение конструкции колеса даст годовой эффект 1 400 р.

Т а б л и ц а А.1 — Химический состав чугуна СЧ 20 ГОСТ1412-85

<i>C</i> , %	<i>Si</i> , %	<i>Mn</i> , %	<i>P</i> , не более, %	<i>S</i> , не более, %
3,3...3,5	1,4...2,2	0,7...1,0	0,2	0,15

Т а б л и ц а А.2 — Механические свойства чугуна СЧ20 ГОСТ1412-85

$\sigma_{изг}$ , МПа	$\sigma_{сж}$ , МПа	$\tau_{ср}$ , МПа	КС, кДж/м	Твердость по Бринеллю, <i>HВ</i>	$E \cdot 10^{-3}$ , МПа
420	800	200	20	143...255	85...110

Т а б л и ц а А.3 — Исходные данные для определения коэффициента точности

$T_i$	$n_i$	$T_i \times n_i$
10	1	10
7	1	7
—	$\sum n_i = 2$	$\sum T_i n_i = 17$

Т а б л и ц а А.4 — Данные для определения коэффициента шероховатости

$\text{Ш}_i$	$n_i$	$\text{Ш}_i \times n_i$
6,3	7	44,1
3,2	3	9,6
1,6	3	4,8
—	$\sum n_i = 13$	$\sum \text{Ш}_i n_i = 58,5$

Т а б л и ц а А.5 — Данные для определения типа производства

Операция	$T_{шт}$	$m_p$	$P$	$\eta_{з.ф}$	О
Токарно-винторезная	3,041	0,229	1	0,229	4
Токарно-винторезная	5,559	0,418	1	0,418	2
Горизонтально-протяжная	0,641	0,048	1	0,048	16
Токарно-винторезная	4,637	0,348	1	0,348	2
Зубофрезерная	18,689	1,405	2	0,700	1
Горизонтально-протяжная	0,844	0,060	1	0,060	13
С У М М А	33,411	—	7	—	38

Т а б л и ц а А.6 — Технологическая характеристика оборудования

Модель станка	Год изготовления	$T_{шт}$ , мин	Балансовая стоимость, р.	Мощность привода главного движения станка, кВт	Габариты станка, мм	Категория ремонтной сложности	Коэффициент загрузки станка
Токарно-винторезной 16К20	1984	8,493	21 500	10,0	3 205 × 1 216	19	0,800
Горизонтально-протяжной 7523	1989	0,12	23 420	24,0	8 350 × 2 000	54	0,017
Зубофрезерный 5А312	1966	48,90	50 630	7,5	2 060 × 1 240	31	0,910
Токарно-винторезной 16К20Ф3	1993	3,126	45 500	11	3 405 × 1 316	23	0,800

Т а б л и ц а А.7 — Режущий инструмент

Номер операции	Наименование инструмента	Вид инструмента (стандартный, специальный)	Материал режущей части	Стойкость (фактическая), мин	СОТС	Режимы резания			Метод настройки на размер
						$V$ , м / мин	$S$ , мм / об.	$T$ , мм	
030	Резец 2103-0057 ГОСТ 18879-73	Стандартный	ВК8	190	—	85,2	0,25	4	Пробными проходами по промерам
	Сверло 2301-0069 ГОСТ 10903-77	Стандартный	P6M5	90	ЛХ-2*	12,6	0,10	10	По втулке
040	Резец 2140-0026 ГОСТ 18882-73	Стандартный	ВК8	190	—	46,6	0,25	0,85	Пробными проходами по промерам
050	Протяжка 2400-0241 ГОСТ 20365-74	Стандартный	P18	70	И-20А	2,7	0,04	1,1	—
060	Резец 2103-0057 ГОСТ 1887-73	Стандартный	ВК8	190	—	106,1	0,2	1,95	Пробными проходами

Номер операции	Наименование инструмента	Вид инструмента (стандартный, специальный)	Материал режущей части	Стойкость (фактическая), мин	СОТС	Режимы резания			Метод настройки на размер
						V, м / мин	S, мм / об.	T, мм	
070	Фреза 2510-4134 А ГОСТ 9324-80	Стандартный	P6M5	105	ЛХ-2*	33,6	3,37	—	По пробным промерам
080	Протяжка 2405-1061 ГОСТ 18217-90	Стандартный	P18	65	И-20А	2,7	0,10	1,49	—
Примечание. * — обработка чаще без СОТС.									

Т а б л и ц а А.8 — Вспомогательный инструмент

Номер операции	Наименование инструмента	Вид инструмента	Установка режущего инструмента во вспомогательный	
			Привод приспособления	Время на смену одного инструмента, мин
030	Втулка 6100-0146 ГОСТ 13598-85	Стандартный	Механический	0,10
	Втулка 6100-0143 ГОСТ 13598-85	Стандартный	Механический	0,10
040	Втулка 6100-0146 ГОСТ 13598-85	Стандартный	Механический	0,10
050	Адаптер 7621-4002	Специальный	Механический	1,50
060	Оправка коническая центровая 7110-4013-01	Специальный	Механический	0,15
	Приспособление С4000-6559	Специальный	Ручной	0,50
	Хомутик 7107-0038 ГОСТ 2578-70	Стандартный	Ручной	0,70
070	Оправка 7532-4001-01	Специальный	Механический	0,50
080	Адаптер 7622-4001-02	Специальный	Ручной	0,07

Т а б л и ц а А.9 — Средства технического контроля

Операция	Наименование инструмента	Вид инструмента	Точность измерения, мкм	Время на измерение, мин
030	ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166-89	Универсальный	100	0,290
	ШЦ-II-250-0,1-1 ГОСТ 166-89	Универсальный	100	0,300
040	Пробка 8133-0944 Н7 ГОСТ 14810-69	Специальный	100	0,020
	ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166-89	Универсальный	100	0,290
	НИ 18-50 ГОСТ 868-82	Специальный	100	0,100
050	Пробка 8133-0944 Н7 ГОСТ 14810-69	Специальный	100	0,015
060	ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166-89	Универсальный	100	0,290
	ШЦ-II-250-0,1-1 ГОСТ 166-89	Универсальный	100	0,300
	ШГ - 160-0,05 ГОСТ 169-90	Универсальный	50	0,350
070	Биенимер Б-10М ГОСТ 5368-81	Специальный	100	0,090
	Микрометр М3100 ГОСТ 6501-90	Универсальный	100	0,050
	Нормалермер БВ-5045-В ТУ2-034-230-88	Специальный	100	0,050
	ИЧ 10 кл.1 ГОСТ 577-68	Специальный	100	0,030

92 Т а б л и ц а А.10 — Расчет основного технологического времени

Номер операции	$T_o \cdot 10^{-3}$ , мин								$\Sigma T_o$ , мин
	0,037 ( $D^2 - d^2$ )	0,052 ( $D^2 - d^2$ )	0,18dl	0,86dl	0,31dl	0,17dl	0,4l	0,43dl	
030	0,56125	—	0,03585	—	0,3906	0,92225	—	—	2,00229
040	0,56125	—	0,26038	—	—	0,92225	—	0,835	4,34896
050	—	—	—	—	—	—	0,124	—	0,12400
060	—	0,8794 × 2	0,2359 × 2	—	—	1,21958	—	—	3,45024
070	—	—	—	2,2Db × 2	—	—	—	—	16,70590
080	—	—	—	—	—	—	0,345	—	0,34560

Т а б л и ц а А.11 — Сводная таблица технических норм времени

Операция	$T_o$ , мин	$T_v$ , мин			$T_{оп}$ , мин	$T_{об.от}$ , мин	$T_{шт.}$ , мин	$T_{из}$ , мин	$n$	$T_{шт.-к}$ , мин
		$T_{у.с} + T_{з.о}$	$T_{уп}$	$T_{из}$						
030 Токарно-винторезная	2,0022	0,20	0,098	0,54	2,8420	0,199	3,041	17	200	3,126
040 Токарно-винторезная	4,3489	0,20	0,096	0,55	5,1950	0,364	5,559	17	200	5,644
050 Горизонтально-протяжная	0,1240	0,18	0,190	0,08	0,5740	0,040	0,614	16	200	0,694
060 Токарно-винторезная	3,4502	0,20	0,094	0,59	4,3340	0,303	4,637	17	200	4,722
070 Зубофрезерная	16,7059	0,24	0,130	0,39	17,4659	1,223	18,689	22	200	18,799
080 Горизонтально-протяжная	0,3460	0,15	0,150	0,06	0,7060	0,049	0,755	16	200	0,835

Т а б л и ц а А.12 — Расчет коэффициентов использования оборудования

Опера- ция	$T_o$ , мин	$T_{шт-к}$ , МИН	$T_{шт}$ , МИН	$m_{pi}$ , %	$m_{прi}$ , %	$\eta_{зi}$ , %	$\eta_{oi}$ , %	$P_{прi}$ , кВт	$P_{стi}$ , кВт	$\eta_{mi}$ , %
030	2,0020	3,126	3,041	0,229	1	22,9	64	3,5	10,0	35,0
040	4,3489	5,644	5,559	0,418	1	41,8	77	3,5	10,0	35,0
050	0,1240	0,694	0,614	0,048	1	4,8	17,9	1,4	24,0	5,8
060	3,4502	4,722	4,637	0,348	1	34,8	73	0,5	10,0	5,0
070	16,7060	18,799	18,689	1,405	2	70,0	88,9	4,7	7,5	63,0
080	0,3460	0,924	0,844	0,060	1	6,0	37	1,0	24,0	4,2

Т а б л и ц а А.13 — Часовые тарифные ставки рабочих ППП

	Часовые ставки в рублях по разрядам					
	1	2	3	4	5	6
Межразрядные коэффициенты	1,0	1,16	1,35	1,57	1,73	1,9
1. ДЛЯ РАБОЧИХ ( со сдельной и повременной оплатой труда)						
1-1-я группа (к-т 1,2)						
Станочные работы по обработке металла и других материалов резанием на металлообрабатывающих станках; работы на холодной штамповке металла и других материалов; кузнечные и литейные работы; работы по изготовлению и ремонту инструмента, технологической оснастки, работы по контролю качества продукции	0-56	0-65	0-76	0-88	0-97	1-07

Дубл.									
Взам.									
Подл.									
							—	8	1
				—	МИМ-300.02.004	УО «БарГУ» Кафедра ТОМ			
<i>Колесо зубчатое</i>								<i>T</i>	
<p>МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ</p> <p>Учреждение образования Барановичский государственный университет</p> <p><b>КОМПЛЕКТ ДОКУМЕНТОВ</b> технологического процесса</p> <p>ПРИЛОЖЕНИЕ А</p>									
<b>Разработал</b>					<b>Нормоконтроль</b>				
П. В. Потоцкий					М. В. Нерода				
<b>Руководитель</b>									
Н. М. Федосов									
ТЛ									

Рисунок Б.1 — Пример титульного листа технологического процесса

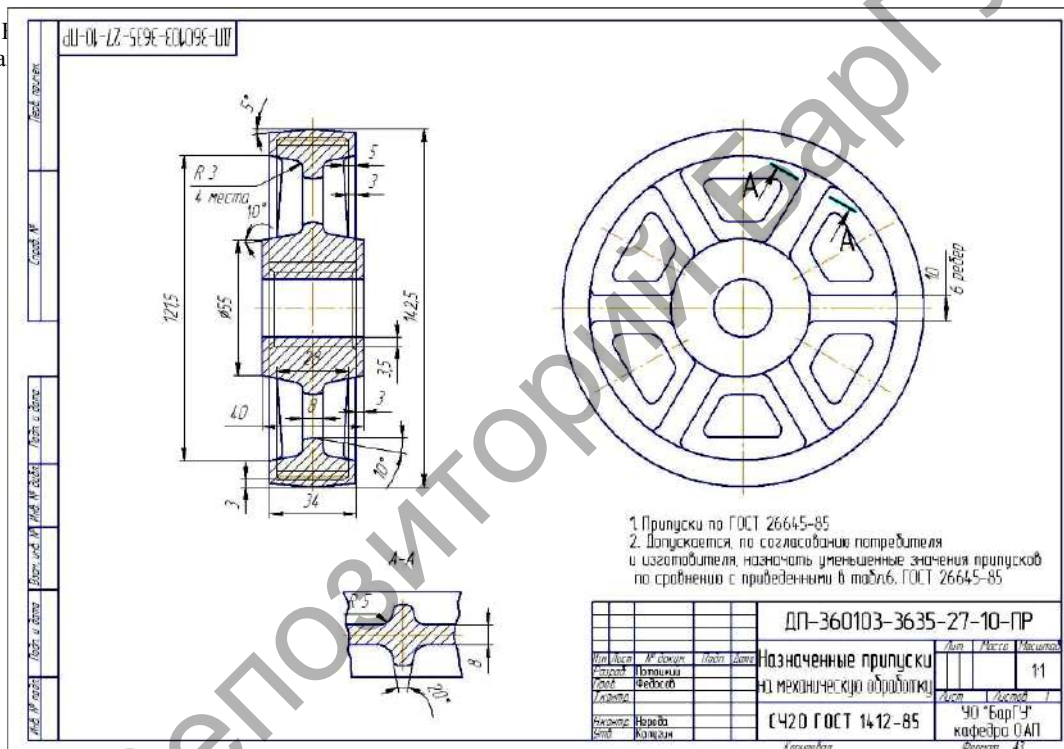
ПРИЛОЖЕНИЕ А																		
Дубл.																		
Взам.																		
Подл.																		
Разраб.	Потоцкий																2	
Пров.	Федосов					УО «БарГУ» Кафедра ОАП	МИМ-300.02.004			УО «БарГУ» Кафедра ОАП							.10101.00317	
Н. контр.	Нерода					<b>Колесо зубчатое</b>										<b>А</b>		
	СЧ 20 ГОСТ 1412-85																	
	Код	ЕВ	МД	ЕН	Н. расх	КИМ	Код загот.	Профиль и размеры				КД	МЗ					
	кг 1,88		-			0,72	Отливка	142,5 × 40										
А	Цех	Уч.	РМ	Опер.	Код, наименование операции				Обозначение документа									
Б					СМ	Проф	Р	УТ	КР	КОИД	ЕН	ОП	Кшт	Тп.з	Тшт			
01																		
А02	мех.				010	Термическая		01150.00025										
Б03																		
А04	мех.				015	Дробеструйная		01300.00005										
Б05																		
А06	мех.				020	Окрасочная		01373.00012										
Б07																		
А08	мех.				030	Токарно-винторезная		060141.00556; 20141.00184						17	3,126			
Б09	16К20				3,41													
10	1. Установить деталь. Закрепить. Снять.																	
11	7100-36 Т 2675-80—патрон; ШЦ-I-125-0,1-1 ГОСТ 166-89—штангенциркуль;																	
12	2. Точить поверхность в размере 3 (до кулачков).																	
13	Р.И. 2103-0057 ВК8 ГОСТ 18879-73—резец; С.И. ШЦ-II-250-0, 1-1 ГОСТ 166-89—штангенциркуль;																	
14	3. Подрезать торец в размер 5.																	
МК																		

Рисунок Б.2 — Пример заполнения первого листа маршрутной операционной карты



Дубл.															
Взам.															
Подл.															
								20141.00185				1		-	
Разраб.		Потоцкий						МИМ-300.02.004				УО «БарГУ» Кафедра ТОМ			
Пров.		Федосов													
Н. контр		Нерода						Колесо зубчатое				мех		040	
КС															

Рисунок Б.4 — Пример оформления операционного эскиза

Рисунок В  
теж за

## СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Антонюк, В. Е.* В помощь молодому конструктору станочных приспособлений / В. Е. Антонюк. — Минск : Беларусь, 1975. — 352 с. : ил.
2. *Анурьев, В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / под ред. И. Н. Жестковой. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 2001. — Т. 1. — 920 с. : ил.
3. *Афонькин, М. Г.* Производство заготовок в машиностроении / М. Г. Афонькин, М. В. Магницкая. — Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1987. — 256 с. : ил.
4. *Бабук, В. В.* Дипломное проектирование по технологии машиностроения / В. В. Бабук, П. А. Горезко. — Минск : Выш. шк., 1979. — 464 с.
5. *Балабанов, А. Н.* Краткий справочник технолога-машиностроителя / А. Н. Балабанов. — М. : Машиностроение, 1992. — 464 с.
6. *Барташев, Л. В.* Техничко-экономические расчеты при проектировании и производстве машин / Л. В. Барташев. — М. : Машиностроение, 1973. — 382 с.
7. *Бушуев, А. В.* Основы конструирования станков / А. В. Бушуев. — М. : Станки, 1992. — 520 с. : ил.
8. *Горбачевич, А. Ф.* Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учеб. пособие для машиностр. специальностей вузов / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. — Минск : Выш. шк., 1975. — 284 с.
9. *Горохов, В. А.* Проектирование и расчет приспособлений / В. А. Горохов. — Минск : Выш. шк., 1986. — 240 с.
10. *Гузенков, П. Г.* Детали машин : учеб. для вузов / П. Г. Гузенков. — 4-е изд., испр. — М. : Высш. шк., 1986. — 359 с. : ил.
11. Направляющие с шариковыми втулками. RRS 83 100 / 09.99 : кат. фирмы "Rexroth". — Швайнфурт, 2005. — 236 с.
12. Роликовые рельсовые направляющие. RRS 82 302 / 2005-05 : кат. фирмы "Rexroth". — [Отпечатано в Германии], 2005. — 148 с.
13. *Кузьмин, А. В.* Расчеты деталей машин : справ. пособие / А. В. Кузьмин, И. М. Чернин, Б. С. Козинцов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Минск : Выш. шк., 1986. — 400 с. : ил.
14. *Косилова, А. Г.* Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. — М. : Машиностроение, 1992. — Т. 1. — 496 с. : ил.
15. *Кочергин, А. И.* Конструирование и расчет станочных комплексов. Курсовое проектирование / А. И. Кочергин. — Минск : Выш. шк., 1991. — 382 с. : ил.
16. *Левина, З. М.* Контактная жесткость машин / З. М. Левина, Д. Н. Решетов. — М. : Машиностроение, 1971. — 264 с. : ил.
17. *Мурашкин, С. Л.* Технология машиностроения : в 2 кн. / С. Л. Мурашкин. — М. : Машиностроение, 2008. — Кн. 1 : Основы технологии машиностроения. — 359 с. : ил.
18. *Обработка металлов резанием : справ. технолога / под ред. Г. А. Монахова.* — М. : Машиностроение, 1974. — 600 с.
19. *Орлов, Л. И.* Основы конструирования : справ.-метод. пособие : в 2 кн. / Л. И. Орлов. — М. : Машиностроение, 1988. — Кн. 2. — 544 с. : ил.
20. *Предтеченский, Н. А.* Механическое оборудование предприятий общественного питания / Н. А. Предтеченский. — М. : Экономика, 1966. — 329 с.
21. *Пуш, В. Э.* Металлорежущие станки / В. Э. Пуш. — М. : Машиностроение, 1977. — 390 с. : ил.
22. *Решетов, Д. И.* Детали и механизмы металлорежущих станков : в 2 т. / Д. И. Решетов. — М. : Машиностроение, 1972. — 520 с. : ил.
23. Методическая инструкция Белорусского национального технического университета / МИ БНТУ 3.001-2003, 2003. — 33 с. : ил.
24. Шарико-винтовые приводы Rexroth. Концевые опоры и корпуса гаек R310RU 3301(2006.02) : кат. фирмы Rexroth. — [Отпечатано в Польше], 2006. — 128 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение</i> .....	3
<b>Раздел I</b> Методика разработки конструкторского раздела дипломного проекта .....	4
1.1 Методика проектирования узлов и приспособлений металлорежущих станков .....	4
1.2 Разработка конструкции привода подачи металлорежущего станка с числовым программным управлением .....	4
1.2.1 Анализ вариантов привода подачи и выбор оптимальной конструкции .....	4
1.2.2 Предварительный расчет привода продольной подачи .....	17
1.2.3 Предварительный расчет привода поперечной подачи .....	22
1.2.4 Уточненный расчет привода подачи .....	24
1.2.5 Расчет осевой жесткости привода .....	34
1.3 Порядок проектирования станочного приспособления .....	44
1.4 Методика расчета приспособлений .....	45
1.4.1 Методика расчета на точность .....	45
1.4.2 Пример расчета приспособления на точность .....	49
1.4.3 Методика силового расчета приспособления .....	53
1.4.4 Методика расчета деталей приспособления на прочность .....	60
1.4.5 Пример расчета приспособления на прочность .....	64
<b>Раздел II</b> Методика разработки технологического раздела дипломного проекта .....	68
2.1 Основные положения по разработке .....	68
2.1.1 Назначение и конструкция обрабатываемой детали .....	68
2.1.2 Анализ технологичности конструкции обрабатываемой детали .....	69
2.1.3 Определение типа производства .....	71
2.1.4 Выбор и технико-экономическое обоснование метода получения заготовки .....	73
2.1.5 Анализ базового технологического процесса .....	77
2.1.6 Определение припусков на механическую обработку в соответствии со стандартами .....	78
2.1.7 Определение основного технологического времени .....	79
2.1.8 Техническое нормирование .....	80
2.1.9 Выбор оборудования и расчет его количества .....	82
2.1.10 Технико-экономическое обоснование разработанного техпроцесса .....	85
Приложение А .....	88
Приложение Б .....	94
Приложение В .....	98
<i>Список используемых источников</i> .....	99