



*Министерство образования и науки Российской Федерации*  
*Калужский филиал федерального государственного бюджетного*  
*образовательного учреждения высшего образования*  
**«Московский государственный технический университет**  
**имени Н.Э. Баумана**  
*(национальный исследовательский университет)»*  
**(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

---

**ФАКУЛЬТЕТ** *Машиностроение*

**КАФЕДРА** *М1-КФ «Машиностроительные технологии»*

**РАСЧЕТНО - ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

**к курсовому проекту на тему:**

*Проектирование станочных приспособлений*

по дисциплине *Основы конструирования приспособлений*

Студент гр. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) (Ф.И.О.)  
(подпись)

Руководитель курсового проекта \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) (Ф.И.О.)  
(подпись)

Оценка руководителя \_\_\_\_\_ баллов \_\_\_\_\_  
30-50 (дата)

Оценка защиты \_\_\_\_\_ баллов \_\_\_\_\_  
30-50 (дата)

Оценка проекта \_\_\_\_\_ баллов \_\_\_\_\_  
(оценка по пятибалльной шкале)

Комиссия: \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) (Ф.И.О.)  
(подпись)  
\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) (Ф.И.О.)  
(подпись)  
\_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) (Ф.И.О.)  
(подпись)

Калуга, 20 \_\_\_\_

Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой М1-КФ  
\_\_\_\_\_(\_\_\_\_\_)\_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ сентября 20 \_\_\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение курсового проекта**

по дисциплине Основы конструирования приспособлений

Студент \_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы, индекс группы)

Руководитель \_\_\_\_\_  
(фамилия, инициалы)

График выполнения проекта: 25% к 4 нед., 50% к 7 нед., 75% к 10 нед., 100% к 14 нед.

1. Тема курсового проекта

Проектирование станочных приспособлений

2. Техническое задание

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3. Оформление курсового проекта**

3.1. Расчетно-пояснительная записка на \_\_\_\_\_ листах формата А4.

3.2. Перечень графического материала КП (плакаты, схемы, чертежи и т.п.) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Дата выдачи задания « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ сентября 20 \_\_\_\_ г.

Руководитель курсового проекта \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Задание получил \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ сентября 20 \_\_\_\_ г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание .....	3
1. Анализ исходных данных .....	4
1.1. Служебное назначение детали .....	4
1.2. Анализ технических условий на изготовление детали .....	4
1.3. Характеристика материала заготовки .....	5
1.4. Анализ технологичности конструкции детали .....	6
2. Проектирование операций механической обработки детали .....	7
2.1. Проектирование сверлильной операции с ЧПУ .....	7
2.2. Проектирование фрезерной операции .....	27
3. Расчёт и проектирование станочных приспособлений .....	35
3.1. Приспособление для сверлильной операции с ЧПУ .....	35
3.2. Приспособление для фрезерной операции .....	42
Список использованных источников .....	47

# 1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

## 1.1 Служебное назначение детали

Обрабатываемая деталь — корпус барабана. Детали типа «корпус» предназначены для крепления к ним других деталей и сборочных единиц изделия. Корпусные детали обеспечивают точность и постоянство относительного расположения прикрепляемых к ней деталей, поэтому должны обладать достаточной жёсткостью. Обрабатываемая деталь является вращающейся.

Наружная поверхность детали — призма, основанием которой является правильный шестиугольник с диаметром вписанной окружности 620 мм. С обеих торцов призмы деталь имеет ряд выступов, образующих цилиндрические и конические поверхности. На каждой грани шестигранника расположено по четыре штифтовых отверстия  $\varnothing 20$  H7 мм и по восемь резьбовых M12.

Ступица детали имеет отверстие  $\varnothing 125$  H7 мм, предназначенное для установки детали на вал. На внешней части ступицы расположен паз. Ступица соединена с наружной частью детали полотном. На нём расположены 6 рёбер, служащих для повышения жёсткости детали. В перемычках между спицами выполнены два такелажных отверстия  $\varnothing 100$  мм.

Кроме перечисленных, деталь имеет ряд резьбовых и штифтовых отверстий, необходимых для крепления к корпусу других деталей изделия.

Заготовка детали — отливка из серого чугуна СЧ 21-40 (ГОСТ 1412-85).

## 1.2 Анализ технических условий на изготовление детали

Наиболее точные цилиндрические поверхности детали — отверстие в ступице  $\varnothing 125$  H7 мм, 6 отверстий  $\varnothing 45$  H7 мм, 2 отверстия  $\varnothing 25$  H7 мм, 26 отверстий  $\varnothing 20$  H7 мм и 6 отверстий  $\varnothing 12$  H7 мм. Необходимость их высокой точности обусловлена тем, они являются сопрягаемыми. Для менее точных поверхностей заданы их предельные отклонения:  $\varnothing 600_{-0,2}$  мм и

Ø590<sub>-0,5</sub> мм. Заданные предельные отклонения удовлетворяют требованиям, соответственно, 10 и 12 квалитетов. Размеры с неуказанными предельными отклонениями выполняются по 14 квалитету.

Точность взаимного расположения поверхностей детали задана допусками параллельности торцовых поверхностей детали относительно друг друга и перпендикулярности наружных граней корпуса относительно торца, которые составляют 0,03 мм, и допуском радиального биения наружной цилиндрической поверхности Ø600<sub>-0,2</sub> мм относительно посадочного отверстия ступицы Ø125 H7 мм, который составляет 0,1 мм.

Точность формы задана допусками на плоскостность торца и наружных граней корпуса, который составляет 0,02 мм.

Шероховатость задана значениями Ra 1,25 для посадочного отверстия ступицы Ø125 H7 мм и других сопрягаемых отверстий, Ra 2,5 для плоских поверхностей наружных граней и торцов корпуса и для внутренней цилиндрической поверхности Ø430 мм, и Ra 10 для плоских поверхностей торцов ступицы, наружных цилиндрических поверхностей Ø590<sub>-0,5</sub> мм и отдельных резьбовых отверстий. Для остальных поверхностей задана шероховатость Rz 630, получаемая без применения механической обработки.

### 1.3 Характеристика материала заготовки

Материал заготовки — серый чугун СЧ 21-40 (ГОСТ 1412–85). Это чугун с пластинчатым графитом для отливок с временным сопротивлением при растяжении не менее  $\sigma_B = 210$  МПа.

Серый чугун — сравнительно дешёвый конструкционный материал. Имеет хорошие литейные и технологические свойства. Из серого чугуна изготавливают массивные литые детали, такие как станины, маховики, крупногабаритные корпуса.

Физические свойства чугуна СЧ 21-40: плотность  $\rho = 7100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , линейная усадка  $\epsilon = 1,2 \%$ , модуль упругости при растяжении  $E = 850...1100 \cdot 10^{-5}$  МПа, удельная теплоёмкость при  $t = 20...200^\circ\text{C}$   $c = 480 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$ , коэффициент

линейного расширения при  $t = 20 \dots 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $\alpha = 9,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , теплопроводность при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$   $\lambda = 54 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ .

Химический состав чугуна СЧ 21-40: массовая доля углерода 3,3...3,5 %, кремния — 1,4...2,4 %, марганца — 0,7...1,0 %, фосфора — не более 0,2 %, серы — не более 1,5 %. Допускается низкое легирование чугуна различными элементами (хромом, никелем, медью, фосфором и другими).

#### **1.4 Анализ технологичности конструкции детали**

Большинство конструктивных элементов детали унифицированы.

Точность размеров и шероховатость поверхностей экономически и конструктивно обоснованы.

Физико-химические и механические свойства материала, жёсткость детали, её форма и размеры соответствуют требованиям технологии изготовления, конструкция жёсткая.

Деталь имеет технологические базы, позволяющие обеспечить точность установки, обработки и контроля.

Обработка и контроль точных поверхностей детали не затруднены.

Деталь имеет большое количество глухих точных отверстий, что усложняет обработку.

Шпоночный паз расположен нетехнологично, его обработка затрудняется необходимостью располагать деталь под углом.

Большая масса и габаритные размеры заготовки усложняют транспортировку и установку детали на станке.

Конструкция детали в целом технологична, но имеет ряд элементов, обработка которых затруднена.

## **2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ**

### **2.1 Проектирование сверлильной операции с ЧПУ**

#### **2.1.1 Выбор и характеристика оборудования**

Операция выполняется на горизонтальном сверлильно-фрезерно-расточном станке с ЧПУ и АСИ 2206ВМФ4.

Это станок с крестовым поворотным столом, предназначенный для комплексной обработки плоских деталей средних размеров сложной формы. Станок предназначен для многооперационной обработки разнообразных деталей сложной конфигурации из стали, чугуна, цветных и лёгких сплавов. На станке можно производить получистовое и чистовое фрезерование плоскостей, пазов и криволинейных поверхностей различными типами фрез, а также растачивание, сверление, зенкерование, развёртывание отверстий и нарезание резьбы метчиками и резцами по заданной программе. Станок может быть использован в мелкосерийном и серийном производствах различных отраслей промышленности.

Управление станком — от универсальной комплексной системы ЧПУ «Размер-2М-1300», позволяющей производить позиционную и контурную обработку, а также ручную с пульта управления. На станке программируются координатные перемещения стола и шпиндельной головки, скорости этих перемещений, частота вращения шпинделя, выбор и смена инструмента, смена обрабатываемой детали и циклы обработки.

На станке программируются координатные перемещения стола, шпиндельной головки, скорости этих перемещений, режимы обработки, выбор, смена и коррекция инструмента, циклы обработки.

Станок может быть оснащен устройством автоматической загрузки и выгрузки изделий, предназначенным для установки заготовки вне станка на сменные столы (паллеты) и последующей автоматической загрузки столов на станок, а также их выгрузки со станка после окончания обработки.

Использование сменных столов устройства позволяет совместить загрузку заготовок или выгрузку обработанных изделий с работой станка, что существенно сокращает холостые простои, повышает эффективность его использования и производительность, при этом исключается последняя ручная операция — установка и снятие деталей со станка.

Основные характеристики станка:

- Класс точности станка В по ГОСТ 8-82
- Размеры рабочей поверхности стола  $630 \times 800$  мм
- Расстояние от торца шпинделя до центра стола 195...825 мм
- Наибольшее продольное перемещение стола (X) 800 мм
- Наибольшее поперечное перемещение стола (Z) 630 мм
- Наибольшее вертикальное перемещение шпиндельной головки (Y) 630 мм
- Наибольшая нагрузка на стол 800 кг
- Ёмкость инструментального магазина 30 шт
- Наибольший диаметр устанавливаемого инструмента 200 мм
- Наибольшая длина инструмента, устанавливаемого в шпинделе станка 400 мм
- Частота вращения шпинделя  $10 \dots 3500 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
- Электродвигатель привода шпинделя 15 кВт
- Масса станка 12 т



На рис. 1 приведены габариты рабочего пространства сверлильно-фрезерно-расточного станка 2206ВМФ4 (а) и его посадочные и присоединительные размеры (б, в, г).

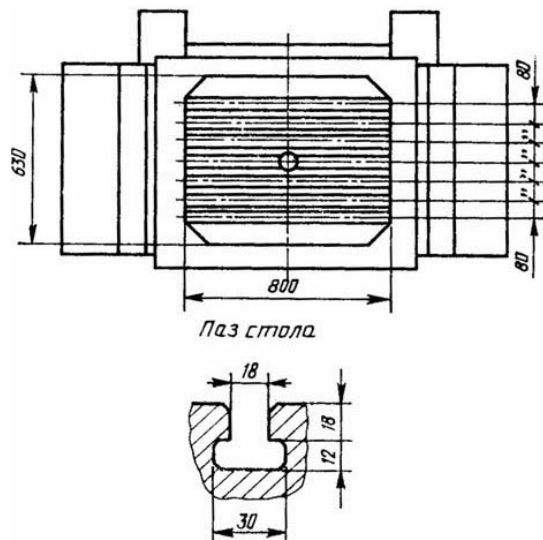
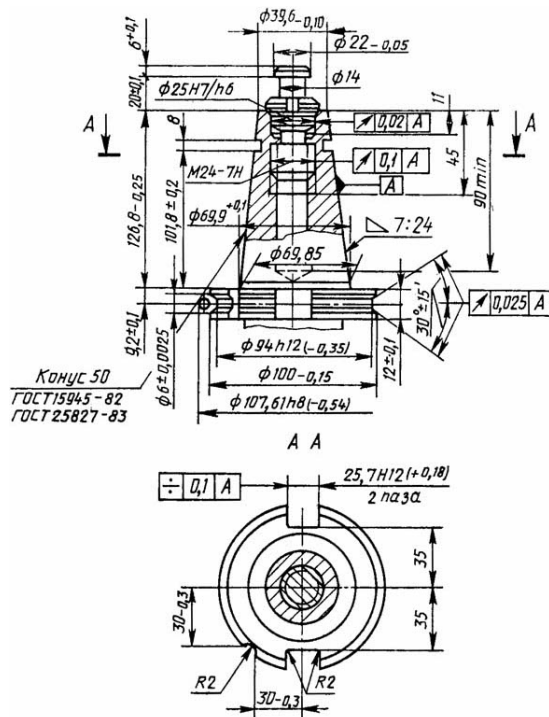
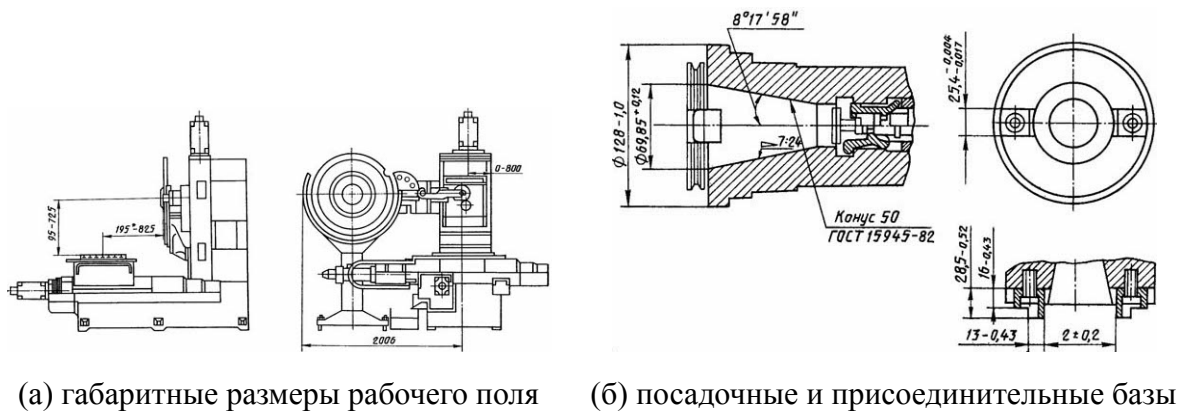


Рисунок 1 — Посадочные и присоединительные размеры станка 2206ВМФ4

### 2.1.2 Выбор и обоснование схемы базирования

Базирование осуществляется по схеме, представленной на рис. 2

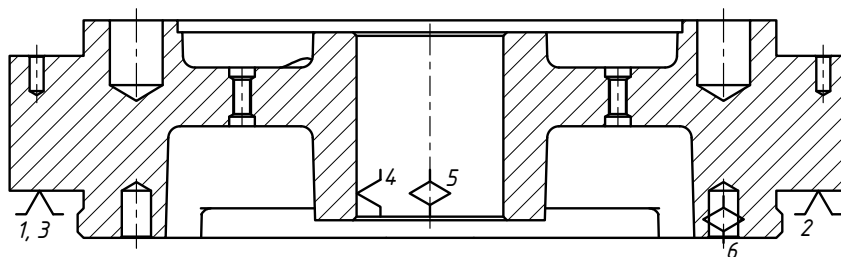


Рисунок 2 — Схема базирования на операции 040

1, 2, 3 — установочная база,

4, 5 — направляющая база,

6 — опорная база

### 2.1.3 Выбор и обоснование последовательности и содержания переходов

На операции 040 осуществляется обработка отверстий, расположенных на гранях наружной поверхности детали. Деталь установлена в специальном приспособлении, поворот относительно своей оси она осуществляет за счёт делительного движения, совершаемого поворотным столом станка. На каждой позиции последовательно обрабатываются все отверстия, расположенные на грани, обращённой к шпинделю. Обработка 4 отверстий  $\varnothing 20$  Н7 мм осуществляется за три перехода последовательным сверлением, зенкерованием и развёртыванием. Обработка 8 резьбовых отверстий М12-7Н производится сверлением и нарезанием резьбы метчиком. Последним переходом снимаются фаски на всех отверстиях. После этого стол станка поворачивается и обрабатывается следующая грань детали. Последовательность обработки отверстий на каждой грани приведена в табл. 1

Таблица 1 — Содержание основных переходов операции 040

Содержание переходов
<p>По программе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Сверлить 4 отверстия (35) <math>\varnothing 18,5^{+0,130}</math> на глубину 35</li> <li>– Сверлить 8 отверстий (37) <math>\varnothing 10,2^{+0,36}</math> на глубину 25</li> <li>– Зенкеровать 4 отверстия (35) <math>\varnothing 19,7^{+0,052}</math> на глубину 30</li> <li>– Развернуть 4 отверстия (35) <math>\varnothing 20^{+0,025}</math> на глубину 30</li> <li>– Нарезать резьбу (39) в 8 отверстиях М12-7Н на глубину 20</li> <li>– Зенковать 12 фасок (36) и (38), выдерживая размер <math>1,6 \times 45^\circ</math></li> </ul>

#### 2.1.4 Выбор и характеристика режущего инструмента

Для сверления отверстий (35) выбрано сверло  $\varnothing 18,5$  2301-3619 ГОСТ 10903-77. Для сверления отверстий под резьбу (37) выбрано сверло  $\varnothing 10,2$  2301-4204 ГОСТ 22736-77. Для зенкерования отверстий (35) выбран зенкер  $\varnothing 19,7$  2320-0529 ГОСТ 12489-71. Для развёртывания отверстий (35) выбрана развёртка  $\varnothing 20$  2363-3463 ГОСТ 1672-80. Для нарезания резьбы (39) выбран метчик М12 2621-1515 ГОСТ 3266-81. Для зенковки фасок (36) и (38) выбрана зенковка 2353-0123 ГОСТ 14953-80.

Материал режущей части всех инструментов — быстрорежущая сталь Р6М5 [guzeev:rr].

### 2.1.5 Расчёт режимов и сил резания

Расчёт ведётся табличным методом по методике, приведённой в [guzeev:rr].

**T01** Сверление  $\varnothing 18,5$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{18,5}{2} = 9,25 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,26 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_ж} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_I} K_{V_{II}}$$

$$V_T = 23,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_ж} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_I} = K_{V_{II}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$\begin{aligned} S_o &= 0,26 \cdot 1,0 = 0,26 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \\ V &= 23,8 \cdot 1,0 = 23,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \\ n &= \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 23,8}{\pi \cdot 18,5} = 409,5 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \\ V_s &= S_o n = 0,26 \cdot 409,5 = 106,5 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \end{aligned}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 400 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $V_{S\phi} = 100 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ ; тогда  $S_{o\phi} = 0,25 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 18,5 \cdot 400}{1000} = 23,3 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле:

$$N = \frac{N_T}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 1,36 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$N = \frac{1,36}{1,0} = 1,36 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_T}{K_{P_M}}$$

$$P_t = 4345 \text{ Н} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$P = \frac{4345}{1,0} = 4345 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}}{V_S}$$

где  $l_{\text{вр}}$  — длина на врезание, [мм]

$l$  — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$  — длина на перебег [мм]

При сверлении глухого отверстия перебег отсутствует, а длина на врезание определяется по формуле:

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{D}{2} \cdot \tan 31^\circ$$

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{18,5}{2} \cdot \tan 31^\circ = 6,6 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{6,6 + 35 + 0}{100} = 0,42 \text{ мин}$$

## Т02 Сверление $\varnothing 10,2$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{10,2}{2} = 5,1 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,42 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{ж}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_l} K_{V_{п}}$$

$$V_T = 25,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{ж}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_l} = K_{V_{п}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$S_o = 0,42 \cdot 1,0 = 0,42 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 25,2 \cdot 1,0 = 25,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 25,2}{\pi \cdot 10,2} = 786,4 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,42 \cdot 786,4 = 330,3 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $V_{S\phi} = 320 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ ; тогда  $S_{o\phi} = 0,43 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 10,2 \cdot 750}{1000} = 24,0 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = \frac{N_T}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 1,34 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$N = \frac{1,34}{1,0} = 1,34 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_T}{K_{P_M}}$$

$$P_t = 3675 \text{ Н} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$P = \frac{3675}{1,0} = 3675 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}}{V_S}$$

где  $l_{\text{вр}}$  — длина на врезание, [мм]

$l$  — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$  — длина на перебег [мм]

При сверлении глухого отверстия перебег отсутствует, а длина на врезание определяется по формуле:

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{D}{2} \cdot \tan 31^\circ$$

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{10,2}{2} \cdot \tan 31^\circ = 4,1 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{4,1 + 25 + 0}{320} = 0,09 \text{ мин}$$

### **T03** Зенкерование $\varnothing 19,7$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{19,7 - 18,5}{2} = 0,6 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,74 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{\text{ж}}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{\text{и}}} K_{V_i} K_{V_{\Pi}}$$

$$V_T = 27,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{\text{ж}}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{\text{и}}} = K_{V_{\Pi}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_i} = 0,98 [\text{guzeev:rr}]$$

$$S_o = 0,74 \cdot 1,0 = 0,74 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 27,8 \cdot 1,0 \cdot 0,98 = 27,2 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 27,2}{\pi \cdot 19,7} = 440,2 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,74 \cdot 440,2 = 325,8 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 400 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $V_{S\phi} = 320 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ ; тогда  $S_{o\phi} = 0,80 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 19,7 \cdot 400}{1000} = 24,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = N_T \frac{K_{N_i}}{K_{N_M}}$$

$$N_T = 0,91 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$



$$K_{N_i} = 1,08 \text{ [guzeev:rr]}$$

$$N = 1,34 \frac{1,08}{1,0} = 1,45 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = P_T \frac{K_{P_i}}{K_{P_M}}$$

$$P_T = 152 \text{ Н [guzeev:rr]}$$

$$K_{P_M} = 1,0 \text{ [guzeev:rr]}$$

$$K_{P_i} = 1,1 \text{ [guzeev:rr]}$$

$$P = 152 \frac{1,1}{1,0} = 167,2 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{вр} + l + l_{пер}}{V_S}$$

где  $l_{вр}$  — длина на врезание, [мм]

$l$  — глубина обработки [мм]

$l_{пер}$  — длина на перебег [мм]

Для зенкерования принимается длина на врезание 1 мм, а на перебег — 2 мм.

$$t_o = \frac{1 + 30 + 2}{320} = 0,10 \text{ мин}$$

#### **Т04** Развёртывание $\varnothing 20$

Глубина резания определяется по формуле:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{20 - 19,7}{2} = 0,15 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,76 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{S_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_{ж}} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_i} K_{V_{п}}$$

$$V_T = 15,0 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_{ж}} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_{п}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_i} = 0,84 [\text{guzeev:rr}]$$

$$S_o = 0,76 \cdot 1,0 = 0,76 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 15 \cdot 1,0 \cdot 0,84 = 12,6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 12,6}{\pi \cdot 20} = 200,5 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,76 \cdot 200,5 = 152,4 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 200 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $V_{S\phi} = 150 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ ; тогда  $S_{o\phi} = 0,75 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 200}{1000} = 12,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = N_T \frac{K_{N_i}}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 0,39 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_i} = 1,92 [\text{guzeev:rr}]$$

$$N = 0,39 \frac{1,92}{1,0} = 0,75 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = P_T \frac{K_{P_i}}{K_{P_M}}$$

$$P_T = 19 \text{ Н} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_i} = 2,4 [\text{guzeev:rr}]$$

$$P = 19 \frac{2,4}{1,0} = 45,6 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}}{V_S}$$

где  $l_{\text{вр}}$  — длина на врезание, [мм]

$l$  — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$  — длина на перебег [мм]

Для развёртывания принимается длина на врезание 1 мм, а на перебег — 2 мм.

$$t_o = \frac{1 + 30 + 2}{150} = 0,22 \text{ мин}$$

### **T05** Нарезание резьбы M12-7H

Подача при нарезании резьбы равна шагу:

$$S_o = 1,75 \text{ мм}$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_K}$$

$$V_T = 7,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_M} = K_{V_K} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$V = 7,4 \cdot 1,0 = 7,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 7,4}{\pi \cdot 12} = 196,3 \frac{\text{об}}{\text{мин}} =$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 180 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $S_{o\phi} = 1,75 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 12 \cdot 180}{1000} = 6,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле

$$N = \frac{N_{\text{т}}}{K_{N_{\text{м}}}}$$

$$N_{\text{т}} = 0,32 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_{\text{м}}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$N = \frac{0,32}{1,0} = 0,32 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_{\text{т}}}{K_{P_{\text{м}}}}$$

$$P_{\text{т}} = 41 \text{ Н} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_{\text{м}}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$P = \frac{41}{1,0} = 41 \text{ Н}$$

Табличное значение крутящего момента корректируется по формуле:

$$M_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{кр}}}{K_{M_{\text{м}}}}$$

$$M_{\text{кр}} = 1,9 \text{ Н}\cdot\text{м} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{M_M} = 1,0 \text{ [guzeev:rr]}$$

$$M_{кр} = \frac{1,9}{1,0} = 1,9 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{n_{р. х.} S_o} + \frac{L}{n_{х. х.} S_o}$$

$$L = l_{вр} + l + l_{пер}$$

где  $n_{р. х.}$  — частота вращения шпинделя на рабочем ходу,  $\left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$n_{х. х.}$  — частота вращения шпинделя на холостом ходу,  $\left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$l_{вр}$  — длина на врезание, [мм]

$l$  — глубина обработки [мм]

$l_{пер}$  — длина на перебег [мм]

Для нарезания резьбы принимается длина на врезание 1 мм, на перебег — 2 мм. Принимается  $n_{х. х.} = 1,75 n_{р. х.}$

$$n_{х. х.} = 1,75 \cdot 180 = 315 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$L = 1 + 20 + 2 = 23 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{23}{180 \cdot 1,75} + \frac{23}{315 \cdot 1,75} = 0,15 \text{ мин}$$

## Т06 Зенкование

Глубина резания при зенковании фаски равна ширине фаски:

$$t = 1,6 \text{ мм}$$

Табличное значение осевой подачи корректируется по формуле:

$$S_o = S_{oT} K_{S_M}$$

$$S_{oT} = 0,17 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \text{ [guzeev:rr]}$$

$$K_{S_M} = 1,0 \text{ [guzeev:rr]}$$

Табличное значение скорости резания корректируется по формуле:

$$V = V_T K_{V_M} K_{V_3} K_{V_ж} K_{V_T} K_{V_W} K_{V_{и}} K_{V_{п}}$$

$$V_T = 20 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_M} = K_{V_3} = K_{V_ж} = K_{V_T} = K_{V_W} = K_{V_{и}} = K_{V_{п}} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$S_o = 0,17 \cdot 1,0 = 0,17 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

$$V = 20 \cdot 1,0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 20}{\pi \cdot 20} = 318,3 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$V_s = S_o n = 0,17 \cdot 318,3 = 54,11 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 315 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $V_{S\phi} = 50 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ ; тогда  $S_{o\phi} = 0,16 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 20 \cdot 315}{1000} = 19,8 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируется по формуле:

$$N = \frac{N_T}{K_{N_M}}$$

$$N_t = 0,44 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$N = \frac{0,44}{1,0} = 0,44 \text{ кВт}$$

Табличное значение осевой силы резания корректируется по формуле:

$$P = \frac{P_T}{K_{P_M}}$$

$$P_t = 188 \text{ Н} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_M} = 1,0 [\text{guzeev:rr}]$$

$$P = \frac{188}{1,0} = 188 \text{ Н}$$

Основное время обработки одного отверстия рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{L}{nS_o} = \frac{l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}}}{V_S}$$

где  $l_{\text{вр}}$  — длина на врезание, [мм]

$l$  — глубина обработки [мм]

$l_{\text{пер}}$  — длина на перебег [мм]

При зенковании фасок перебег отсутствует, а длина на врезание определяется по формуле:

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{D}{2} \cdot \tan 45^\circ$$

$$l_{\text{вр}} = 1 + \frac{20}{2} \cdot \tan 45^\circ = 11 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{11 + 1,6 + 0}{50} = 0,03 \text{ мин}$$

Полученные значения параметров режимов резания сведены в табл. 2.

Таблица 2 — Режимы резания для переходов операции 040

	$t$ , мм	$S_o$ , $\frac{\text{мм}}{\text{об}}$	$n$ , $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$V$ , $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$t_o$ , мин
T01	9,25	0,25	400	23,3	0,42
T02	5,1	0,43	750	24	0,09
T03	0,6	0,80	400	24,8	0,1
T04	0,15	0,75	200	12,6	0,22
T05	—	1,75	180	6,8	0,15
T06	1,6	0,16	315	19,8	0,03

### 2.1.6 Техническое нормирование

Под техническим нормированием подразумевается определение технически обоснованной нормы времени на выполнение операции.

Штучное время  $t_{шт}$  рассчитывается по формуле:

$$t_{шт} = t_o + t_b + t_{обс} \quad (1)$$

где  $t_o$  — основное время операции

$t_b$  — вспомогательное время

$t_{обс}$  — время на обслуживание рабочего места

Основное время операции определяется как сумма времени выполнения всех переходов.

$$t_o = N \sum_{i=1}^n k_i t_{oi} \quad (2)$$

где  $k_i$  — количество поверхностей, обрабатываемых на переходе  $i$

$N$  — количество позиций обработки

$t_{oi}$  — основное время выполнения перехода  $i$

$$\begin{aligned} t_o &= 6 \cdot (4 t_o^{T01} + 8 t_o^{T02} + 4 t_o^{T03} + 4 t_o^{T04} + 8 t_o^{T05} + 12 t_o^{T06}) = \\ &= 6 \cdot (4 \cdot 0,42 + 8 \cdot 0,09 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,22 + 8 \cdot 0,15 + 12 \cdot 0,03) = \\ &= 31,44 \text{ мин} \end{aligned}$$

Вспомогательное время рассчитывается по формуле:

$$t_b = t_{уст} + t_{в. о.} + t_{изм}^{шт} \quad (3)$$

где  $t_{уст}$  — время установки заготовки

$t_{в. о.}$  — время, связанное с выполнением операции

$t_{изм}^{шт}$  — время на измерения, приведённое к одной детали

Время установки рассчитывается по формуле:

$$t_{уст} = a \cdot Q^x \quad (4)$$



где  $a$ ,  $x$  — коэффициенты, зависящие от схемы закрепления

$Q$  — вес заготовки [кг]

Для установки в специальном приспособлении по отверстию с креплением гайкой или винтом ключом  $a = 0,26$ ,  $x = 1,0$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{уст}} = 0,26 \cdot 253,6^{0,22} = 0,88 \text{ мин}$$

Время, связанное с выполнением операции [**malzen:normirovanie**]:

Включение станка: 0,02 мин;

Подвод инструмента: 0,02 мин;

Отвод инструмента: 0,02 мин;

Смена инструмента: 0,04 мин;

Поворот стола: 0,05 мин;

Выключение станка: 0,02 мин.

$$t_{\text{в. о.}} = 0,02 + 6 (2 \cdot 8 + 3 \cdot 4) \cdot 0,02 + 6 (2 + 3) \cdot 0,02 + 6 (2 + 3) \cdot 0,04 + 6 \cdot 0,5 + 0,02 = 5,50 \text{ мин}$$

Время на измерения рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{изм}} = \sum k D_{\text{изм}}^z L_{\text{изм}}^u \quad (5)$$

где  $k$ ,  $z$ ,  $u$  — коэффициенты, зависящие от способа измерения

$D_{\text{изм}}$ ,  $L_{\text{изм}}$  — размеры контролируемой поверхности [мм]

Для контроля размера отверстий 6...10 качества калибр-пробкой  $k = 0,0196$ ,  $u = 0,178$ ,  $z = 0,247$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{изм}} = 0,0196 \cdot (24 \cdot 20^{0,178} \cdot 35^{0,247} + 48 \cdot 12^{0,178} \cdot 25^{0,247}) = 5,17 \text{ мин}$$

При выборочном время измерения приводится к одной детали по формуле:

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{k}{100} t_{\text{изм}} \quad (6)$$

где  $k$  — число контрольных измерений на 100 деталей [%]

Для сверления отверстий диаметром 10...25 мм  $k = 2 \%$ .

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{2}{100} \cdot 5,17 = 0,10 \text{ мин}$$

$$t_{\text{в}} = 0,88 + 5,50 + 0,10 = 6,48 \text{ мин}$$

Время обслуживания рабочего места определяется в процентах от суммы основного и вспомогательного:

$$t_{\text{обс}} = \frac{k}{100} (t_{\text{o}} + t_{\text{в}}) \quad (7)$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от вида оборудования [%]

Для обработки на горизонтально-фрезерных станках с длиной стола 700...1500 мм  $k = 4,5 \%$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{обс}} = \frac{4,5}{100} (31,44 + 6,48) = 1,71 \text{ мин}$$

$$t_{\text{шт}} = 31,44 + 6,48 + 1,71 = 39,63 \text{ мин}$$

Штучно-калькуляционное время  $t_{\text{шт}}^{\text{к}}$  включает в себя подготовительно-заключительное время на операцию. Его можно приближённо рассчитать по формуле:

$$t_{\text{шт}}^{\text{к}} = \varphi_{\text{k}} t_{\text{шт}} \quad (8)$$

где  $\varphi_{\text{k}}$  — коэффициент, зависящий от типа станка

Для обработки на фрезерных станках с ЧПУ  $\varphi_{\text{k}} = 1,25$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{шт}}^{\text{к}} = 1,25 \cdot 39,63 = 49,54 \text{ мин}$$

### 2.1.7 Выбор методов и средств операционного контроля

Для контроля размера полученных отверстий выбран калибр-пробка  $\varnothing 20$  8133-0934 Н7 ГОСТ 14810-69. Для контроля резьбовых отверстий выбран резьбовой проходной калибр-пробка М12-7Н ГОСТ 24939-81.

## 2.2 Проектирование фрезерной операции

### 2.2.1 Выбор и характеристика оборудования

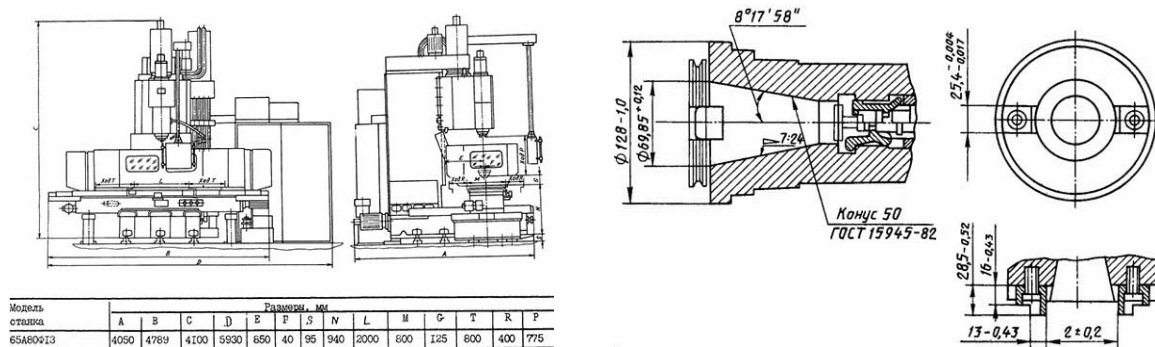
Операция выполняется на бесконсольном вертикально-фрезерном станке 65A80.

Фрезерный станок модели 65A80 с крестовым столом предназначен для скоростного фрезерования крупногабаритных деталей в основном торцовыми фрезами в условиях индивидуального и серийного производства. Станок модели 65A80 бесконсольного типа предназначен для высокопроизводительного фрезерования деталей из чугуна, стали и цветных металлов. На станке выполняется обработка не только сырых, но и закаленных деталей с применением современного инструмента с ножами из эльбора, сверхтвёрдых композиционных материалов из металлокерамики. На станке производится фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание и растачивание.

Основные характеристики станка:

- Класс точности Н по ГОСТ 8-82
- Размеры рабочей поверхности стола  $2000 \times 800$  мм
- Расстояние от торца шпинделя до поверхности стола 125...900 мм
- Расстояние от станины до оси шпинделя 850 мм
- Наибольший продольный ход стола (X) 1600 мм
- Наибольший поперечный ход стола (Y) 800 мм
- Наибольший вертикальный ход шпинделя (Z) 775 мм
- Наибольшая масса обрабатываемой заготовки 6000 кг
- Частота вращения шпинделя  $5 \dots 2000 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ , 85 ступеней
- Электродвигатель привода шпинделя 20 кВт
- Масса станка 18,5 т

На рис. 3 приведены габариты рабочего пространства бесконсольного вертикально-фрезерного станка 65A80 (а) и его посадочные и присоединительные размеры (б).



(а) габаритные размеры рабочего поля (б) посадочные и присоединительные базы

Рисунок 3 — Посадочные и присоединительные размеры станка 65A80

### 2.2.2 Выбор и обоснование схемы базирования

Базирование осуществляется по схеме, представленной на рис. 4

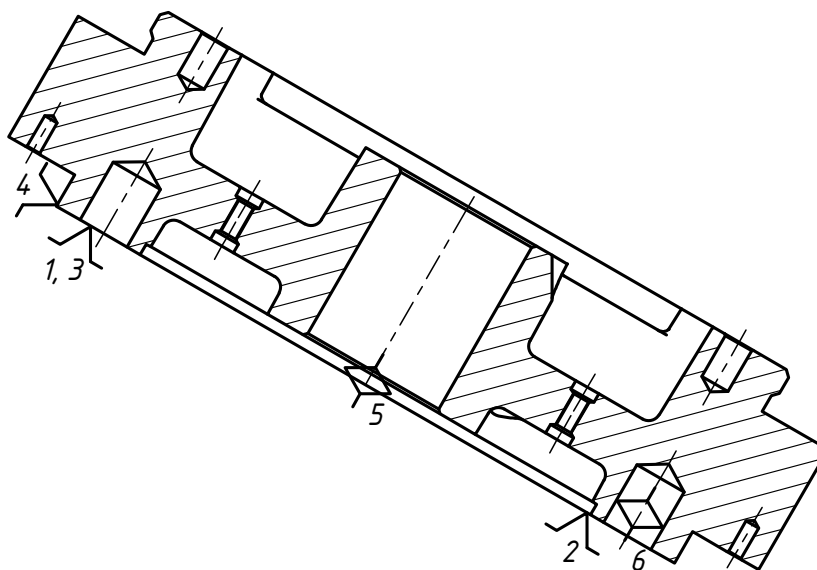


Рисунок 4 — Схема базирования на операции 045

- 1, 2, 3 — установочная база,
- 4, 5 — направляющая база,
- 6 — опорная база

### 2.2.3 Выбор и обоснование последовательности и содержания переходов

На операции 045 осуществляется обработка паза, расположенных под углом к торцу детали. Деталь установлена в специальном приспособлении под наклоном. Обработка паза производится за один проход концевой фрезой, радиус которой совпадает с радиусом скруглений паза. Последовательность обработки приведена в табл. 3

Таблица 3 — Содержание основных переходов операции 045

Содержание переходов
– Фрезеровать паз (34), выдерживая размер $20 \times 60^\circ$ и ширину 50

### 2.2.4 Выбор и характеристика режущего инструмента

Для фрезерования паза (34) выбрана концевая фреза 1-25 ГОСТ Р 50572-93. Материал режущей части фрезы — быстрорежущая сталь Р6М5 [guzeev:rr].

### 2.2.5 Расчёт режимов и сил резания

Расчёт ведётся табличным методом по методике, приведённой в [guzeev:rr].

Обработка происходит за один рабочий ход.

Ширину фрезерования  $B$  измеряют в направлении, параллельном оси фрезы, а глубину резания  $t$  — в направлении, перпендикулярном оси фрезы.

При выбранной схеме обработки  $B_{\max} = 37,5$  мм,  $t_{\max} = 15,3$  мм.

Табличное значение подачи корректируют по формуле:

$$S_z = S_{zT} K_{S_M} K_{S_H} K_{S_Z} K_{S_l} \quad (9)$$

$$S_{zT} = 0,09 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{S_M} = K_{S_H} = 1,0$$

$$K_{S_z} = 0,60$$

$$K_{S_l} = 0,85 [\text{guzeev:rr}]$$

$$S_z = 0,09 \cdot 1,00 \cdot 0,60 \cdot 0,85 = 0,05 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$$

Полученное значение сравнивают с максимально допустимым при заданной шероховатости поверхности. Для получения шероховатости Ra 6,3 при фрезеровании фрезой  $\varnothing 25$  с шестью зубьями  $S_z^{\max} = 0,07 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$ . Окончательно выбирается меньшее значение.

Подача при врезании должна быть снижена на 30 %.

Табличное значение скорости резания корректируют по формуле:

$$V = V_T K_{V_o} K_{V_m} K_{V_n} K_{V_T} K_{V_B} K_{V_{\Pi}} K_{V_{ж}} \quad (10)$$

$$V_T = 18 \frac{\text{м}}{\text{мин}} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{V_o} = K_{V_m} = K_{V_n} = K_{V_T} = K_{V_{ж}} = 1,00$$

$$K_{V_B} = 0,93$$

$$K_{V_{\Pi}} = 0,80 [\text{guzeev:rr}]$$

$$\begin{aligned} V &= 18 \cdot 1,00 \cdot 0,93 \cdot 0,80 = 13,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}} \\ n &= \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 13,4}{\pi \cdot 25} = 170,6 \frac{\text{об}}{\text{мин}} \\ S_m &= S_z z n = 0,05 \cdot 6 \cdot 170,6 = 51,2 \frac{\text{мм}}{\text{мин}} \end{aligned}$$

Станок позволяет регулировать обороты шпинделя и подачи бесступенчато. Фактические режимы резания округляют до значений из стандартных рядов предпочтительных чисел в меньшую сторону:  $n_{\phi} = 160 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$ ,  $S_{m\phi} = 50 \frac{\text{мм}}{\text{мин}}$ .

Фактическая скорость резания:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\phi}}{1000} = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 160}{1000} = 12,6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Табличное значение мощности резания корректируют по формуле:

$$N = N_T K_{N_o} K_{N_m} K_{N_n} K_{N_T} K_{N_B} K_{N_{\Pi}} K_{N_{ж}} \quad (11)$$

$$N_T = 1,38 \text{ кВт} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{N_o} = K_{N_M} = K_{N_H} = K_{N_T} = K_{N_{ж}} = 1,00$$

$$K_{N_B} = 0,93$$

$$K_{N_{II}} = 0,80 [\text{guzeev:rr}]$$

$$V = 1,38 \cdot 1,00 \cdot 0,93 \cdot 0,80 = 1,03 \text{ кВт}$$

Составляющие силы резания корректируют по формуле:

$$P = P_T K_{P_o} K_{P_M} K_{P_Z} K_{P_B} \quad (12)$$

$$P_{y_T} = 950 \text{ Н}$$

$$P_{z_T} = 2875 \text{ Н} [\text{guzeev:rr}]$$

$$K_{P_o} = 0,90$$

$$K_{P_M} = 1,00$$

$$K_{P_Z} = 1,50$$

$$K_{P_B} = 2,00 [\text{guzeev:rr}]$$

$$P_{y_T} = 950 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 1,50 \cdot 2,00 = 2565 \text{ Н}$$

$$P_{z_T} = 2875 \cdot 1,00 \cdot 0,90 \cdot 1,50 \cdot 2,00 = 7763 \text{ Н}$$

Основное время обработки паза рассчитывается по формуле:

$$t_o = \frac{l}{S_M} + \frac{l_{вп}}{S_M^{вп}}$$

$$S_M^{вп} = S_M - 30 \%$$

где  $l$  — длина обработки,  $\left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$l_{вп}$  — длина движения врезания,  $\left[ \frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$

$$S_M^{вп} = 0,7 \cdot 50 = 35 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

$$l = 25 \text{ мм}$$

$$l^{вп} = 15 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{25}{50} + \frac{15}{35} = 0,93 \text{ мин}$$

Полученные значения параметров режимов резания сведены в табл. 4.

Таблица 4 — Режимы резания для переходов операции 045

$t$ , мм	$S_m$ , $\frac{\text{мм}}{\text{мин}}$	$n$ , $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$V$ , $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$	$t_o$ , мин
15,3	50	160	12,6	0,93

### 2.2.6 Техническое нормирование

Под техническим нормированием подразумевается определение технически обоснованной нормы времени на выполнение операции.

Штучное время  $t_{\text{шт}}$  рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_v + t_{\text{обс}}$$

где  $t_o$  — основное время операции

$t_v$  — вспомогательное время

$t_{\text{обс}}$  — время на обслуживание рабочего места

Вспомогательное время рассчитывается по формуле:

$$t_v = t_{\text{уст}} + t_{\text{в. о.}} + t_{\text{изм}}^{\text{шт}}$$

где  $t_{\text{уст}}$  — время установки заготовки

$t_{\text{в. о.}}$  — время, связанное с выполнением операции

$t_{\text{изм}}^{\text{шт}}$  — время на измерения, приведённое к одной детали

Время установки рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{уст}} = a \cdot Q^x$$

где  $a$ ,  $x$  — коэффициенты, зависящие от схемы закрепления

$Q$  — вес заготовки [кг]

Для установки в специальном приспособлении по отверстию с креплением гайкой или винтом ключом  $a = 0,26$ ,  $x = 1,0$  [malzen:normirovanie].

$$t_{\text{уст}} = 0,26 \cdot 250,8^{0,22} = 0,88 \text{ мин}$$



Время, связанное с выполнением операции [**malzen:normirovanie**]:

Включение станка: 0,02 мин;

Подвод инструмента: 0,02 мин;

Отвод инструмента: 0,02 мин;

Выключение станка: 0,02 мин.

$$t_{\text{в. о.}} = 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,02 = 0,08 \text{ мин}$$

Время на измерения рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{изм}} = \sum k D_{\text{изм}}^z L_{\text{изм}}^u$$

где  $k$ ,  $z$ ,  $u$  — коэффициенты, зависящие от способа измерения

$D_{\text{изм}}$ ,  $L_{\text{изм}}$  — размеры контролируемой поверхности [мм]

Для контроля размера угла фасонным шаблоном простого профиля с точностью 0,15...0,25 мм  $k = 0,0113$ ,  $u = 0$ ,  $z = 0,368$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{изм}} = 0,0113 \cdot 50^{0,368} = 0,05 \text{ мин}$$

При выборочном время измерения приводится к одной детали по формуле:

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{k}{100} t_{\text{изм}}$$

где  $k$  — число контрольных измерений на 100 деталей [%]

Для фрезерования плоскостей  $k = 10$  %.

$$t_{\text{изм}}^{\text{шт}} = \frac{10}{100} \cdot 0,05 = 0,01 \text{ мин}$$

$$t_{\text{в}} = 0,88 + 0,08 + 0,01 = 0,97 \text{ мин}$$

Время обслуживания рабочего места определяется в процентах от суммы основного и вспомогательного:

$$t_{\text{обс}} = \frac{k}{100} (t_{\text{о}} + t_{\text{в}})$$

где  $k$  — коэффициент, зависящий от вида оборудования [%]

Для обработки на фрезерных станках с длиной стола 700...1500 мм  
 $k = 4,5 \%$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{обс}} = \frac{4,5}{100} (0,93 + 0,97) = 0,09 \text{ мин}$$

$$t_{\text{шт}} = 0,93 + 0,97 + 0,09 = 1,99 \text{ мин}$$

Штучно-калькуляционное время  $t_{\text{шт}}^{\text{к}}$  включает в себя подготовительно-заключительное время на операцию. Его можно приближённо рассчитать по формуле:

$$t_{\text{шт}}^{\text{к}} = \varphi_{\text{к}} t_{\text{шт}}$$

где  $\varphi_{\text{к}}$  — коэффициент, зависящий от типа станка

Для обработки на фрезерных станках  $\varphi_{\text{к}} = 1,75$  [**malzen:normirovanie**].

$$t_{\text{шт}}^{\text{к}} = 1,75 \cdot 1,99 = 3,48 \text{ мин}$$

### 2.2.7 Выбор методов и средств операционного контроля

Для контроля выдерживаемого угла выбран фасонный шаблон  $60^\circ$ .

### **3 РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ**

#### **3.1 Приспособление для сверлильной операции с ЧПУ**

##### **3.1.1 Характеристика и описание принципа работы приспособления**

Спроектированное приспособление — специальное, одноместное, с ручным приводом. Предназначено для установки и закрепления заготовки на поворотном столе станка на сверлильной операции с ЧПУ.

Заготовка устанавливается на установочные элементы, закреплённые на плите приспособления и закрепляется с помощью быстросъёмной шайбы, что позволяет ускорить процесс установки. Усилие закрепления создаётся вручную гайкой М20.

Установочные элементы приспособления — три плоские опоры, цилиндрический палец  $\varnothing 125$  и срезанный палец  $\varnothing 25$ . Технологические базы детали выбраны так, чтобы обеспечить их совпадение с измерительными, в соответствии с принципом совмещения баз.

Приспособление базируется на столе станка при помощи круглых штифтов, один из которых ориентирует приспособление по центральному отверстию стола станка, обеспечивая совпадение оси приспособления с осью вращения стола, а второй — по Т-образному пазу стола, предотвращая поворот приспособления относительно стола. Приспособление закрепляется на столе четырьмя болтами для Т-образных пазов.

##### **3.1.2 Силовой расчёт приспособления**

Приложенная сила закрепления должна исключить возможность отрыва, сдвига или проворота заготовки под действием сил резания на протяжении всего процесса обработки. Сущность силового расчёта заключается в том,

чтобы определить силу закрепления, которая обеспечит равновесие заготовки под действием всех приложенных к ней внешних сил: сил резания, закрепления, реакции опор и сил трения.

Для силового расчёта необходимо составить расчётную схему, на которой обозначены внешние силы, действующие на заготовку.

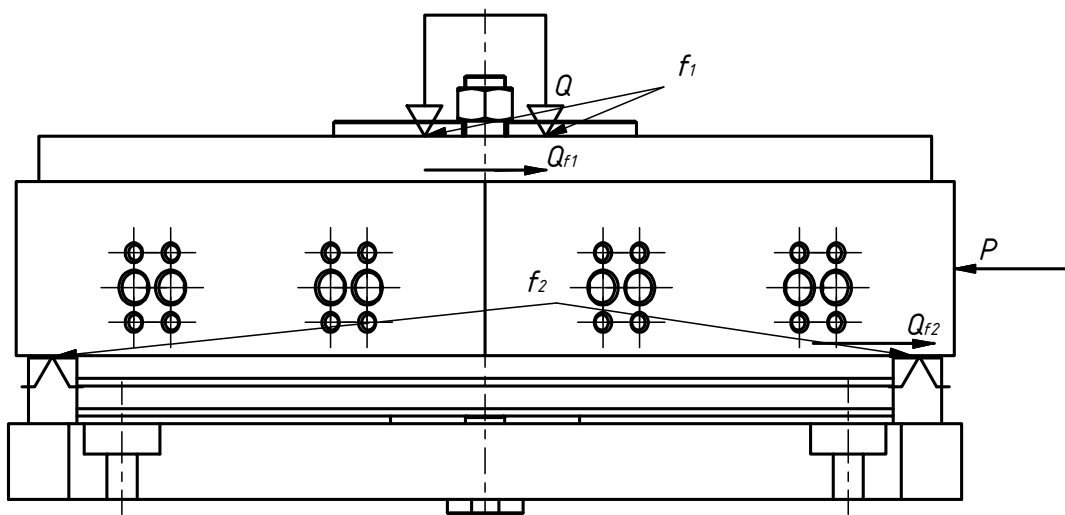


Рисунок 5 — Расчётная схема для силового расчёта приспособления для операции 040

При данной расчётной схеме сила закрепления находится по формуле:

$$Q = \frac{K P}{f_1 + f_2} \quad (13)$$

где  $K$  — коэффициент запаса

$P$  — сила резания, возникающая при обработке [Н]

$f_1, f_2$  — коэффициенты трения между поверхностью заготовки и установочными и зажимными элементами приспособления

Силы резания в процессе обработки изменяются, поэтому для обеспечения надёжности закрепления силу зажима рассчитывают с учётом коэффициента запаса. Он рассчитывается по формуле:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 \quad (14)$$

где  $K_0 = 1,5$  — гарантированный коэффициент запаса

$K_1 = 1$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за случайных неровностей на заготовке

$K_2 = 1$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за затупления инструмента

$K_3 = 1$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании

$K_4 = 1,2$  — коэффициент, учитывающий непостоянство усилия зажима

$K_5 = 1,2$  — коэффициент, учитывающий удобство расположения рукоятки ручного зажимного устройства

$K_6 = 1,1$  — коэффициент, учитывающий неопределённости из-за неровностей места контакта заготовки с опорными элементами, имеющими ограниченную опорную поверхность

Значения коэффициентов выбраны в соответствии с рекомендациями [tarabarin:pto].

$$K = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 2,38$$

Принимают коэффициент запаса  $K \geq 2,5$ .

В соответствии с условиями контакта опор и зажимных элементов приспособления, выбраны коэффициенты трения  $f_1 = f_2 = 0,16$  [kosilova:stm2].

Максимальную силу, действующую в процессе обработки, оказывает сверло  $\varnothing 18,5$  на переходе Т01. Это осевая сила  $P = 4345$  Н.

$$Q = \frac{2,5 \cdot 4345}{0,16 + 0,16} = 33\,945 \text{ Н}$$

Закрепление осуществляется гайкой. При известной силе закрепления номинальный диаметр винта  $d$  вычисляют по формуле:

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{Q}{[\sigma]_p}} \quad (15)$$

где  $[\sigma]_p$  — допустимое напряжение растяжения материала винта [МПа]

Для Стали 45  $[\sigma]_p = 200$  МПа.

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{33945}{200}} = 18,2 \text{ мм}$$

Назначена резьба М20.

Необходимый крутящий момент на гайке рассчитывается по формуле:  
[kosilova:stm2]

$$M_{\text{кр}} = 0,2 Q d_2 \quad (16)$$

где  $d_2$  — средний диаметр резьбы [мм]

Для резьбы М20  $d_2 = 18,376 \text{ мм}$ .

$$M_{\text{кр}} = 0,2 \cdot 33945 \cdot 18,379 = 124\,756 \text{ Н}\cdot\text{мм} = 124,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

В приспособлениях с ручным приводом усилие на конце рукоятки при закреплении не должно превышать 160 Н. Необходимая для выполнения этого условия длина рукоятки  $L$  определяется по формуле:

$$L = \frac{M_{\text{кр}}}{P_{\text{max}}} \quad (17)$$

$$L = \frac{124,8}{160} = 0,78 \text{ м}$$

### 3.1.3 Прочностной расчёт приспособления

При проектировании приспособления необходимо выполнить расчёт на прочность «слабого звена» — наиболее нагруженного элемента конструкции.

Сущность прочностного расчёта заключается в определении действующих на «слабое звено» напряжений и сравнении их с допускаемыми.

В проектируемом приспособлении «слабым звеном», наиболее вероятно, окажется шпилька, с помощью которой осуществляется закрепление. Произведён её расчёт на разрыв по внутреннему диаметру резьбы.

Условие прочности можно определить как: [ryahovskiy:dm]

$$\sigma = \frac{4 Q}{\pi d_3^2} \leq [\sigma]_p \quad (18)$$

где  $Q$  — сила, растягивающая болт [Н]

$d_3$  — внутренний диаметр резьбы [мм]

$[\sigma]_p$  — допускаемое напряжение [МПа]

Для резьбы М20  $d_3 = 16,933$  мм.

$$\sigma = \frac{4\,33945}{\pi \cdot 16,933^2} = 150,7 \text{ МПа}$$

Для Стали 45  $[\sigma]_p = 200$  МПа

$$150,7 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется, значит прочность «слабого звена» обеспечивается.

### 3.1.4 Расчёт приспособления на точность

Диаметры отверстий и размеры резьбы обеспечиваются инструментами и не зависят от способа установки. Расстояния между осями отверстий определяются точностью позиционирования станка и также не зависят от установки. Для перечисленных размеров погрешность установки равна нулю. Расчётная схема представлена на рис. 6

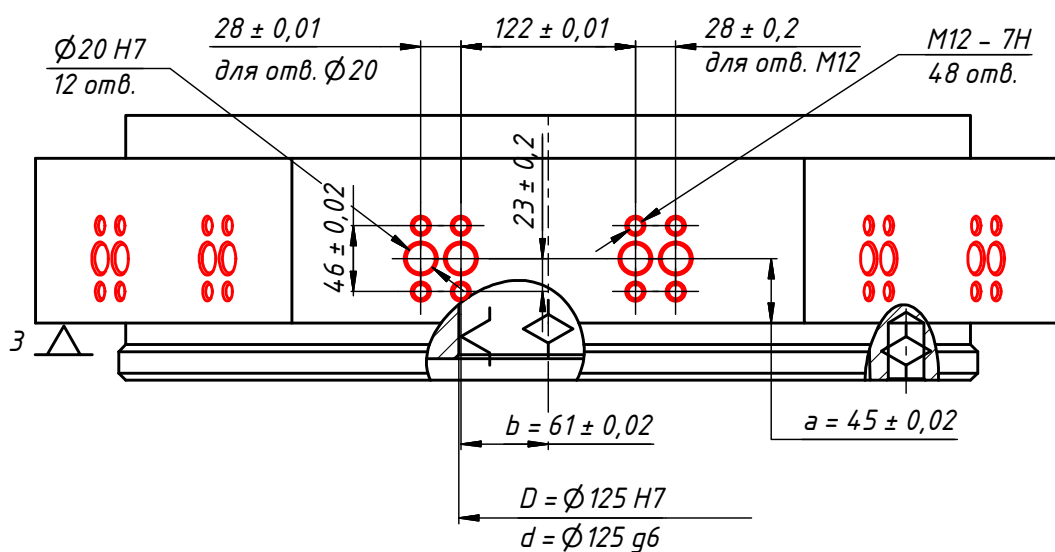


Рисунок 6 — Расчётная схема для расчёта на точность приспособления для операции 040

Размерами, определяющими положение группы отверстий относительно баз заготовки, будут  $a = 45 \pm 0,02$  и  $b = 61 \pm 0,02$ .

### Погрешность базирования

Для размера  $a$  измерительная база совпадает с технологической. Для него погрешность базирования  $\epsilon_{ба} = 0$ .

Для размера  $b$  погрешность базирования можно определить по формуле:  
[tarabarin:pto]

$$\epsilon_{б} = \frac{S}{2} + \frac{TD}{2} \quad (19)$$

где  $S$  — минимальный зазор между базовым отверстием и пальцем [мкм]

$TD$  — допуск на размер отверстия [мкм]

$$\epsilon_{бb} = \frac{14}{2} + \frac{40}{2} = 27 \text{ мкм}$$

### Погрешность закрепления

Погрешность закрепления вызывается непостоянством силы закрепления. Погрешность закрепления влияет только на размеры, измеряемые в направлении действия силы закрепления. Для размера  $b$  погрешность закрепления  $\epsilon_{закр b} = 0$ .

Для размера  $a$  погрешность закрепления можно определить по формуле:  
[tarabarin:pto]

$$\epsilon_{закр} = y_{\max} - y_{\min} = C_{\max} Q_{\max}^n - C_{\min} Q_{\min}^n \quad (20)$$

где  $C$  — коэффициент, характеризующий условия контакта

$n$  — эмпирический коэффициент

$Q$  — сила, приходящаяся на опору [Н]

Для плоских опор приняты коэффициенты  $C = 0,6 \pm 1 \%$ ,  $n = 0,6$ . Сила закрепления  $Q = \frac{33945}{3} \pm 10 \%$  Н.

$$\epsilon_{закр b} = 0,606 \cdot \frac{37339,5^{0,6}}{3} - 0,594 \cdot \frac{30550,5^{0,6}}{3} = 20 \text{ мкм}$$



### Погрешность приспособления

Погрешность приспособления складывается из трёх составляющих: погрешности изготовления элементов приспособления, погрешности, вызванной износом установочных элементов и погрешности установки приспособления на станок. Приспособление установлено на станке неизменно на протяжении изготовления всей партии деталей, а установочные элементы не меняются, поэтому первая и третья составляющая приравняются к нулю. Погрешность, вызванная износом установочных элементов, равна величине износа.

$$\varepsilon_{\text{и}} = u = \beta_2 N \quad (21)$$

где  $\beta_2$  — эмпирический коэффициент

$N$  — число установок детали на приспособление

Число установок детали принято равным программе запуска,  $N = 258$  шт. Для плоских опор  $\beta_2 = 0,04 \dots 0,08$ ; для цилиндрических пальцев  $\beta_2 = 0,005 \dots 0,01$ .

$$\varepsilon_{\text{и}a} = 0,06 \cdot 258 = 15,5 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_{\text{и}b} = 0,007 \cdot 258 = 1,8 \text{ мкм}$$

### Погрешность установки

Суммарная погрешность установки рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2 + 3 \varepsilon_{\text{и}}^2} \quad (22)$$

Тогда:

$$\varepsilon_a = \sqrt{0 + 20^2 + 3 \cdot 15,5^2} = 33,5 \text{ мкм} < 40 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_b = \sqrt{27^2 + 0 + 3 \cdot 1,8^2} = 27,2 \text{ мкм} < 40 \text{ мкм}$$

Погрешности установки всех размеров меньше, чем их допуски, значит необходимую точность возможно обеспечить, используя спроектированное приспособление.

## **3.2 Приспособление для фрезерной операции**

### **3.2.1 Характеристика и описание принципа работы приспособления**

Спроектированное приспособление — специальное, одноместное, с ручным приводом. Предназначено для установки и закрепления заготовки под наклоном на столе фрезерного станка для фрезеровки паза под углом.

Заготовка устанавливается на установочные элементы, закреплённые на плите приспособления и закрепляется с помощью быстросъёмной шайбы, что позволяет ускорить процесс установки. Усилие закрепления создаётся вручную гайкой М20.

Установочные элементы приспособления — обработанная плоскость плиты, внутренняя цилиндрическая поверхность  $\varnothing 590$  и срезанный палец  $\varnothing 45$ .

Приспособление закрепляется на столе станка четырьмя болтами для Т-образных пазов.

Наклон плит приспособления относительно друг друга осуществляется с помощью элементов универсальной станочной оснастки — угловых опор. Опоры базируются на основании по цилиндрическим штифтам, закрепляется болтом. На опорах таким же образом установлена наклонная плита, на которую устанавливается заготовка.

### **3.2.2 Силовой расчёт приспособления**

Приложенная сила закрепления должна исключить возможность отрыва, сдвига или проворота заготовки под действием сил резания на протяжении всего процесса обработки. Сущность силового расчёта заключается в том, чтобы определить силу закрепления, которая обеспечит равновесие заготовки под действием всех приложенных к ней внешних сил: сил резания, закрепления, реакции опор и сил трения.

Для силового расчёта необходимо составить расчётную схему, на которой обозначены внешние силы, действующие на заготовку.

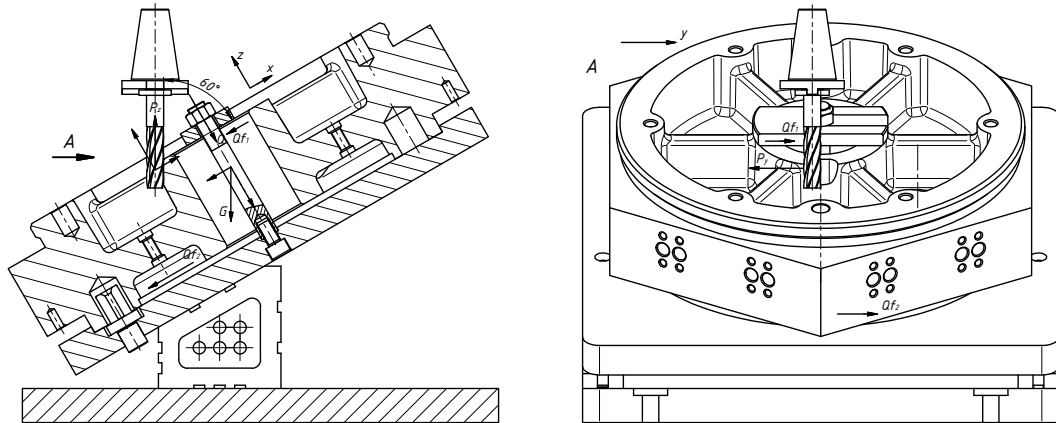


Рисунок 7 — Расчётная схема для силового расчёта приспособления для операции 045

При данной расчётной схеме сила закрепления должна удовлетворять каждому из следующих условий:

$$Q \geq K \frac{P_z \cos 60^\circ - G \cos 60^\circ}{f_1 + f_2} \quad (23)$$

$$Q \geq K (P_z \sin 60^\circ - G \sin 60^\circ) \quad (24)$$

$$Q \geq K \frac{P_y}{f_1 + f_2} \quad (25)$$

где  $K$  — коэффициент запаса

$P_z, P_y$  — соответствующие компоненты силы резания, возникающей при обработке [Н]

$G$  — вес заготовки [Н]

$f_1, f_2$  — коэффициенты трения между поверхностью заготовки и установочными и зажимными элементами приспособления

Силы резания в процессе обработки изменяются, поэтому для обеспечения надёжности закрепления силу зажима рассчитывают с учётом коэффициента запаса. Он рассчитывается по формуле:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$$

где  $K_0 = 1,5$  — гарантированный коэффициент запаса

$K_1 = 1$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за случайных неровностей на заготовке

$K_2 = 1$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания из-за затупления инструмента

$K_3 = 1$  — коэффициент, учитывающий увеличение силы резания при прерывистом резании

$K_4 = 1,2$  — коэффициент, учитывающий непостоянство усилия зажима

$K_5 = 1,2$  — коэффициент, учитывающий удобство расположения рукоятки ручного зажимного устройства

$K_6 = 1,1$  — коэффициент, учитывающий неопределённости из-за неровностей места контакта заготовки с опорными элементами, имеющими ограниченную опорную поверхность

Значения коэффициентов выбраны в соответствии с рекомендациями [tarabarin:pto].

$$K = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 2,38$$

Принимают коэффициент запаса  $K \geq 2,5$ .

В соответствии с условиями контакта опор и зажимных элементов приспособления, выбраны коэффициенты трения  $f_1 = f_2 = 0,16$  [kosilova:stm2].

Силы, возникающие в процессе обработки:  $P_y = 950$  Н,  $P_z = 2875$  Н.

Вес заготовки:  $G = 2458$  Н

$$Q \geq 2,5 \frac{2875 \cos 60^\circ - 2458 \cos 60^\circ}{0,16 + 0,16} = 1630 \text{ Н}$$

$$Q \geq 2,5 (2875 \sin 60^\circ - 2458 \sin 60^\circ) = 903 \text{ Н}$$

$$Q \geq 2,5 \frac{950}{0,16 + 0,16} = 7422 \text{ Н}$$

Выбирается наибольшее из полученных значений.  $Q = 7422$  Н

Закрепление осуществляется гайкой. При известной силе закрепления номинальный диаметр винта  $d$  вычисляют по формуле:

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{Q}{[\sigma]_p}}$$

где  $[\sigma]_p$  — допустимое напряжение растяжения материала винта [МПа]

Для Стали 45  $[\sigma]_p = 200$  МПа.

$$d = 1,4 \sqrt{\frac{7421}{200}} = 7,6 \text{ мм}$$

Назначена резьба М20.

Необходимый крутящий момент на гайке рассчитывается по формуле:

[kosilova:stm2]

$$M_{кр} = 0,2 Q d_2$$

где  $d_2$  — средний диаметр резьбы [мм]

Для резьбы М20  $d_2 = 18,376$  мм.

$$M_{кр} = 0,2 \cdot 7422 \cdot 18,379 = 27\,277 \text{ Н}\cdot\text{мм} = 27,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

В приспособлениях с ручным приводом усилие на конце рукоятки при закреплении не должно превышать 160 Н. Силу на конце рукоятки можно определить по формуле:

$$P = \frac{M_{кр}}{L} \quad (26)$$

где  $L$  — длина рукоятки [м]

При  $L = 0,3$  м

$$L = \frac{27,3}{0,3} = 90,9 \text{ Н}$$

### 3.2.3 Прочностной расчёт приспособления

При проектировании приспособления необходимо выполнить расчёт на прочность «слабого звена» — наиболее нагруженного элемента конструкции.

Сущность прочностного расчёта заключается в определении действующих на «слабое звено» напряжений и сравнении их с допускаемыми.

В проектируемом приспособлении «слабым звеном», наиболее вероятно, окажется шпилька, с помощью которой осуществляется закрепление. Произведён её расчёт на разрыв по внутреннему диаметру резьбы.

Условие прочности можно определить как: **[ryahovski:dm]**

$$\sigma = \frac{4 Q}{\pi d_3^2} \leq [\sigma]_p$$

где  $Q$  — сила, растягивающая болт [Н]

$d_3$  — внутренний диаметр резьбы [мм]

$[\sigma]_p$  — допускаемое напряжение [МПа]

Для резьбы М20  $d_3 = 16,933$  мм.

$$\sigma = \frac{4 \cdot 33945}{\pi \cdot 16,933^2} = 150,7 \text{ МПа}$$

Для Стали 45  $[\sigma]_p = 200$  МПа

$$150,7 \text{ МПа} < 200 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется, значит прочность «слабого звена» обеспечивается.

### 3.2.4 Расчёт приспособления на точность

Точностной расчёт не проводится. Требуемый размер обеспечивается методом пробных проходов.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**