

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)  
Факультет «Машиностроения»  
Политехнический институт  
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроения»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ В.И. Гузеев  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ  
«КОРПУС БЛОКА ВЕНТИЛЬНОГО» В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕСЕРИЙНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ 15.04.05.2020.212.00 ПЗ ВКР

Нормоконтроль  
\_\_\_\_\_ С.Д. Сметанин  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Руководитель, к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ В.Л. Кулыгин  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы,  
студент группы П-261  
\_\_\_\_\_ П.А. Согрин  
\_\_\_\_\_ 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Согрин П.А. Отчет по научно-исследовательской работе – Челябинск: ЮУрГУ, П-161, 117 с., 60 ил., 18 табл., библиогр. список – 12 наим., 1 прил.

В данной выпускной квалификационной работе представлена Разработка технологии механической обработки деталей типа «Корпус блока вентильного». Произведен выбор метода получения исходной заготовки, выбор оборудования, режущего инструмента и оснастки, с учетом требований, предъявляемых к детали.

Технологическая часть содержит разработку двух вариантов технологического процесса механической обработки деталей типа «Корпус блока вентильного» с выбором метода получения исходной заготовки, технологического оборудования, с проведением размерно-точностного анализа.

Конструкторская часть представляет разработку станочного приспособления и режущего инструмента. Разработка математических моделей взаимодействия сил резания при торцевом фрезеровании с учётом траектории движения фрезы. Экономические расчеты вариантов технологического процесса заключаются в сравнении рентабельности двух вариантов технологического процесса.

					<b>15.04.05.2020.212.00 ПЗ ВКР</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
Разраб.		Согрин П.А.			Повышение эффективности технологии изготовления детали «Корпус блока вентильного» в условиях среднесерийного производства.	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.		Кулыгин В.Л.					6	111
Реценз.						ФГАОУ ВО «ЮУрГУ(НИУ)» Кафедра ТАМ		
Н. Контр.		Сметанин С.Д.						
Утверд.		Гузеев В.И.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ .....	7
1.1 Назначение, условия эксплуатации и описание узла изделия «Линия импульсная» .....	7
1.2 Служебное назначение детали «Блок вентильный» и технические требования, предъявляемые к ней .....	10
1.3 Аналитический обзор и сравнение зарубежных и отечественных действующих технологических решений для нефтегазового машиностроения .....	11
Выводы по первому разделу ВКР .....	12
1.4 Формирование целей и задач выполнения квалификационной работы 13	
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ .....	14
2.1 Классификация и анализ группы деталей, планируемых к изготовлению .....	14
2.2 Отработка конструкции детали на технологичность.....	18
2.3 Разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе универсального оборудования.....	19
2.4 Разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе оборудования с ЧПУ .....	44
2.5 Размерно-точностной анализ проектных вариантов ТП .....	63
Выводы по второму разделу ВКР.....	65
3 КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ.....	67
3.1 Проектирование станочного приспособления .....	67
3.2 Проектирование специального режущего инструмента .....	81
Вывод во третьему разделу ВКР .....	88

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ С УЧЁТОМ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ФРЕЗЫ.....	89
4.1 Разработка математической модели объекта .....	90
4.2 Методика проведения эксперимента.....	94
Выводы по четвёртому разделу ВКР .....	98
5 РАСЧЁТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТП И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА .....	99
5.1 Проведение экономических расчётов .....	99
5.2 Оценка экономической эффективности.....	103
Вывод по разделу .....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	106
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	108

## ВВЕДЕНИЕ

Конкуренция между производителями машиностроительной продукции ведёт к постоянному повышению эффективности технологии изготовления и снижению себестоимости продукции. Одним из способов достижения этого является повышение эффективности металлообработки, в частности увеличение производительности обработки при сохранении или повышении стойкости инструмента. Достигается это различными способами, например такими как: назначение оптимальных режимов резания, применение различных смазочно-охлаждающих технологических средств, применение усложнённых траекторий движений инструмента, а также применение комбинированных методов обработки.

Влияние режимов резания на эффективность механической обработки хорошо изучено, применение технологических жидкостей может быть использовано как дополнительная мера, хотя в некоторых случаях их использование невозможно. Применение же комбинированных методов обработки влечёт за собой использование дополнительного оборудования, технологической оснастки, что усложняет сам технологический процесс. Кроме того, область применения комбинированных методов имеет свои ограничения, что сдерживает их широкое применение.

Одно из перспективных направлений повышения эффективности операций механической обработки, это реализация на практике методов управления траекторией движения режущего инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки. Современные приспособления, добавляющие дополнительные координатные оси технологическому оборудованию позволяют реализовывать обработку с весьма сложной кинематикой движений режущего инструмента, при этом их возможности используются далеко не в полной мере. Сложная и управляемая кинематика движения может быть использована для повышения эффективности обработки в совокупности с перечисленными выше и

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

другими методами, а также в тех случаях, когда применение других способов ограничено или невозможно.

Поэтому разработка оптимальной траектории движения инструмента при формообразовании плоских поверхностей заготовок с использованием специально разработанного приспособления, является актуальной научно-технической проблемой.

					<i>ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

# 1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ

## 1.1 Назначение, условия эксплуатации и описание узла изделия «Линия импульсная»

Предназначены для управления поступлением рабочей среды к датчикам разности давлений. Блок вентильный позволяет выполнять дренаж импульсной линии до или после изолирующих клапанов и подключать контрольное метрологическое оборудование.

Оснащён штуцерами с внутренней резьбой К1/4. Отверстия расположенные в штуцерах заглушены пробками с клапанами-заглушками. Дренаж импульсной линии выполняется при открытых изолирующих клапанах-заглушках (дренаж выше по потоку). Метрологическое (контрольное) оборудование подключается через специальные переходники, ввертываемые в штуцеры вместо пробок.

Обеспечивает защиту преобразователя от односторонней перегрузки при его подключении и отключении и уравнивание давлений в рабочих полостях преобразователя при установке «нуля». Вентильные блоки выпускаются по техническим условиям ЭИ003-00.000 ТУ.

Условия эксплуатации клапанного блока:

- исправное давление рабочей среды 40 МПа;
- диапазон температур рабочей среды: от минус 60°С до +150°С;
- класс герметичности А по ГОСТ 9544-93;
- рабочие среды: жидкость, пар, газ.

По конструкции «Корпус блока вентильного» представляет собой моноблок из трёх трехходовых клапанов с уплотнением затворов «металл по металлу» и сальниковым уплотнением шпинделей. Шпиндель и золотник выполнены в виде одной детали. Эскиз с габаритными и присоединительными размерами приведен на рисунке 1.1.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

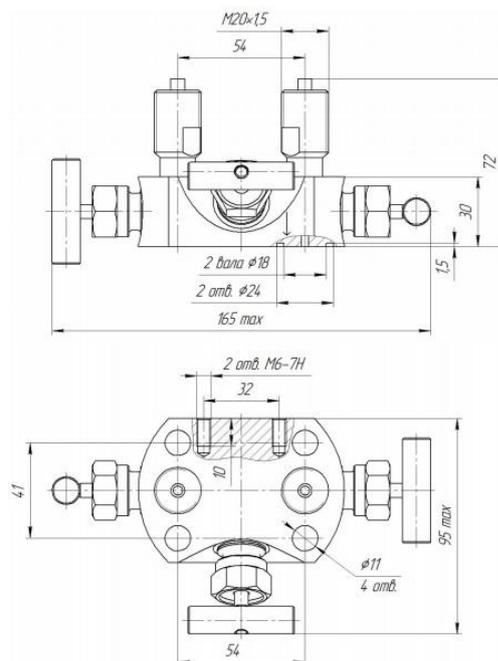


Рисунок 1.1 – Эскиз с габаритными и присоединительными размерами

На датчике разности давлений устанавливаются трех-вентильные клапанные блоки монтируются непосредственно. Импульсные линии подключаются к «+» и «-» камерам датчика через изолирующие вентили клапанного блока.

Включение датчика разности давлений с трех-вентильными клапанными блоками в систему осуществляется следующим образом:

- при закрытых изолирующих «И» и уравнительном «У» вентилях клапанного блока открывается запорная трубопроводная арматура, установленная в «+» и «-» импульсных линиях на технологическом оборудовании;
- на 1,5–2 оборота открывается уравнительный ventиль.

Затем открывается изолирующий ventиль «+» камеры и уравнительный ventиль для уравнивания давления в камерах датчика; — уравнительный ventиль закрывается.

Подключение контрольных приборов к трех-вентильному блоку производится при закрытых изолирующих клапанах, когда датчик отключен от процесса.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Наглядно это представлено на гидравлической схеме клапанного блока (рисунок 1.2)

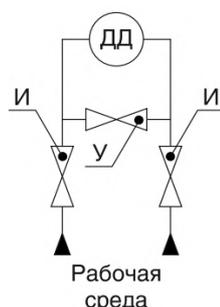


Рисунок 1.2 – Гидравлическая схема «Блока вентильного»

Вентильный блок крепится к монтажной стойке с помощью кронштейна (рисунок 1.3). Снизу, к фланцевому выступу блока, подвешивается и притягивается болтами датчик. На верхней плоскости блока предусмотрены штуцера под ниппельное соединение. Импульсные трубки (с приваренными ниппельными наконечниками) подводятся сверху и стыкуются со штуцерами через уплотнительные кольца (медное).

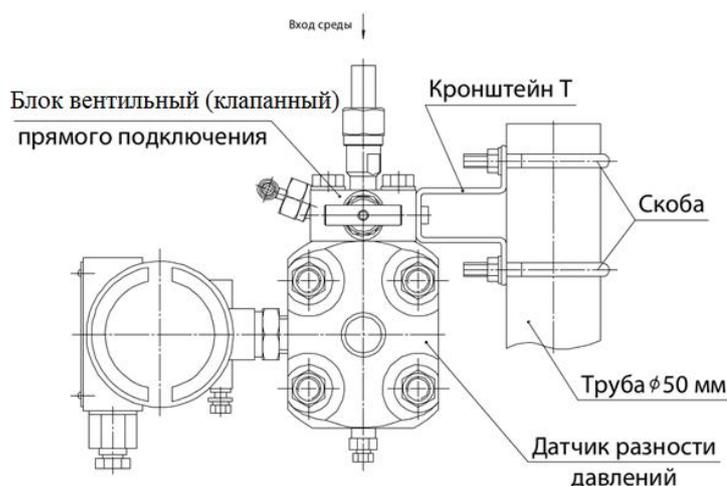


Рисунок 1.3 – Компоновка комплекса «импульсная линия – блок вентильный – датчик – монтажная стойка»

Импульсные и капиллярные линии используются для подключения оборудования к технологическому процессу, передачи давления к датчику

удаленного монтажа. Датчики разности давления предназначены для непрерывного преобразования измеряемого давления пара, жидкости и газа в унифицированный токовый выходной сигнал.

## 1.2 Служебное назначение детали «Блок вентильный» и технические требования, предъявляемые к ней

«Корпус блока вентильного» (рисунок 1.4), является базовой деталью, она предназначена для размещения в ней сборочных единиц и деталей. Корпус должен обеспечивать постоянство точности относительного положения деталей и механизмов, как в статическом состоянии, так и в процессе эксплуатации корпуса, поэтому обладает достаточной жёсткостью.

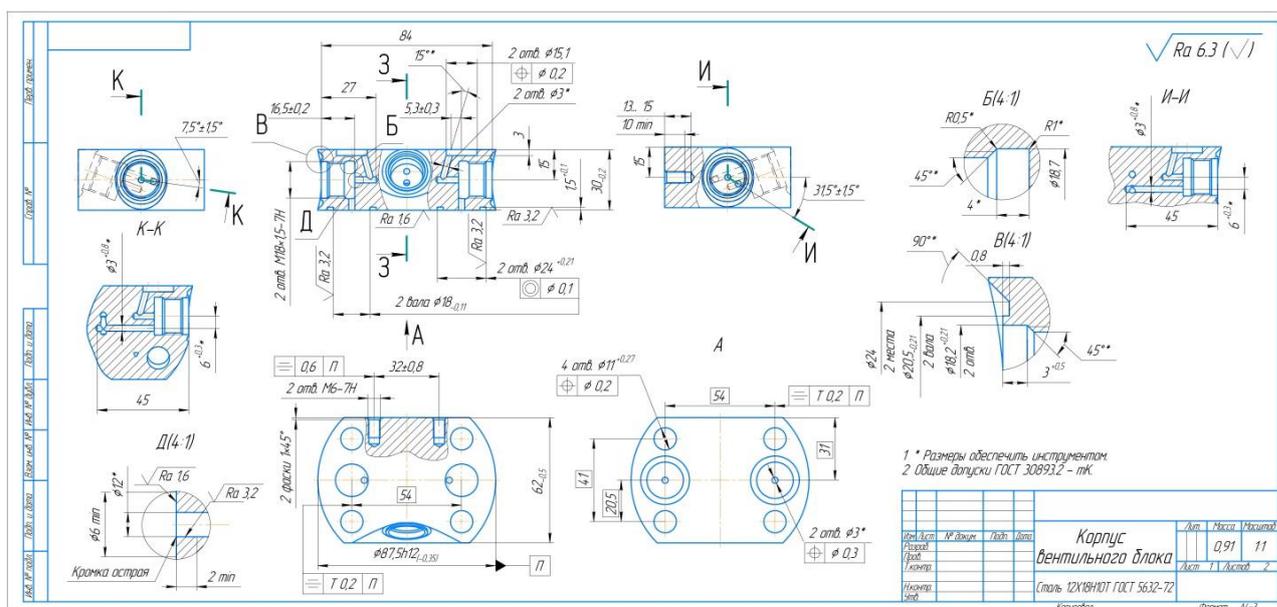


Рисунок 1.4 – Чертёж детали «Корпус блока вентильного»

Дополнительно к корпусной детали предъявляется требование по износостойкости, минимальным деформациям при переменной температуре, герметичности, удобству монтажа и демонтажа деталей.

В процессе эксплуатации корпусные детали должны иметь минимальные деформации и высокую стабильность геометрических размеров определяющих

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

соосность и симметричность поверхностей, посадочных отверстий. Это достигается в результате высокой конструктивной жёсткости корпусных деталей.

Корпусная деталь, относящаяся к клапанной группе деталей, при габаритных размерах 90 × 65 × 30 мм масса детали составляет 2,4 кг. Материал – Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72, допускается материал-заменитель – сталь 14Х17Н2 ГОСТ 5632-2014. При обработке аустенитных сталей высокое содержание никеля (Ni) увеличивает прочность и повышает вероятность появления нароста.

### 1.3 Аналитический обзор и сравнение зарубежных и отечественных действующих технологических решений для нефтегазового машиностроения

Рабочим узлом для детали «Корпус блока вентильного», является «Вентильный блок», который является одним из наиболее важных под узлов импульсной линии.

Для того, чтобы отразить, насколько развито действующее производство, по изготовлению деталей «Корпус блока вентильного», проведём обзор и сравнение нескольких крупных и зарубежных производителей вентильных блоков. Технологические характеристики выпускающегося в настоящее время вентильного блока. У правильно изготовленного вентильного блока давление рабочей среды 40 Мпа и диапазон температур рабочей среды: от минус 60°С до +150°С.

На предприятии признаком качества является постоянный контроль материала и заготовок на всех этапах изготовления топливной форсунки, а так же обязательные испытания каждого вентильного блока на испытательных стендах.

Одним из главных российских конкурентов в отрасли изготовления вентильных блоков является компания, чье производство практически идентично производству нашей компании. Характерным отличием является применение начального уровня автоматизации металлообработки и сборки вентильных

блоков. В остальном же, начиная от получения заготовок, заканчивая сборкой вентильных блоков, отличий не наблюдается.

Главным зарубежным конкурентом является компания по производству вентильных блоков из сплавов Hastelloy с применением уплотнений из графита, что позволяет увеличить температура рабочей среды, а также давление рабочей среды.

Суммируя сказанное, можно утверждать, что технические параметры, заложенные в топливной форсунке нашего производства, соответствуют уровню лучших современных аналогов, а намеченные пути совершенствования (топливная аппаратура с высокими давлениями впрыскивания и электронным управлением) находятся в русле современных тенденций развития двигателестроения. Производство является среднесерийным с возможностью быстрой переналадки.

Но минусом производства является то, что многие операции механической обработки производятся на станках-полуавтоматах и ручных станках. В действующем производстве не введены роботы-манипуляторы, промышленные роботы из-за отсутствия необходимости в них.

Как итогом можно сказать следующее: в области производства вентильных блоков многие предприятия стараются применять только современное автоматизированное промышленное оборудование, использовать максимум ресурсов станков, запускать в производство только проверенные, отработанные технологии, использовать современный режущий инструмент, и исключать человеческий фактор.

#### Выводы по первому разделу ВКР

В результате проделанной работы по первому разделу ВКР, можно сделать следующие выводы:

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

- деталь имеет ряд сложных конструктивно-геометрических параметров, которые требуют особого решения при базировании детали, а также проектирования специального режущего инструмента;
- выявлено, что данная деталь технологична и может быть изготовлена как на универсальном оборудовании, так и на оборудовании с ЧПУ;
- в нефтегазовом машиностроении конкуренция между производителями машиностроительной продукции ведёт к постоянному повышению качества изготовления детали, а именно: точность формы, точность размеров, точность взаимного расположения поверхностей детали, шероховатость поверхности. Также конкуренция между производителями машиностроительной продукции ведёт к постоянному снижению себестоимости продукции.

#### 1.4 Формирование целей и задач выполнения квалификационной работы

Цель ВКР: повышение эффективности механической обработки деталей типа «Корпус блока вентильного» с использованием оборудования с ЧПУ и механизированных станочных приспособлений.

Задачи ВКР:

- 1 анализ действующих технологий изготовления;
- 2 разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе универсального оборудования, а также на базе оборудования с ЧПУ;
- 3 проектирование и разработка станочных приспособлений, а также специального режущего инструмента;
- 4 исследование взаимодействия силы резания при торцевом фрезеровании с учётом траектории движения фрезы;
- 5 анализ технологических процессов, и выбор наиболее экономически эффективного варианта.

## 2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

### 2.1 Классификация и анализ группы деталей, планируемых к изготовлению

Для дальнейшего проектирования технологических процессов необходимо определить тип производства.

В соответствии с данными конструкторского чертежа масса детали – 0,91 кг, габариты 87,5×62×30 мм и годовой программе 5 000 штук в год.

Для проектных вариантов технологического процесса необходимо производить детали с заранее предусмотренной партией, возобновляемой несколько раз в год. Также необходимо использовать гибкое переналаживаемое оборудование.

Данные требования характеризуют серийное производство, следовательно, тип проектируемого технологического процесса – серийный.

В действующем серийном производстве, при проектировании типовых технологических процессов механической обработки для определённой группы деталей, планируемой к выпуску на заданном участке механической обработки, производится конструкторско-технологический анализ номенклатуры группы деталей типа «Корпус».

Детали, подлежащие обработке на проектируемом участке должны обладать общими конструкторскими и технологическими признаками.

На рисунках 2.1 – 2.3 представлены конструкторские чертежи деталей, на которые необходимо разработать типовой технологический процесс.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

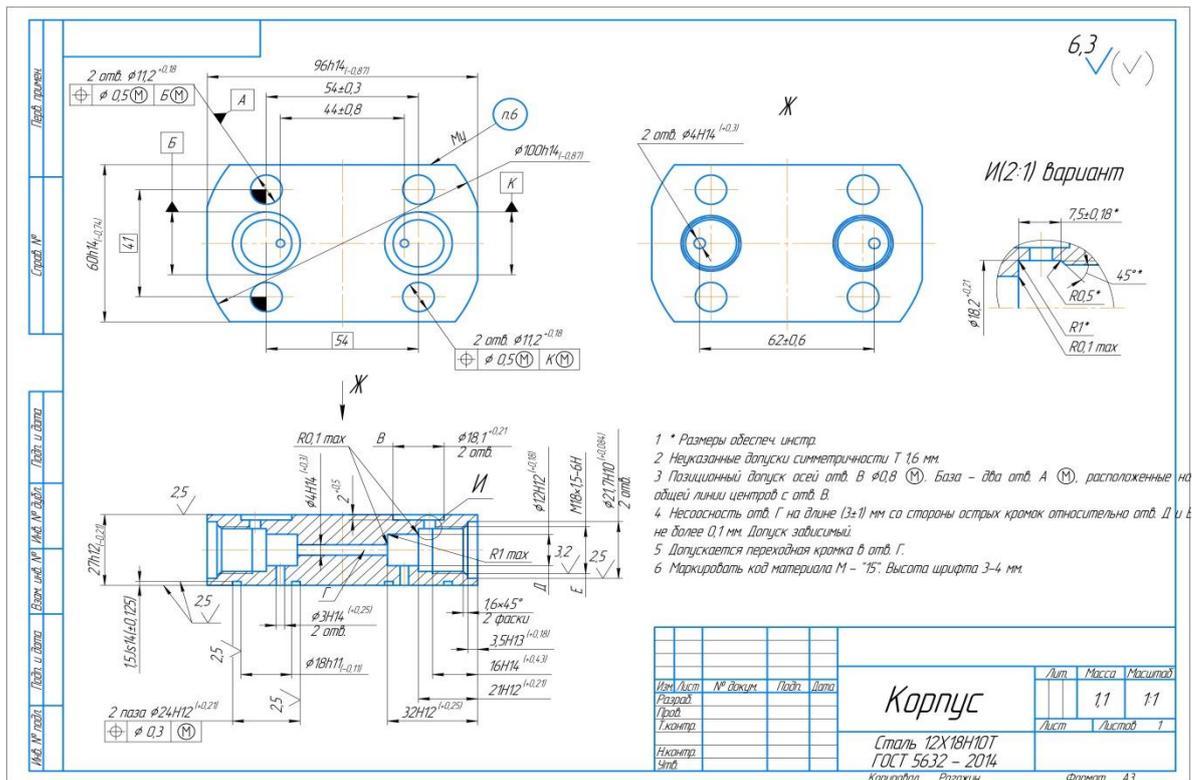


Рисунок 2.1 – Конструкторский чертёж детали «Корпус клапанный, двух вентильный»

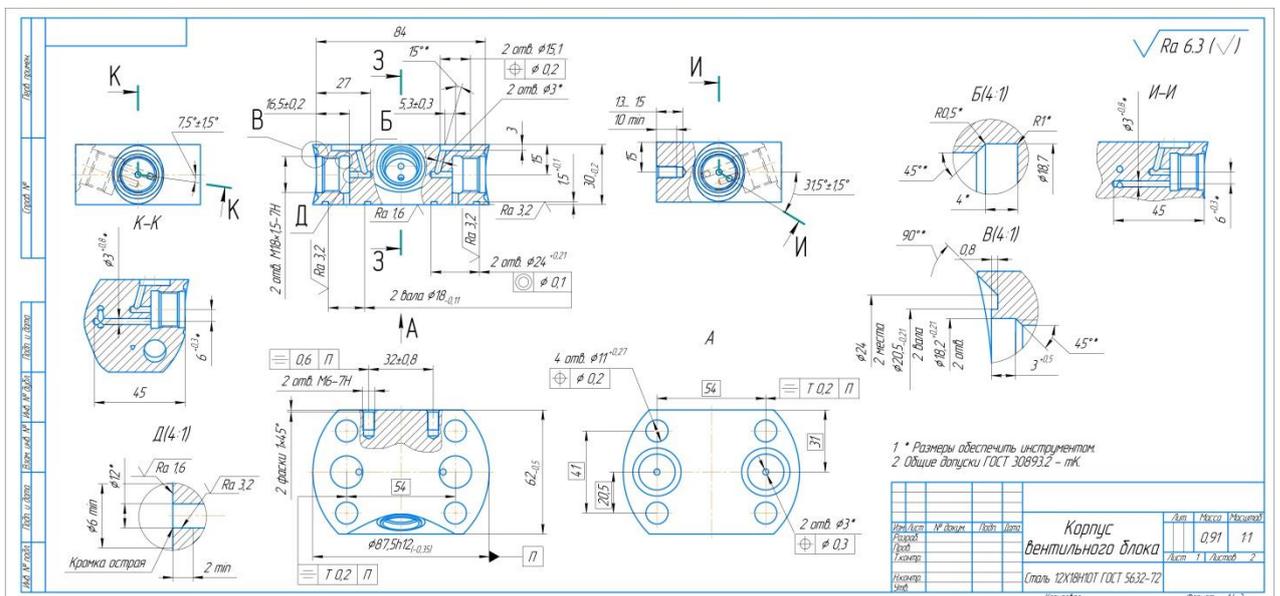


Рисунок 2.2 – Конструкторский чертёж детали «Корпус клапанный, трёх вентильный» (1 часть)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

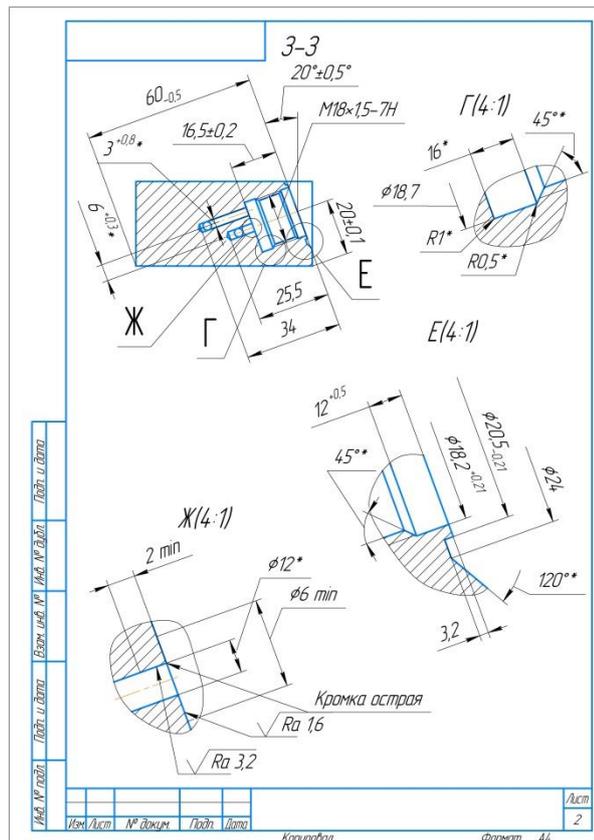


Рисунок 2.3 – Конструкторский чертёж детали «Корпус клапанный, трёх вентильный» (2 часть)

На рисунке 2.4 представлена модель детали-представителя типа «Корпус».

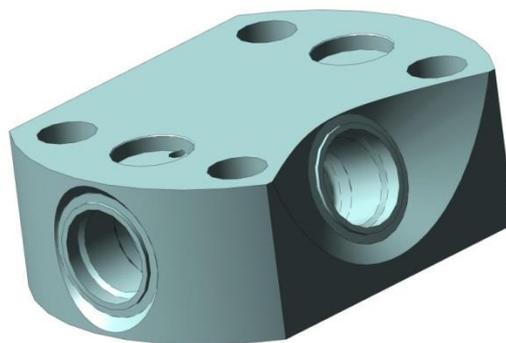


Рисунок 2.4 – Модель детали-представителя типа «Корпус»

Основными технологическими признаками, объединяющими данную группу деталей под проектирование типового технологического процесса, являются:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- по служебному назначению – базирующие детали узлов, служащие для фиксации в них в определённом положении других деталей (это детали типа «втулка», «штуцер», «шпилька» и т.д.);
- по физико-химическим свойствам материала деталей – легированная коррозионностойкая сталь марки 12Х18Н10Т;
- по геометрической форме основных поверхностей – наружные и внутренние цилиндрические поверхности, гладкие и резьбовые, с торцами и канавками различного профиля;
- по габаритным размерам – соотношение диаметров и длин ( $D$  и  $L$ ) находится в одном диапазоне (фактические значения габаритных размеров  $D \times L$  группы деталей:  $\text{Ø}87,5 \times 30$ ;  $\text{Ø}100 \times 27$ ).

Также, технологическими признаками, объединяющими данную группу деталей, являются:

1 маршрут обработки основных поверхностей:

- обработка поверхностей под технологические базы;
- обработка торцов, канавок и отверстий поочерёдно с обеих сторон;
- обработка внутренних цилиндрических поверхностей;
- обработка наружных цилиндрических поверхностей;
- обработка отверстий на цилиндрической и торцевой поверхности.

2 применяемое технологическое оборудование – токарные и вертикально фрезерные станки с ЧПУ;

3 применяемый режущий инструмент – возможно использование одного и того же инструмента при обработке унифицированных поверхностей.

Таким образом, детали, приведённые на рисунке 2.1, можно отнести к одной классификационной группе, соответствующей всем необходимым конструкторским и технологическим признакам.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Из всей номенклатуры деталей, планируемых к выпуску, выбирается деталь – представитель, которая наиболее полно конструктивно и технологически характеризует всю группу деталей.

В проектируемом производстве такой деталью может являться деталь типа «Корпус блока вентильного», которая является базирующей деталью сборочного узла датчика разности давления.

## 2.2 Отработка конструкции детали на технологичность

Проверим конструкцию детали на технологичность для принятия решений о производстве изделия, анализе технологической подготовки производства и разработке мероприятий по повышению эффективности производства.

Ввиду того что, мы не учитываем показатель трудоемкости изготовления, себестоимость и коэффициент унификации конструктивных элементов, достаточно произвести качественную оценку технологичности детали.

Фрагмент рабочего чертежа детали «Корпус вентильного блока» представлен на рисунке 2.2, 2.3.

Корпусная деталь, относящаяся к клапанной группе деталей, при габаритных размерах 87,5 × 62 × 30 мм масса детали составляет 0,9 кг. Материал – Сталь 12X18H10T ГОСТ 5632-72, допускается материал-заменитель – сталь 14X17H2 ГОСТ 5632-2014. При обработке аустенитных сталей высокое содержание никеля (Ni) увеличивает прочность и повышает вероятность появления нароста.

Слабая теплопроводность нержавеющей стали — ее преимущество при использовании, но недостаток при обработке. В месте резания температура значительно увеличивается, поэтому необходимо охлаждать металл с помощью специальных жидкостей. Они не только устраняют жар, но и предупреждают образование наклепа, облегчают обработку. Наклеп появляется на рабочем инструменте, изменяет его форму и приводит в негодность. Поэтому чаще всего легированные стали обрабатывают на невысоких скоростях и специальными инструментами.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Ряд поверхностей корпуса вентильного блока имеет к себе повышенные технологические требования.

Наиболее ответственные размеры сопрягаемых элементов: кольцевая канавка  $\varnothing 24^{+0,21}$   $\varnothing 18_{-0,11}$  глубина  $1,5^{+0,1}$  для уплотнительного кольца.

К этому конструктивному элементу заданы требования по шероховатости, форме и взаимному расположению. Шероховатость задана параметром Ra со знаком 3,2 на поверхностях  $\varnothing 24^{+0,21}$ ,  $\varnothing 18_{-0,11}$ ,  $1,5^{+0,1}$ , достижение такой шероховатости необходимо для точной установки клапана в корпус вентильного блока.

Также к крепёжным отверстиям  $\varnothing 11^{+0,27}$  задано требование по симметричности 0,2 мм, для лучшей собираемости узла.

Выполнение этих технологических требований производится в течение всего процесса обработки корпуса вентильного блока.

Остальные размеры: общие допуски ГОСТ 30893.2–mK.

По критерию унифицированности формы детали, деталь имеет стандартную метрическую внутреннюю резьбу, но также имеет группу отверстий под углом, что требует сложной схемы базирования, вследствие чего по этому критерию деталь является нетехнологичной.

## 2.3 Разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе универсального оборудования

### 2.3.1 Выбор и обоснование способа получения исходной заготовки

Для данной детали типа «Корпус трёх вентильного блока» в качестве исходной заготовки предлагается использовать периодический прокат в виде прутка  $\varnothing 90$  с маркой материала 12X18H10T по ГОСТ 5632-2014.

Применение методов пластического деформирования для получения исходной заготовки при использовании подобных марок материала с жаропрочными и

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

нержавеющими свойствами со сложной пространственной конфигурацией готовой детали будет иметь очень высокую себестоимость при изготовлении.

При этом коэффициент использования материала прутковой заготовки и штампованной заготовки практически не отличаются и находятся в пределах 0,60–0,65.

Для литых заготовок будет характерна неоднородная структура материала по глубине, что может привести к различным дефектам при эксплуатации готового изделия.

Применение заготовок из периодического проката позволяет обеспечить однородную структуру материала с обеспечением необходимых показателей по точности габаритных размеров и шероховатости поверхности. Также такой выбор позволяет при технологической подготовке производства не формировать затраты на проектирование собственного заготовительного производства предприятия.

Технические условия на приёмку заготовок из периодического проката состоят в сравнение реального химического состава и механических свойств с составом и свойствами по стандарту (в %).

Стандартные химические и механические свойства заготовки из периодического проката указаны в таблице 2.1- 2.2.

Таблица 2.1 – Химический состав материала 12X18H10T в %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	–
до 0.12	до 0,8	до 2	9-11	до 0.02	до 0.035	17-19	до 0.3	(5 C-0.8) Ti, остальное Fe

Таблица 2.2 – Механические свойства материала 12X18H10T

ГОСТ	Вид продукции	$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %
		не менее			
ГОСТ 5949-75	Пруток	520 (550)	200	40	55

Термическая обработка заготовок производится при следующих режимных параметрах:

– закалка производится при температуре 1050–1100 град./С;

– последующее охлаждение заготовки может происходить на воздухе, в масле или в воде.

Направление волокна материала заготовки – продольное.

### 2.3.2 Формирование операционно-маршрутной технологии

Первоначальный примерный маршрут технологического процесса на базе универсального оборудования приведен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Маршрутная технология проектного технологического процесса на базе универсального оборудования

№ операции	Название операций	Оборудование
000	Заготовительная операция	Ст. ленточнопильный UE-330SA
005 Установ А	Токарная	16К20
005 Установ Б	Токарная	16К20
010 Установ А	Вертикально-фрезерная	6Р13
010 Установ Б	Вертикально-фрезерная	6Р13
015 Установ А	Токарная	16К20
015 Установ Б	Токарная	16К20
015 Установ В	Токарная	16К20
020 Установ А	Фрезерная	6Р13
020 Установ Б	Фрезерная	6Р13
025 Установ А	Сверлильная	2М112
025 Установ Б	Сверлильная	2М112
025 Установ В	Сверлильная	2М112
025 Установ Г	Сверлильная	2М112
030	Моечная	Моечная машина АМ500 ЭКО
035	Контроль	

### 2.3.3 Выбор технологического оборудования

Проектный вариант технологического процесса разрабатывается с применением следующего технологического оборудования:

- полуавтоматический станок UE-330SA (рисунок 2.5) предназначен для распиливания различных металлов до 330мм, и до 255мм под углом 45°, как сплошных, так и профильных заготовок (труб, уголков и др.)
- токарный станок 16К20 (рисунок 2.6), предназначен для выполнения разнообразных токарных работ: обтачивания и растачивания цилиндрических и конических поверхностей, нарезания наружных и внутренних резьбовых поверхностей, а также сверления, зенкерования, развертывания, и т.п. Техническая характеристика токарного станка 16К20 представлены в таблице А.1;
- фрезерный станок 6Р13 (рисунок 2.7), предназначен для выполнения фрезерных, сверлильных и расточных работ по чугуна, стали, цветными металлам, некоторым видам пластмасс и др. Допускает обработку поверхностей, расположенных в вертикальной и горизонтальной плоскостях, под углами до 45 градусов, в пазах и криволинейных элементах профиля при помощи фрез. Технические характеристики вертикально-фрезерного станка 6Р13 представлены в таблице А.2;
- сверлильный станок 2М112 (рисунок 2.8), предназначен для сверления отверстий и нарезания резьбы в мелких деталях из чугуна, стали, цветных сплавов и неметаллических материалов в условиях промышленных предприятий. Технические характеристики сверлильного станка 2М112 представлены в таблице А.3.



Рисунок 2.5 – полуавтоматический станок UE-330SA

Основные технические характеристики полуавтоматического станка UE-330SA:

- скорость движения полотна – 25 - 75 м/мин;
- размеры ленточного полотна – 4100x34x1,1 мм;
- диапазон поворота тисков – 0° - 45°;
- мощность двигателя – 2,25 кВт;
- габаритные размеры (ДxШxВ) – 2284 x 889 x 1499 мм;
- масса станка, нетто/брутто – 600/690 кг.



Рисунок 2.6 – Токарный станок 16К20

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Рисунок 2.7 – Фрезерный станок 6P13



Рисунок 2.8 – Сверлильный станок 2M112

#### 2.3.4 Разработка операционного ТП

На основе разработанного маршрутного технологического процесса с учётом выбранного технологического оборудования разрабатывается операционный технологический процесс.

Определяются схемы базирования и закрепления заготовки, последовательность обработки поверхностей и технологические переходы, выбираются приспособления, режущий и мерительный инструмент, назначаются

режимы резания и рассчитываются нормы времени, назначаются проектные операционные допуски и рассчитываются номиналы операционных размеров.

Типовой технологический процесс обработки детали типа «Корпус вентиляльного блока» в виде операционных эскизов для проектного варианта №1 выглядит следующим образом:

000 Заготовительная операция (рисунок 2.9) на данной операции производится мерная нарезка заготовок из пруткового материала.

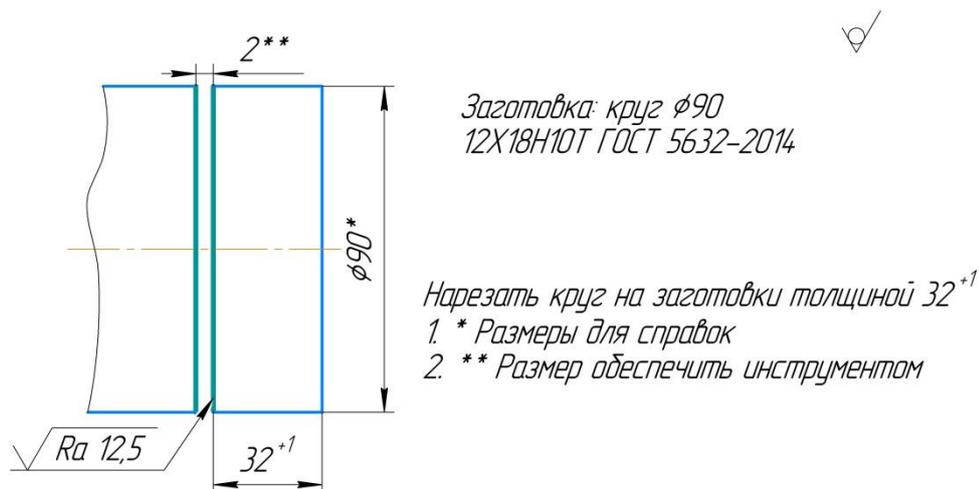


Рисунок 2.9 – 000 Заготовительная операция

005 Токарная операция – Установ А (рисунок 2.10) на данной операции установка заготовки осуществляется в трёх кулачковый патрон с упором по торцу, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – подрезать торец в размер «1»;
- переход 2 – точить поверхность, выдерживая размеры «2», «3».

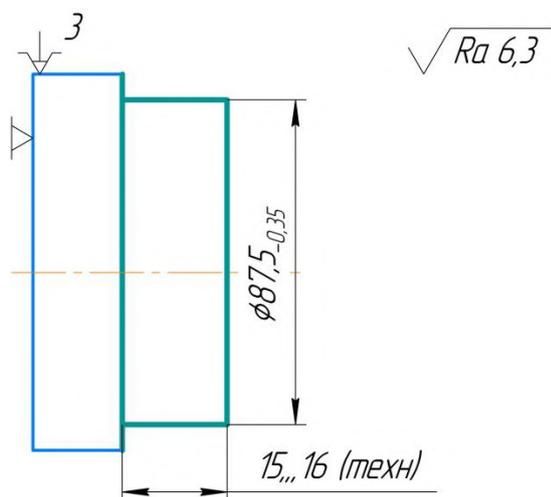


Рисунок 2.10 – 005 Токарная операция – Установ А

005 Токарная операция – Установ Б (рисунок 2.11) на данной операции установка заготовки осуществляется в трёх кулачковый патрон по ранее обработанной поверхности с упором по торцу, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – подрезать торец в размер «1»;
- переход 2 – точить поверхность, выдерживая размеры «1», «2».

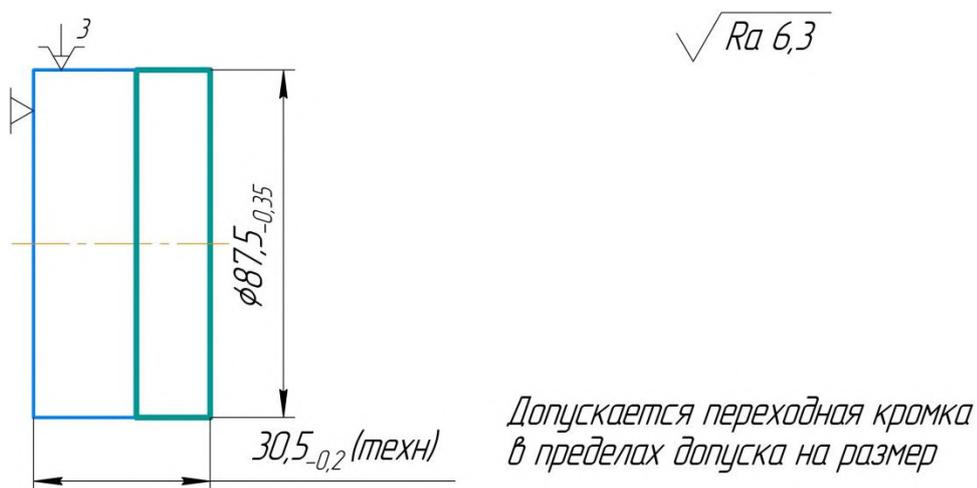
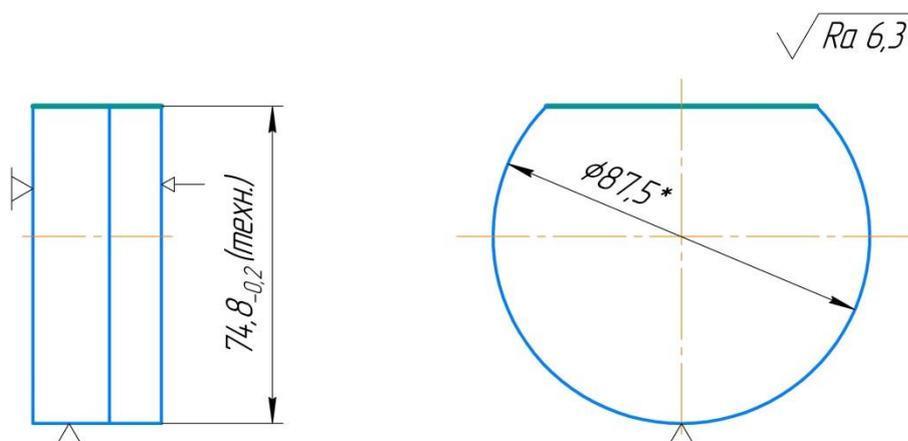


Рисунок 2.11 – 005 Токарная операция – Установ Б

010 Вертикально-фрезерная операция – Установ А (рисунок 2.12) на данной операции установка заготовки осуществляется в тиски с упором в неподвижную

губку тисков и прижимом подвижной, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – фрезеровать поверхность на проход в размер «1».



\* Размер для справок

Рисунок 2.12 – 010 Вертикально-фрезерная операция – Установ А

010 Вертикально-фрезерная операция – Установ Б (рисунок 2.13) на данной операции установка заготовки осуществляется в тиски с упором по ранее обработанной поверхности, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – фрезеровать поверхность на проход в размер «1».

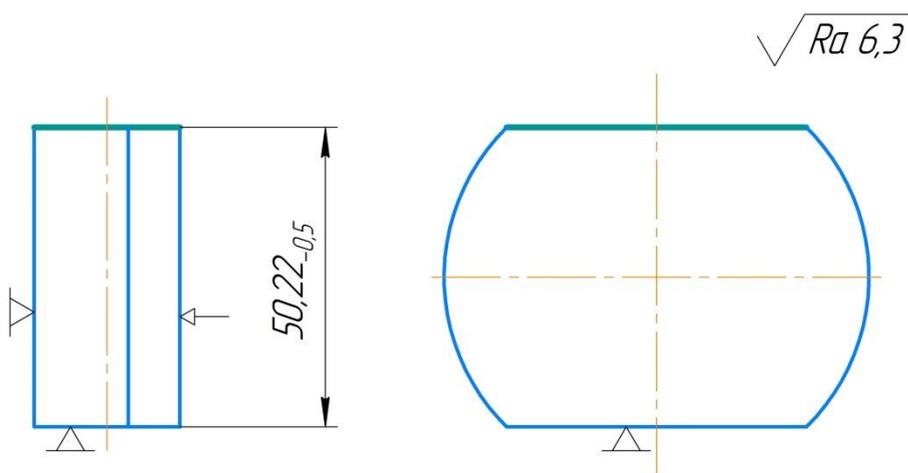


Рисунок 2.13 – 010 Вертикально-фрезерная операция – Установ Б

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

015 Токарная операция – Установ А (рисунок 2.14) данная операция требует проектирования специального токарного приспособления, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – точить поверхность в размер «21», выдерживая размеры «23, 25»;
- переход 2 – центровать отверстие, сохраняя размеры «21, 25»;
- переход 3 – сверлить отверстие  $\varnothing 16$  (под резьбу M18x1,5-7H), выдерживая размеры «22» (с учетом конуса сверла), «25»;
- переход 4 – сверлить отверстие, выдерживая размеры «1, 2», сохраняя размер «25»;
- переход 5 – расточить отверстие «18», выдерживая размеры «20», «19»; расточить отверстие  $\varnothing 16,43$  под резьбу M18 1,5-7H, сохраняя размер «22»; расточить канавку «11», сохраняя размер «22», выдерживая размеры «8, 9, 10, 14»;
- переход 6 – точить канавку и конус, выдерживая размеры «15, 13, 17, 12», сохраняя размеры «21, 23, 25»;
- переход 7 – нарезать резьбу «24», выдерживая размер «26» (внутренний диаметр резьбы 16,376);
- переход 8 – подрезать торец в отверстии, выдерживая размер «7» для образования «4, 5».

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

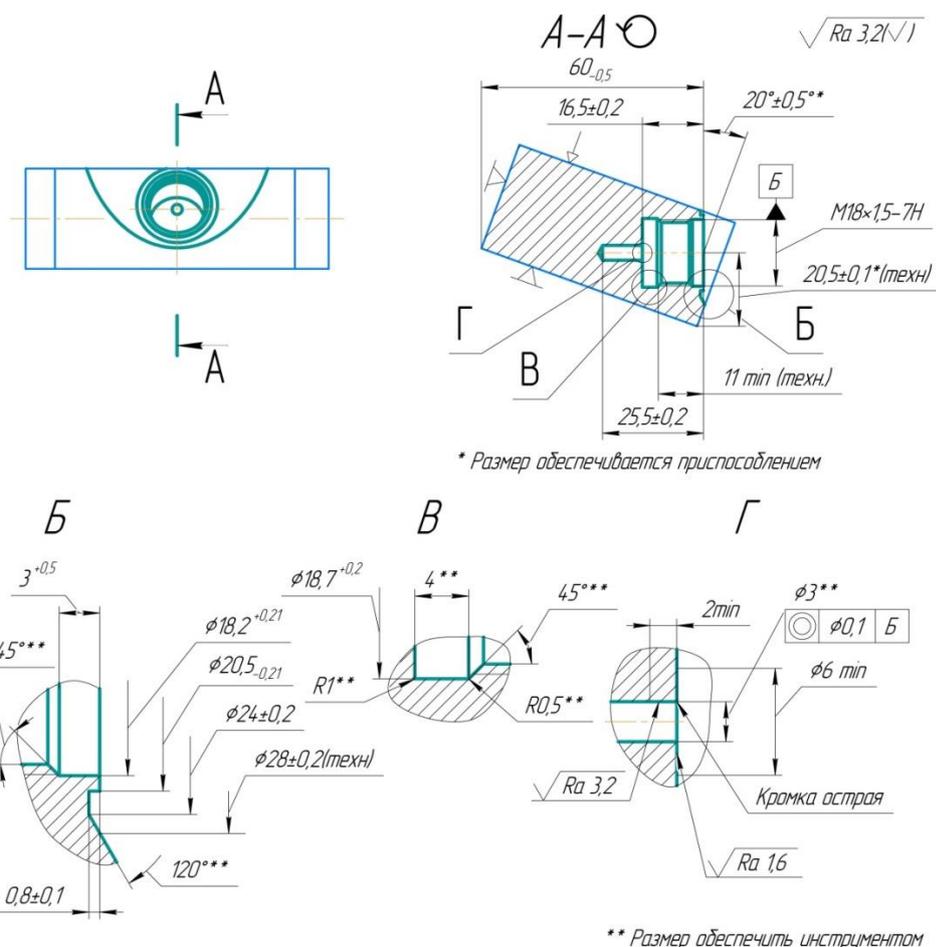


Рисунок 2.14 – 015 Токарная операция – Установ А

015 Токарная операция – Установ Б, В (рисунок 2.15 – 2.16) данная операция требует проектирования специального токарного приспособления, обработка ведётся за два установка по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить и закрепить заготовку в приспособление (установ Б);
- переход 2 – подрезать торец, выдерживая размер «1»;
- переход 3 – центровать отверстие, сохраняя размер «2»;
- переход 4 – сверлить отверстие  $\varnothing 16$  глубиной «3» (под резьбу М18 1,5-7Н,) сохраняя размер «2» (с учетом конуса сверла);
- переход 5 – сверлить отверстие «4», выдерживая размер «5», сохраняя размер «2»;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- переход 6 – расточить отверстие «6», выдерживая размеры «7, 8»; расточить отверстие  $\varnothing 16$ , 43 под резьбу «9», сохраняя размер «3»; расточить канавку «10», сохраняя размер «3», выдерживая размеры «11, 12, 13, 14»;
- переход 7 – точить канавку и конус, выдерживая размеры «16, 17, 18, 19»;
- переход 8 – нарезать резьбу «9», выдерживая размер «3»;
- переход 9 – подрезать торец в отверстии, выдерживая «19,20»;
- переход 10 – переустановить заготовку в приспособлении (установ В);
- переход 11 – повторить переходы 2-9.

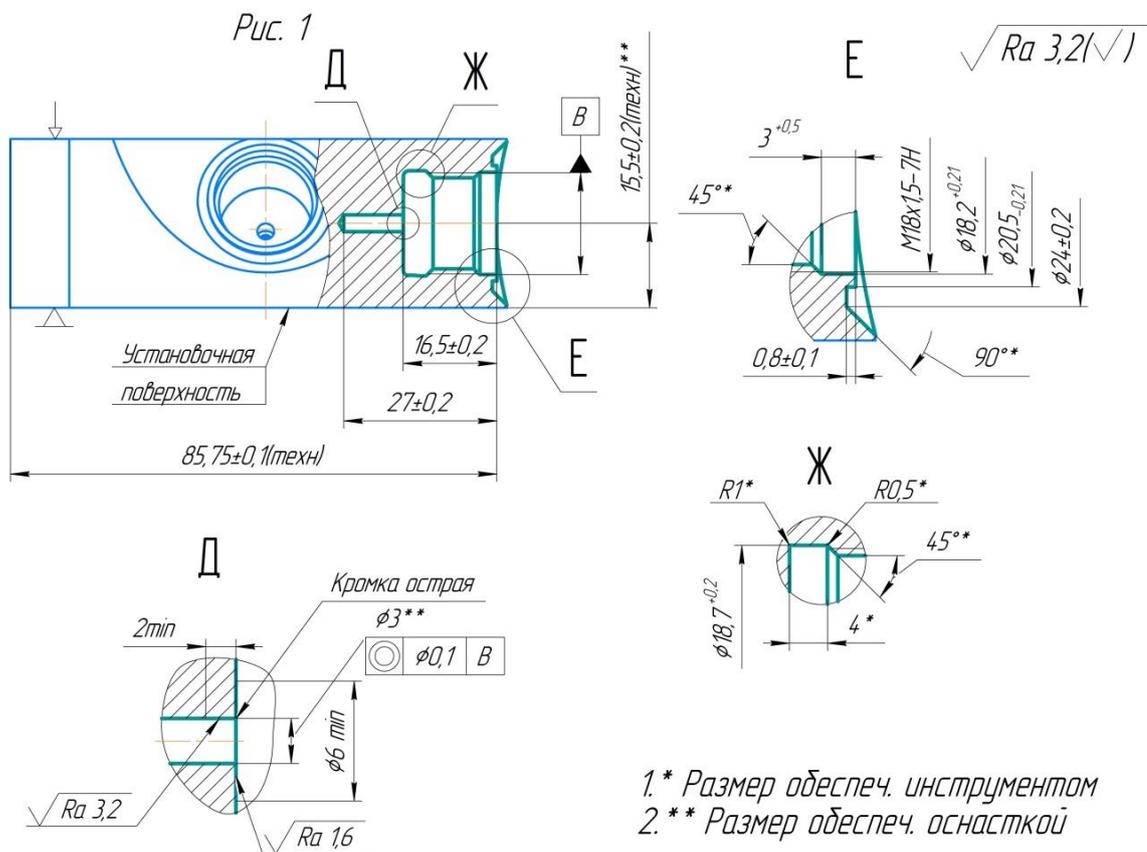


Рисунок 2.15 – 015 Токарная операция – Установ В Б

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

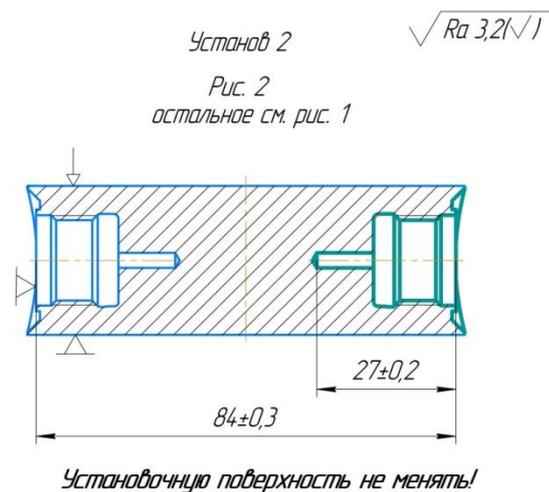


Рисунок 2.16 – 015 Токарная операция – Установ В

020 Фрезерная операция – Установ А (рисунок 2.17) на данной операция заготовка устанавливается в тиски, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить и закрепить заготовку;
- переход 2 – фрезеровать 2 отверстия «1», выдерживая размеры «2, 3, 4, 5»;
- переход 3 – центровать 2 отверстия, выдерживая размеры «4, 5, 6».

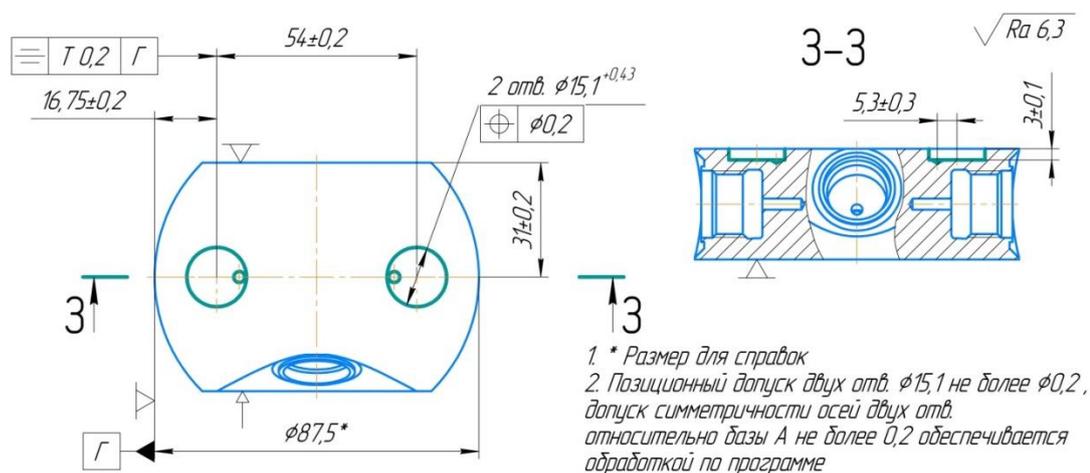


Рисунок 2.17 – 020 Фрезерная операции – Установ А

020 Фрезерная операция – Установ Б (рисунок 2.18) на данной операция заготовка устанавливается в тиски, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить и закрепить заготовку;
- переход 2 – фрезеровать поверхность, выдерживая размер «1»;
- переход 3 – центровать 4 отверстия выдерживая размеры «2, 3, 4, 5»; центровать 2 отверстия выдерживая размеры «4, 5, 6»
- переход 4 – сверлить 4 отверстия  $\varnothing$  «7», сохраняя размеры «2, 3, 4, 5»;
- переход 5 – фрезеровать 2 канавки, выдерживая размеры «8, 9, 10», сохраняя размеры «1, 4, 5, 6»;
- переход 6 – сверлить 2 отверстия «11», сохраняя размеры «1, 4, 5, 6»;
- переход 7 – притупить острые кромки фаской;

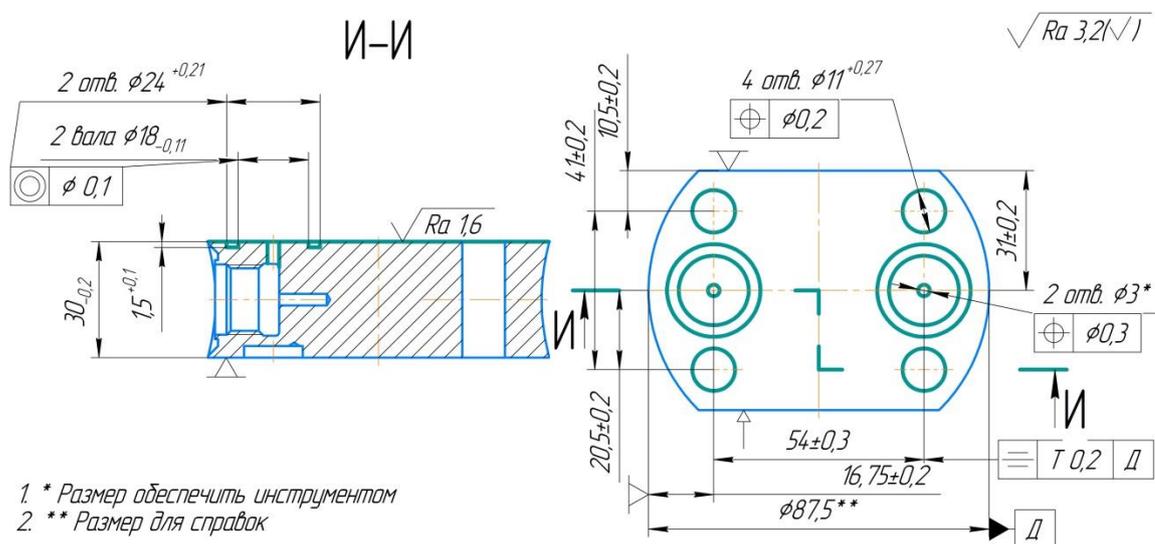


Рисунок 2.18 – 020 Фрезерная операция – Установ Б

025 Сверлильная операция – Установ А (рисунок 2.19) на данной операция заготовка устанавливается в тиски глобусные, с применением кондуктора, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить кондуктор в отверстие заготовки;
- переход 2 – установить заготовку в тиски глобусные;
- переход 3 – выполнить разметку, убрать кондуктор;
- переход 4 – сверлить отверстие «1», выдерживая размеры «2, 3».

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

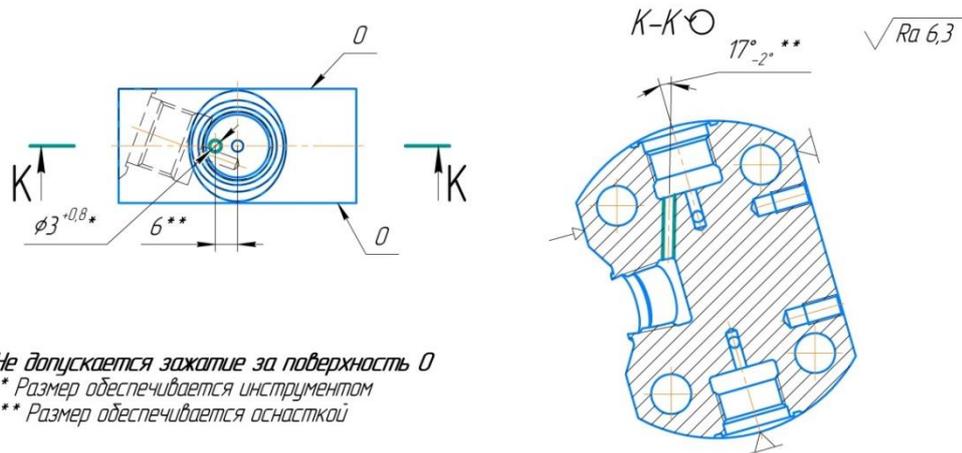


Рисунок 2.19 – 025 Сверлильная операция – Установ А

025 Сверлильная операция – Установ Б (рисунок 2.20) на данной операция заготовка устанавливается в спец. приспособление, с применением кондуктора, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить заготовку в приспособление;
- переход 2 – установить кондуктор в отверстие;
- переход 3 – выполнить разметку, убрать кондуктор;
- переход 4 – сверлить отверстие «1», выдерживая размеры «2, 3, 4, 5»

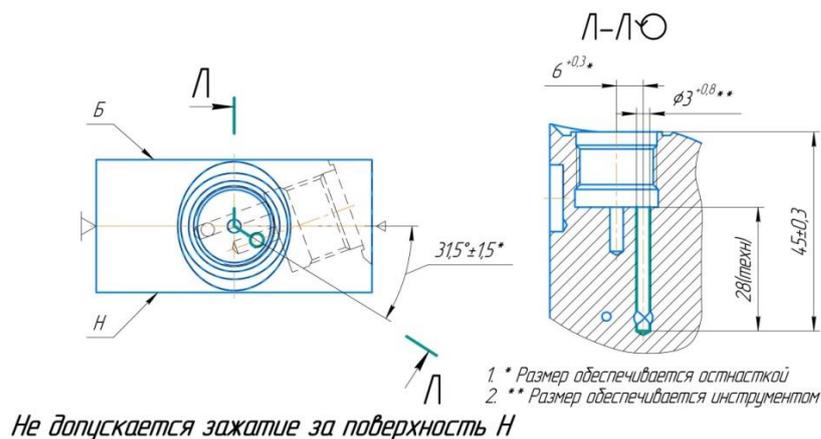
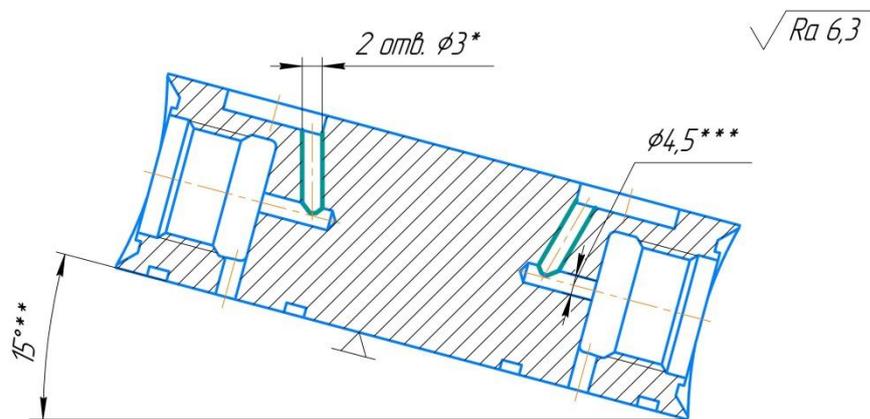


Рисунок 2.20 – 025 Сверлильная операция – Установ Б

025 Сверлильная операция – Установ В (рисунок 2.22) на данной операция заготовка устанавливается в призму, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить заготовку на призму;
- переход 2 – сверлить отверстие «1» по разметке, до выхода в канал, сохраняя размер «2»;
- переход 3 – переустановить заготовку (установ 2);
- переход 4 – повторить переход 2.



1. \* Размер обеспечивается инструментом
2. \*\* Размер обеспечивается остнасткой
3. \*\*\* Размеры для справок

Рисунок 2.21 – 025 Сверлильная операция – Установ В

025 Сверлильная операция – Установ Г (рисунок 2.22) на данной операция заготовка устанавливается в станок, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить заготовку на стол станка;
- переход 2 – разметить 2 отверстия, выдерживая размер «1, 7»;
- переход 3 – убрать кондуктор, сверлить 2 отверстия «2», выдерживая размер «3», сохраняя «1»;
- зенковать 2 фаски, выдерживая размер «4»;
- нарезать резьбу «5» выдерживая размер «6».

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ

Лист

34

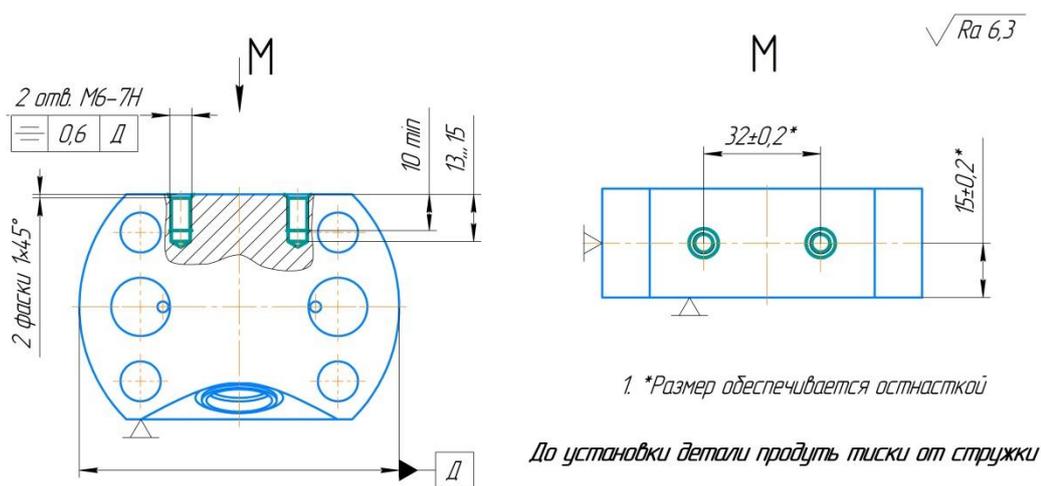


Рисунок 2.22 – 025 Сверлильная операция – Установ Г

### 2.3.5 Аналитический обзор и выбор технологической оснастки и режущего инструмента

При разработке технологии изготовления детали типа «Корпус блока вентиляного» выбор режущего инструмента, его конструкции и размеров в большей мере зависит от методов обработки, свойств обрабатываемого материала, требуемой точности обработки и качества обрабатываемой поверхности заготовки.

При выборе режущего инструмента необходимо стремиться к применению стандартного режущего инструмента, но, при необходимости, следует применять специальный, комбинированный, фасонный инструмент, позволяющий совмещать обработку нескольких сложных поверхностей.

Если технологические особенности детали позволяют применить высокие скорости резания, то следует применять высокопроизводительные конструкции режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, так как практика показала, что это экономически выгодней, чем применение быстрорежущих инструментов. Особенно это распространяется на резцы (кроме фасонных, малой ширины, автоматных), фрезы, зенкеры, конструкции которых оснащены твердым сплавом.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На 010 Токарной операции (рисунок 2.9-2.10) для обработки поверхностей примем державку Sandvik Coromant DSSNR 2020K 12 (Рисунок 2.23), пластину Sandvik Coromant SNMG 12 04 16-ММ 2220 (Рисунок 2.24), марка используемого сплава GC2220.

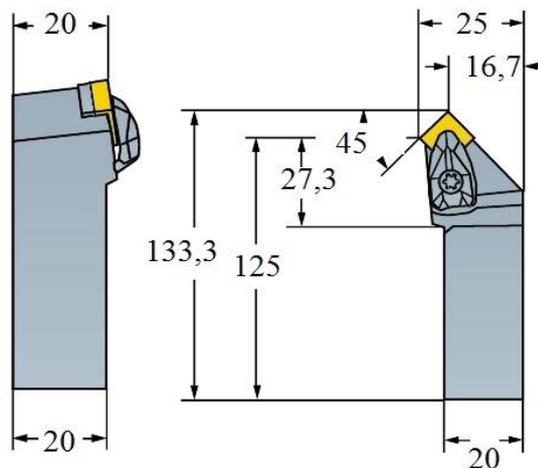


Рисунок 2.23 – Державка Sandvik Coromant DSSNR 2020K 12

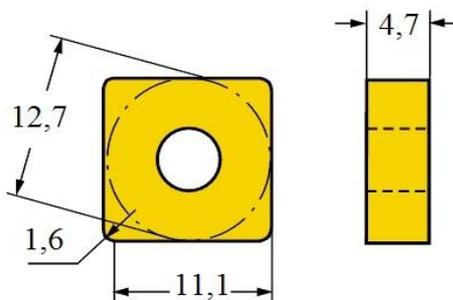


Рисунок 2.24 – Пластина Sandvik Coromant SNMG 12 04 16-ММ 2220

На 015 Фрезерной операции (рисунок 2.11-2.12), для обработки поверхностей примем торцевую фрезу  $\varnothing 125$ , пластины PNMM 110408.

На рисунке 2.21 представлены обрабатываемые поверхности на 020 Токарной операции.

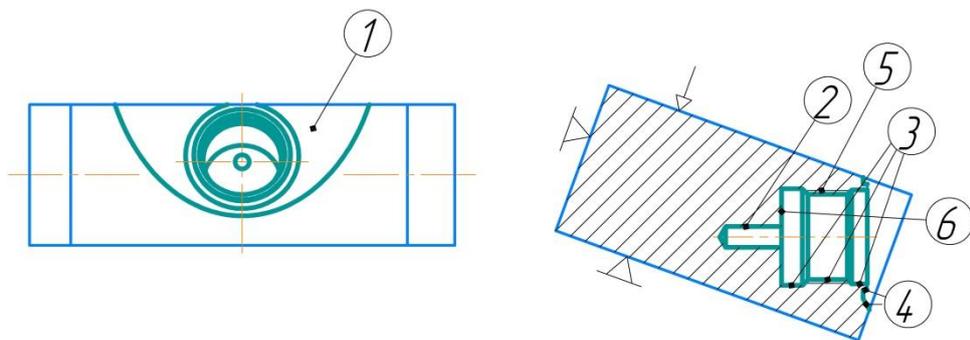


Рисунок 2.21 – Обрабатываемые поверхности на 020 Токарной операции

Для обработки поверхности 1 примем державку CNCM PSSNR 2020 K12, пластины KYOCERA SNMG 120408. Инструментом производится точение выемки под боковой штуцер.

Для центровых отверстий примем сверло центровочное  $\varnothing 5 \times \varnothing 12,5$  P6M52317-0008 ГОСТ14952-75 допускается сверло центровочное  $\varnothing 4 \times \varnothing 10$  P6M52317-0007 ГОСТ14952-75.

Для отверстия под резьбу примем, сверло  $\varnothing 16$  (с углом заточки 100...110 и минимальной длиной перемычки) P6M5 типа СК 10903В ГОСТ 10903-77.

Для обработки поверхности 2 примем сверло  $\varnothing 3$  (с углом заточки 140) P6M5K5/HSS типа СЦ 0274АТУ 3912.195.00223131-95.

Для обработки поверхности 3 примем, державку CNCM S10M-SDUCR07 пластину Gesac DCMT 070204 или резец расточной с цеховой заточкой BK8.

Для обработки поверхности 4, примем резец отрезной с цеховой заточкой BK8.

Для нарезания резьбы (поверхность 5), примем державка CNCM SIR 0007 K08 пластина 3IR1.5 ISO или державка CNCM SNR 0016M 16B пластина RT16.01N-1.5GM (ZCC).

Для обработки поверхности 6, примем резец расточной с цеховой заточкой BK8.

Обработка группы отверстий на 20 Токарной операции (установ Б, В) производится аналогичным режущим инструментом.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На рисунке 2.22 представлены обрабатываемые поверхности на 020 фрезерной операции – Установ А (рисунок).

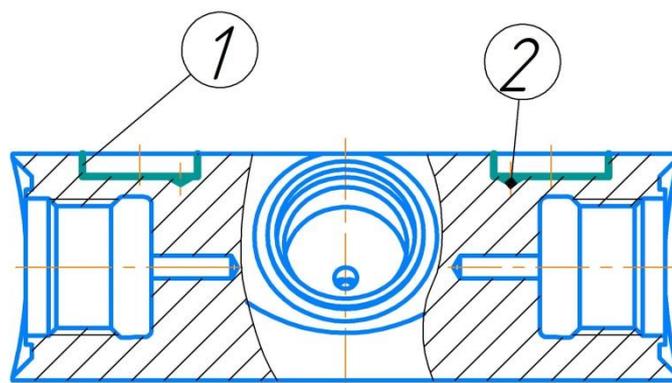


Рисунок 2.22 – Обрабатываемые поверхности на 020 Фрезерной операции  
(Установ А)

Для обработки поверхности 1, примем цельную твердосплавную фрезу Томский инструмент фреза  $\varnothing 10 \times 22 \times 72 \times 10$  HF 4132.

Для обработки поверхности 2, примем сверло центровочное  $\varnothing 1 \times \varnothing 3,15$  P6M52317-0001 ГОСТ14952-75.

На рисунке 2.23 представлены обрабатываемые поверхности на 020 Фрезерной операции – Установ Б.

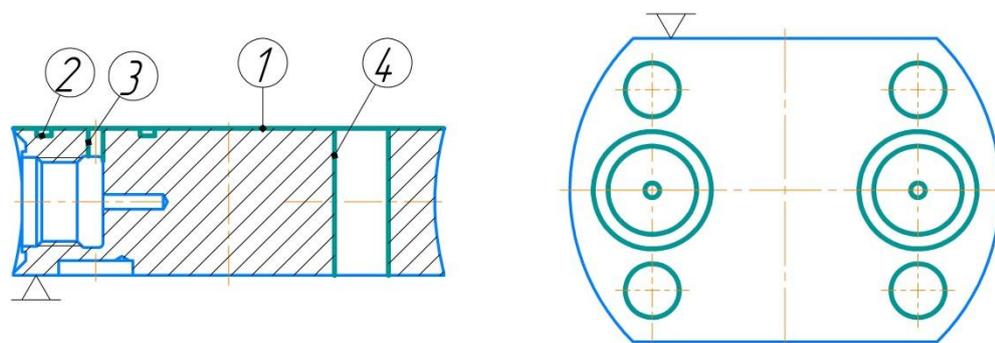


Рисунок 2.23 – Обрабатываемые поверхности на 020 Фрезерной операции  
(Установ Б)

Для обработки поверхности 1, примем торцевую фрезу TaeguTec 100TFM45SE6100-32R-12 пластины SEET 12T3 EM YBG302 (ZCC).

Для обработки центровых отверстий, под последующее сверление отверстий Ø11, примем сверло центровочное Ø1 × Ø3,15 P6M52317-0001 ГОСТ14952-75.

Для обработки поверхности 4, примем сверло Ø11 P6M5K5/HSS типа СЦ 0274АТУ 3912.195.00223131-95.

Для обработки поверхностей 2, примем специальный режущий инструмент «кольцевая фреза».

Для обработки поверхности 3, примем сверло Ø3 P6M5K5/HSS типа СЦ 0274АТУ 3912.195.00223131-95.

На 030 Сверлильной операции, для сверления отверстия Ø3, примем сверло Ø3 P6M5K5/HSS типа СЦ 0274АТУ 3912.195.00223131-95.

На операции 30 Сверлильная (установ Г), для сверления отверстия Ø5, примем сверло Ø5 P6M5/HSS под метчик. Для образования фаски примем сверло со спец. заточкой (90°) P6M5/HSS. Для нарезания резьбы примем метчик (Fanag) M6-C-ISO2 (6H) R40 HSSE. Разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе универсального оборудования.

### 2.3.6 Расчёт режимов резания и норм времени на все операции ТП на базе универсального оборудования

Подрезка торца заготовки диаметром 90 мм. При точении проходными резцами обработка может производиться за один или несколько проходов в зависимости от метода получения и точности заготовки и требуемой точности детали. В качестве заготовки используется периодический прокат в виде прутка Ø90 с маркой материала 12X18H10T по ГОСТ 5632-2014. Требуемая шероховатость детали Ra 6,3 мкм; состояние поверхности – с коркой, припуск на обработку 2-4 мм. Обработка ведётся за одну стадию: полуставая.

Приспособление – трёхкулачковый патрон.

По карте 2 [4] выбирается глубина резания:  $t = 1$  мм.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Выбор инструмента:

По приложению 3 [4] выбирается материал режущей части резца: IC9150 (аналог T15K6 твердый сплав).

Главный угол в плане  $\varphi = 45^\circ$ . Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 5^\circ$ . Радиус вершины 0,06 мм.

По карте 3 [4] выбираем рекомендуемую подачу:

—  $S_{от} = 0,45$  мм/об – подача для полустогого точения.

По карте 5 [4] выбираем поправочные коэффициенты для расчета рабочей подачи:

- $K_{си} = 1$  – коэффициент в зависимости от инструментального материала;
- $K_{сп} = 0,85$  – коэффициент в зависимости от способа крепления пластины;
- $K_{сд} = 1$  – коэффициент в зависимости от крепления державки резца;
- $K_{ш} = 1$  – коэффициент в зависимости от прочности режущей части;
- $K_{см} = 1$  – коэффициент в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала;
- $K_{sy} = 0,8$  – коэффициент в зависимости от схемы установки обработки;
- $K_{сн} = 1$  – коэффициент в зависимости от состояния поверхности заготовки;
- $K_{с\varphi} = 1,3$  – коэффициент в зависимости от геометрических параметров резца;
- $K_{sj} = 1$  – коэффициент в зависимости от жесткости станка.

Определяем окончательную подачу:

—  $S_{о\text{получист.}} = S_{от} \cdot K_{си} \cdot K_{сп} \cdot K_{сд} \cdot K_{ш} \cdot K_{см} \cdot K_{sy} \cdot K_{сн} \cdot K_{с\varphi} \cdot K_{sj} = 0,39$  мм/об.

По карте 32 [4] определяем табличную силу резания:

—  $P_{хт} = 630$  Н;  $P_{ут} = 230$  Н.

По карте 33 [4] выбираем поправочные коэффициенты на силы резания:

- $K_{рмх} = 1$ ;  $K_{рму} = 1$ ;
- $K_{р\varphiх} = 1$ ;  $K_{р\varphiу} = 1$ ;
- $K_{р\gammaх} = 1$ ;  $K_{р\gammaу} = 1$ ;
- $K_{р\lambdaх} = 1$ ;  $K_{р\lambdaу} = 1$ .

$$P_x = P_{xT} \cdot K_{рмх} \cdot K_{р \phi x} \cdot K_{р \gamma x} \cdot K_{р \lambda x} = 630 \text{ Н}; \quad (2.1)$$

$$P_y = P_{yT} \cdot K_{рму} \cdot K_{р \phi y} \cdot K_{р \gamma y} \cdot K_{р \lambda y} = 230 \text{ Н}. \quad (2.2)$$

Табличная скорость и мощность станка:

$V = 228 \text{ м/мин}$ ,  $N = 5,7 \text{ кВт}$  – табличная мощность подходит для нашего станка.

По картам 21, 22 [4] выбираем поправочные коэффициенты на скорость резания:

- $K_{ви} = 1$  – коэффициент в зависимости от инструментального материала;
- $K_{вс} = 1$  – коэффициент в зависимости от группы обрабатываемости материала;
- $K_{во} = 1$  – коэффициент в зависимости от вида обработки;
- $K_{vj} = 1$  – коэффициент в зависимости от жесткости станка;
- $K_{vm} = 1,1$  – коэффициент в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала;
- $K_{v\phi} = 0,95$  – коэффициент в зависимости от периода стойкости режущей части;
- $K_{вж} = 1$  – коэффициент в зависимости от наличия охлаждения;
- $K_{vT} = 1$  – коэффициент в зависимости от инструментального материала;

$$K_v = K_{вс} \cdot K_{ви} \cdot K_{vj} \cdot K_{vm} \cdot K_{v\phi} \cdot K_{вж} \cdot K_{во} \cdot K_{vT} = 0,9975. \quad (2.3)$$

$$V = V_T \cdot K_v = 227,43 \text{ м/мин}; \quad (2.4)$$

Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 227,43}{3,14 \cdot 31} = 2336,4 \frac{\text{об}}{\text{мин}}; \quad (2.5)$$

По паспорту станка определим фактическую частоту вращения шпинделя:

$$N_{\phi} = 2500 \text{ об/мин}.$$

Определим фактическую скорость резания по формуле (2.6):

$$V_{\phi 1} = \frac{3,14 \cdot 31 \cdot 2500}{1000} = 243,35 \frac{\text{м}}{\text{мин}}; \quad (2.6)$$

Проверка режимов резания по мощности главного движения привода.

По карте 24 [4] определим поправочный коэффициент на мощность в зависимости от твердости обрабатываемого материала  $K_{Nm}=1$ .

Табличную мощность резания корректируем по формуле (2.7):

$$N = N_T \cdot K_{Nm} \cdot \frac{V_\phi}{V_T}; \quad (2.7)$$

$$N=3,2 \cdot 1 \cdot \frac{243,35}{228} = 3,4 \text{ кВт};$$

$$N \leq N_T.$$

Заготовка будет обрабатываться режущим инструментом фирмы Sandvik Coromant. Подберём режимы резания (рисунок 2.24) по каталогу и сравним их с расчётными. Державка для точения, с главным углом в плане  $\phi = 45^\circ$ , высотой хвостовика 20 мм, шириной хвостовика 20 мм и функциональной длиной 125 мм с обозначением DSSNR 2020K 12.

К данной державке подберём пластину SNMG 12 04 16-ММ 2220, глубина и подача определяются в зависимости от формы пластины.

Скорость резания зависит от материала обрабатываемой заготовки, подачи и марки твёрдого сплава.

The screenshot displays the CoroPlus ToolGuide interface. On the left, a yellow card identifies the workpiece as 'М' (Austenitic stainless steel) with a hardness of 200 HB and material code M1.0.Z.AQ. Below this, the machine is identified as a 'Токарный станок 03 - Средний (патрон 6-12")' with a power of 25 kW and speed of 4000 1/min. The workpiece dimensions are: diameter 90 mm, width 1 mm, and surface roughness Ra 3.2 µm. The central panel shows the selected tool 'DSSNR 2020K 12' (Instrument) and 'SNMG 12 04 16-ММ 2220' (Plate), both from Sandvik. The tool holder is 'Rectangular shank - metric: 20 x 20'. The right panel shows the cutting parameters for 'ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА' (Finish): cutting speed 198 m/min, feed 0.408 mm, and depth of cut 1 mm. The interface also shows 'Шаги' (Steps) and 'Показать подробности' (Show details) options.

Рисунок 2.24 – Подбор режимов резания через сервис CoroPlus ToolGuide.

Для обработки материала 12Х18Н10Т с твёрдостью поверхности до 200 НВ используется сплав GC2020. Новейший сплав для точения GC2220 идеален для

аустенитных и дуплексных нержавеющей сталей и отличается повышенной стойкостью к пластической деформации и увеличенным сроком службы инструмента. Имеет покрытие, наносимое по технологии Invei и обеспечивающее высокую износостойкость.

Исходя из рассчитанных режимов в сервисе CoroPlus ToolGuide:  $V = 198$  м/мин,  $S_{от} = 0.4$  мм/об,  $t = 1$  мм.

В результате сравнения двух способов подбора режимов резания видно, что расчётные значения и режимы, рассчитанные в сервисе CoroPlus ToolGuide схожи, и погрешность составляет менее 20%. Различия сформированы тем, что материал, главный угол в плане пластины Sandvik Coromant создан исключительно для обработки сталей с твёрдостью поверхности до 200 НВ, в отличие от справочников, где режимы можно было подобрать в общем для сталей с приблизительной твердостью материала.

Остальные режимы резания подберём таким же образом.

Полученные данные заносятся в таблицу 2.4.

Основное время рассчитывается по формуле (2.8):

$$T_0 = \frac{L}{n_d \cdot S_{пр}} = \frac{48,86}{2336 \cdot 0,39} = 0,08 \text{ мин.} \quad (2.8)$$

Штучное время рассчитывается по формуле(2.9):

$$T_{шт} = T_0 + T_{всп} + T_{обсл} + T_{отд} \quad (2.9)$$

Основное время на остальных операциях рассчитаем программно, в Ecele и занесём в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Режимы резания и нормы времени для механической обработки

Объём партии, дет./год.:				5000														
Переход	Подвод, мм.	Врезание, мм.	Перебег, мм.	Длина обработки, мм.	Длина траектории, мм.	t, мм.	i, шт.	S, мм./мин.	S, мм. на зуб	S, мм./об.	n, об./мин.	V, м./мин.	Тпэ., мин.	Тото., мин.	Тв., мин.	То., мин.	Тшт., мин.	Тш.к., мин.
<b>010 Токарная (16K20)</b>																		
<b>Установ А</b>																		
Подрезать торец	2	0,85	1	50	53,85	1	1	-	-	0,4	700	198						0,031
Точить диаметр	2	1	0	16	19	1	1	-	-	0,25	633	179						0,008
												<b>Суммарно:</b>	10	0,2539	2,5	0,039	2,7929	2,7949
<b>Установ Б</b>																		
Подрезать торец	2	0,85		50	52,85	1	1	-	-	0,4	700	198						0,03
Точить диаметр	2	1		16	19	1	1	-	-	0,25	633	179						0,008
												<b>Суммарно:</b>	10	0,2538	2,5	0,038	2,7918	2,7938

Объем партии, дет./год.:				5000															
Переход	Подвод, мм.	Врезание, мм.	Перебег, мм.	Длина обработки, мм.	Длина траектории, мм.	t, мм.	i, шт.	S, мм./мин.	S, мм. на зуб	S, мм./об.	n, об./мин.	V, м./мин.	Тпз., мин.	Тотол, мин.	Тв., мин.	То., мин.	Тшт., мин.	Тшк., мин.	
<b>015 Фрезерная (6P13)</b>																			
Установ А																			
Фрезеровать лыску	5	2	5	80	92	6	3	90	0,25	0,3	300	100					3,066		
													Суммарно:	10	0,5566	2,5	3,066	6,1226	6,1246
Установ Б																			
Фрезеровать лыску	5	2	5	80	92	6	3	90	0,25	0,3	300	100					3,066		
													Суммарно:	10	0,5566	2,5	3,066	6,1226	6,1246
<b>020 Токарная (16K20)</b>																			
Установ А (в приспособление для обеспечения угла под 3-ий вентиль)																			
Точить выемку под	1,5	1	2	36	40,5	1	6	-	-	0,3	796	125					0,09		
Центровать	1	0,5	0	3	4,5	3	1	90	-	0,1	900	11					0,01		
Сверлить D15	1	0,5	0	17	18,5	4	5	25	-	0,1	255	12					0,25		
Расточить отв., +	0,9	0,5	0	17	18,4	1	1	733	-	0,19	3860	194					0,5		
Нарезать резьбу	1	0,5	1	11	13,5	0,15	10	-	-	1,5	2190	150					1,3		
													Суммарно:	30	2,215	20	2,15	24,365	24,371
Установ Б (Осевая группа отверстий, аналогично установу А)																			
													Суммарно:	30	2,215	20	2,15	24,365	24,371
Установ В (Осевая группа отверстий, аналогично установу Б)																			
													Суммарно:	30	2,215	20	2,15	24,365	24,371
<b>025 Фрезерная (6P13)</b>																			
Установ А																			
Фрезеровать	1	0,5	0	3	4,5	3	1	30	-	0,07	1500	71					0,15		
Фрезеровать	1	0,5	0	3	4,5	3	1	30	-	0,07	1500	71					0,15		
Центровать	1	0,2	0	0,5	1,7	0,5	1	90	-	0,1	900	11					0,08		
Центровать	1	0,2	0	0,5	1,7	0,5	1	90	-	0,1	900	11					0,08		
													Суммарно:	20	1,046	10	0,46	11,506	11,51
Установ Б																			
Центровать	1	0,2	0	2,5	3,7	0,5	1	90	-	0,1	900	11					0,01		
Центровать	1	0,2	0	2,5	3,7	0,5	1	90	-	0,1	900	11					0,01		
Центровать	1	0,2	0	2,5	3,7	0,5	1	90	-	0,1	900	11					0,01		
Центровать	1	0,2	0	2,5	3,7	0,5	1	90	-	0,1	900	11					0,01		
Сверлить отв. D11	1	0,3	2	30	33,3	5	7	42	-	0,1	370	12					1,1		
Сверлить отв. D11	1	0,3	2	30	33,3	5	7	42	-	0,1	370	12					1,1		
Сверлить отв. D11	1	0,3	2	30	33,3	5	7	42	-	0,1	370	12					1,1		
Сверлить отв. D11	1	0,3	2	30	33,3	5	7	42	-	0,1	370	12					1,1		
Фрезеровать	1	0,2	0	1,55	2,75	1,5	1	-	-	3	150	3					1,5		
Фрезеровать	1	0,2	0	1,55	2,75	1,5	1	-	-	3	150	3					1,5		
													Суммарно:	20	1,544	8	7,44	16,984	16,988
<b>030 Слесарная (2M112) ручная обработка</b>																			
Установ А																			
Сверлить отв. D3																		1,6	
													Суммарно:	10	0,41	2,5	1,6	4,51	4,512
Установ Б																			
Сверлить отв. D3																		1,6	
													Суммарно:	10	0,41	2,5	1,6	4,51	4,512
Установ В																			
Сверлить отв. D3																		1,6	
Сверлить отв. D3																		1,6	
													Суммарно:	10	0,57	2,5	3,2	6,27	6,272
Установ Г																			
Сверлить отв. D5																		2,1	
Фаска на отверстия																		0,5	
Нарезать резьбу М6																		1,5	
													Суммарно:	10	0,66	2,5	4,1	7,26	7,262

Суммарное штучное время полной обработки одной заготовки:

$$ΣT_{шт} = 141,96 \text{ мин.}$$

## 2.4 Разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе оборудования с ЧПУ

### 2.4.1 Выбор и обоснование способа получения исходной заготовки

Для ТП обработки детали на базе оборудования с ЧПУ используется заготовка, получаемая методом литья в оболочковые формы. При этом способе получения

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

заготовки значение коэффициента использования материала составляет 0,72, а доля материала, уходящего в стружку, равняется 30%.

Точность заготовки, получаемой литьём в оболочковые формы, выше, чем у заготовки полученной штамповкой.

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что данный метод получения заготовки является наиболее рациональным.

#### 2.4.2 Формирование операционно-маршрутной технологии

Первоначальный примерный маршрут проектного варианта №2 технологического процесса приведен в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Маршрутная технология проектного процесса №2

№	Название операций	Оборудование
000	Заготовительная операция	
005	Комплексная с ЧПУ	DMG CTX gamma 2000 TC
010	Фрезерная с ЧПУ	HAAS TM-1
015	Контрольная операция	

#### 2.4.3 Выбор технологического оборудования

Проектный вариант технологического процесса №2 разрабатывается с применением следующего технологического оборудования:

- токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG CTX gamma 2000 TC (рисунок 2.24), предназначен для выполнения разнообразных токарных и фрезерных работ: фрезерования, обтачивания и растачивания цилиндрических и конических поверхностей, нарезания наружных и внутренних резьбовых поверхностей, а также сверления, зенкерования, развертывания, и т.п.;
- фрезерный станок с ЧПУ HAAS TM-1 (рисунок 2.25), предназначен для выполнения фрезерных, сверлильных и расточных работ по чугуно, стали,

цветными металлам, некоторым видам пластмасс и др. Допускает обработку поверхностей, расположенных в вертикальной и горизонтальной плоскостях, под углами до 45 градусов, в пазах и криволинейных элементах профиля при помощи фрез.



Рисунок 2.24 – Токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG CTX gamma 2000 TC

Технические характеристики токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG CTX gamma 2000 TC:

- шпиндель compact MASTER – к рутящий момент 220 Нм (увеличение на 120 %), уменьшение длины на 70 мм;
- ход по оси X – 800 мм и ход по оси Y – 420 мм для максимальной гибкости при радиальной обработке;
- инструменты длиной 550 мм для горизонтального сверления или точения деталей длиной до 550 мм (на станке CTX gamma 1250 TC до 340 мм);
- 6-сторонняя комплексная обработка, главный шпиндель до 4 000 Нм и контр шпиндель\* до 2 200 Нм, диаметр, зажимаемый в патроне до 630 мм;
- токарная обработка в серийном производстве с осью B и нижней 12-позиционной револьверной головкой\* (возможность установки до 12 приводных инструментов).



Рисунок 2.25 – Фрезерный станок с ЧПУ HAAS TM-1

Технические характеристики фрезерного станка с ЧПУ HAAS TM-1:

- макс. перемещение по оси X, 762 мм;
- макс. перемещение по оси Y, 305 мм;
- макс. перемещение по оси Z, 406 мм;
- максимальное расстояние от стола до торца шпинделя, 508 мм;
- минимальное расстояние от стола до торца шпинделя, 102 мм;
- длина стола, 1213 мм;
- ширина стола, 267 мм;
- макс. нагрузка на стол (равном. распределенная), 454 кг;
- ширина T-образных пазов, 16 мм;
- расстояние между T-образными пазами, 101,6 мм;
- размер конуса шпинделя 40;
- максимальная частота вращения шпинделя, 4000 об/мин;
- макс. мощность шпинделя, 5,6 кВт;
- макс. крутящий момент, 45 Нм;
- макс. осевое усилие, 8,9 кН;
- макс. скорость холостых подач, 5,1 м/мин;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

– макс. рабочие подачи по осям XYZ, 5,1 м/мин.

#### 2.4.4 Разработка операционного ТП

На основе разработанного маршрутного технологического процесса с учётом выбранного технологического оборудования разрабатывается операционный технологический процесс. Определяются схемы базирования и закрепления заготовки, последовательность обработки поверхностей и технологические переходы, выбираются приспособления, режущий и мерительный инструмент, назначаются режимы резания и рассчитываются нормы времени, назначаются проектные операционные допуски и рассчитываются номиналы операционных размеров.

Типовой технологический процесс обработки детали типа «Корпус трёх вентильного блока» в виде операционных эскизов для проектного варианта №2 выглядит следующим образом:

000 Заготовительная операция (рисунок 2.26).

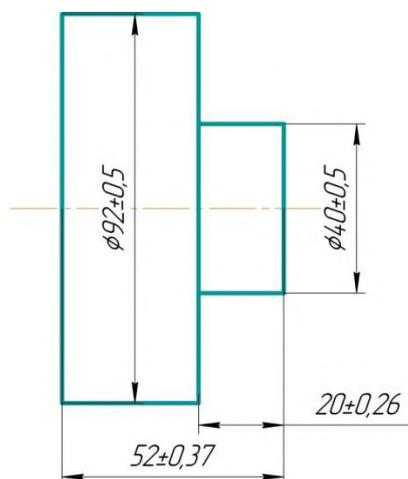


Рисунок 2.26 – 000 Заготовительная операция

005 Комплексная операция (1 установ) (рисунок 2.27) на данной операции установка заготовки осуществляется в трёх кулачковый патрон с упором по торцу, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

- переход 1 – подрезать торец в размер «1»;
- переход 2 – точить поверхность, выдерживая размеры «2», «3».

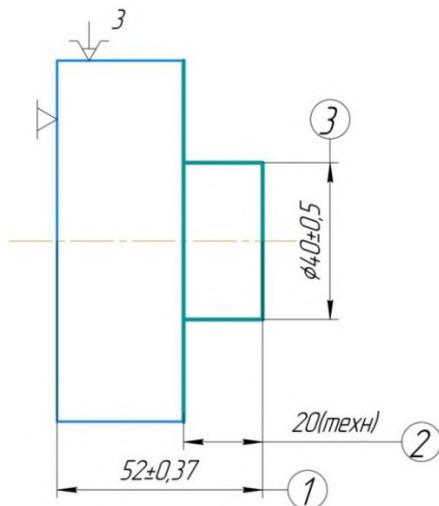


Рисунок 2.27 – 005 Токарная операция (1 установ)

005 Комплексная операция (установ 2) (рисунок 2.29) на данной операции установка заготовки осуществляется при помощи контр шпинделя, в трёх кулачковый патрон по ранее обработанной поверхности с упором по торцу, обрабатываются все выточки, отверстия, резьбы с одной стороны корпуса.

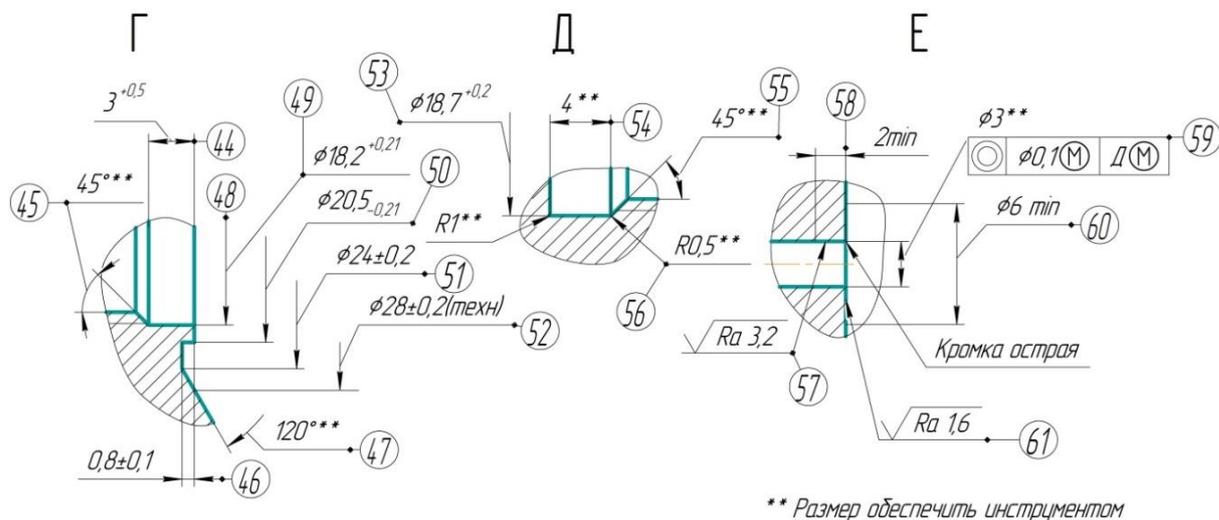


Рисунок 2.28 – 010 Комплексная операция (2 установ)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

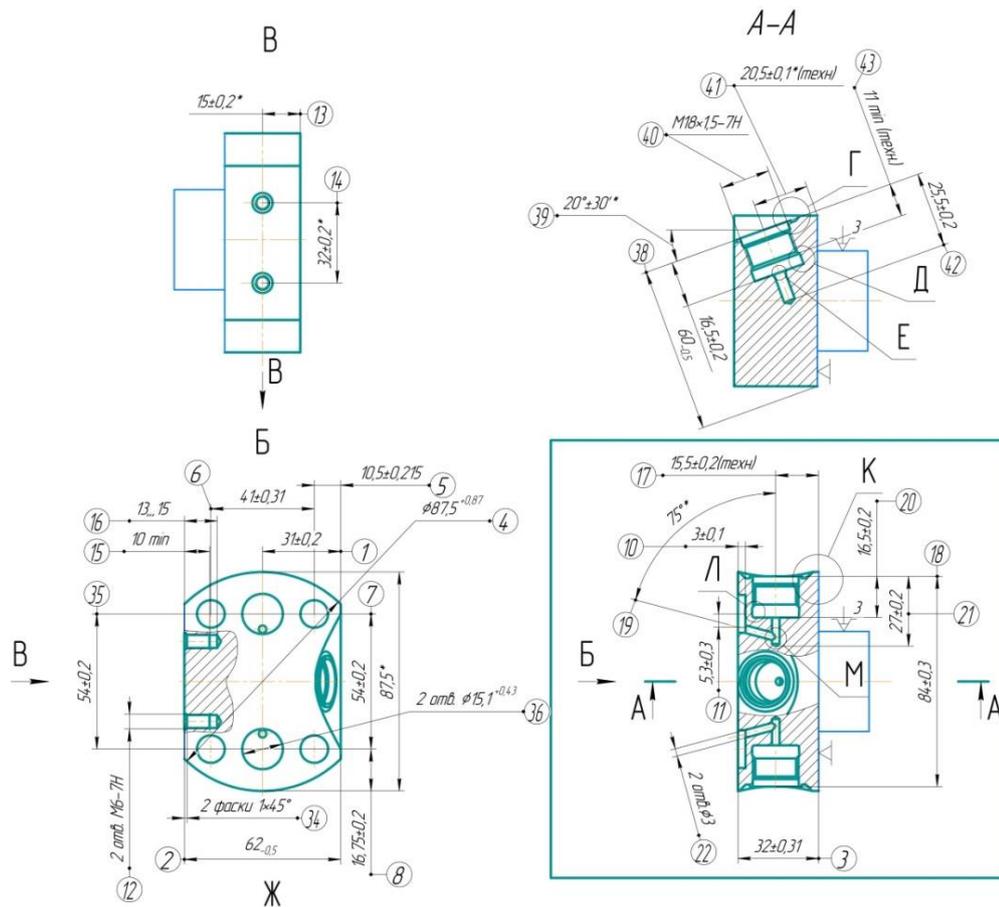


Рисунок – 010 Комплексная операция (2 установ)

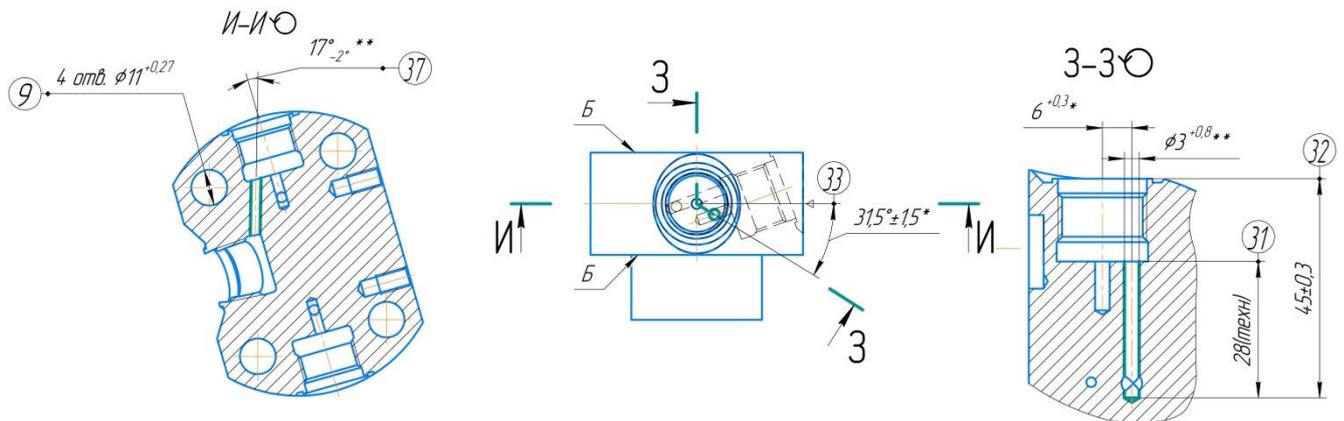


Рисунок – 010 Комплексная операция (2 установ)

010 Фрезерная операция с ЧПУ (рисунок 2.29) на данной операции установка заготовки осуществляется в тиски с упором в неподвижную губку тисков и

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

прижимом подвижной, обработка ведётся по переходам в следующей последовательности:

- переход 1 – установить и закрепить заготовку;
- переход 2 – фрезеровать поверхность, выдерживая размер «1»;
- переход 3 – центровать 4 отверстия выдерживая размеры «2, 3, 4, 5»; центровать 2 отверстия выдерживая размеры «4, 5, 6»
- переход 4 – сверлить 4 отверстия  $\varnothing$  «7», сохраняя размеры «2, 3, 4, 5»;
- переход 5 – фрезеровать 2 канавки, выдерживая размеры «8, 9, 10», сохраняя размеры «1, 4, 5, 6»;
- переход 6 – сверлить 2 отверстия «11», сохраняя размеры «1, 4, 5, 6»;
- переход 7 – притупить острые кромки фаской;

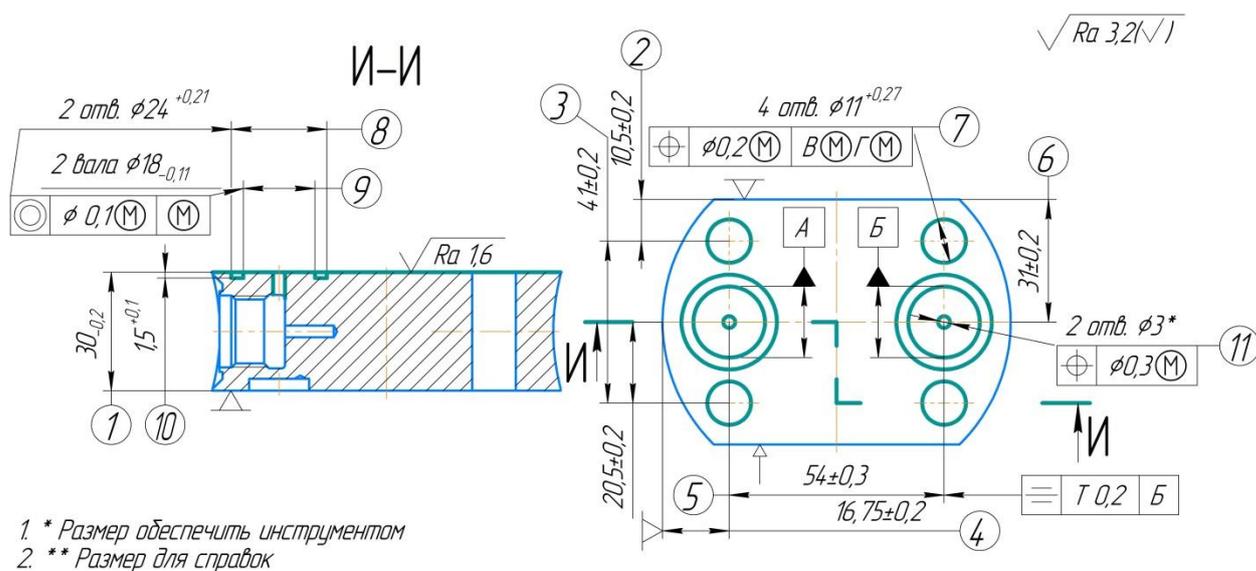


Рисунок 2.29 – 010 Фрезерная операция с ЧПУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

#### 2.4.5 Аналитический обзор и выбор технологической оснастки и режущего инструмента

При разработке технологии изготовления детали типа «Корпус блока вентильного» выбор режущего инструмента, его конструкции и размеров в большей мере зависит от методов обработки, свойств обрабатываемого материала, требуемой точности обработки и качества обрабатываемой поверхности заготовки.

При выборе режущего инструмента необходимо стремиться к применению стандартного режущего инструмента, но, при необходимости, следует применять специальный, комбинированный, фасонный инструмент, позволяющий совмещать обработку нескольких сложных поверхностей.

Если технологические особенности детали позволяют применить высокие скорости резания, то следует применять высокопроизводительные конструкции режущего инструмента, оснащенного твердым сплавом, так как практика показала, что это экономически выгодней, чем применение быстрорежущих инструментов. Особенно это распространяется на резцы (кроме фасонных, малой ширины, автоматных), фрезы, зенкеры, конструкции которых оснащены твердым сплавом.

Особенно это распространяется на резцы, фрезы, зенкеры, конструкции которых оснащены твердым сплавом.

На рисунке 2.30 представлены обрабатываемые поверхности на 010 Комплексной операции с ЧПУ (Установ А).

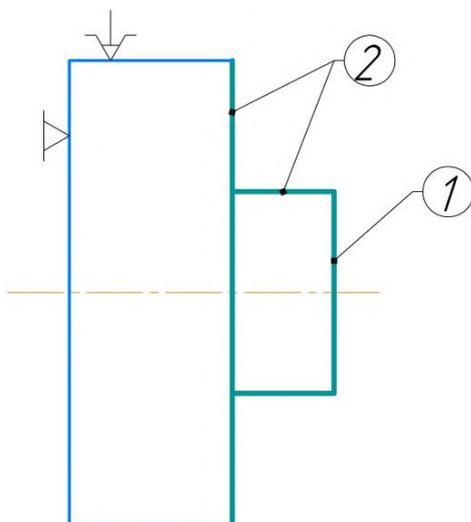


Рисунок 2.30 – Обрабатываемые поверхности на 010 Комплексной операции с ЧПУ

На 010 Комплексной операции с ЧПУ (установ А) для обработки поверхности 1 примем державку Sandvik Coromant DSSNR 2020К 12 (Рисунок 2.31), пластину Sandvik Coromant SNMG 12 04 16-ММ 2220 (Рисунок 2.32), марка используемого сплава GC2220.

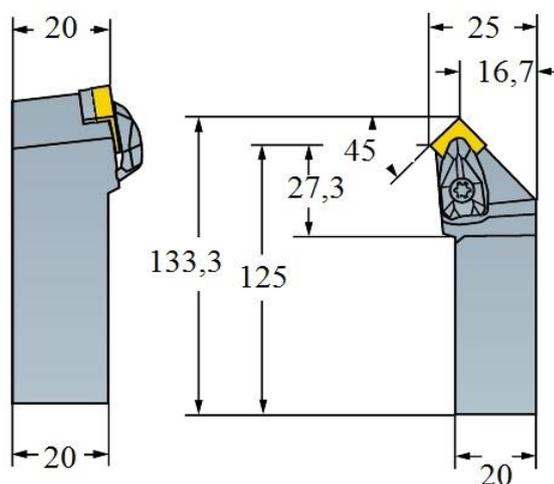


Рисунок 2.31 – Державка Sandvik Coromant DSSNR 2020К 12

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

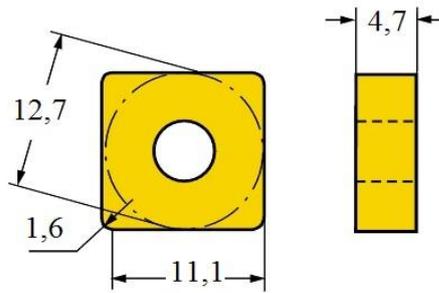


Рисунок 2.32 – Пластина Sandvik Coromant SNMG 12 04 16-MM 2220

Для обработки поверхностей 2 примем державку Sandvik Coromant CP-25BR-2020-11 (Рисунок 2.33), пластину Sandvik Coromant CP-B1108-M5W 2025 (Рисунок 2.34), марка используемого сплава GC2220.

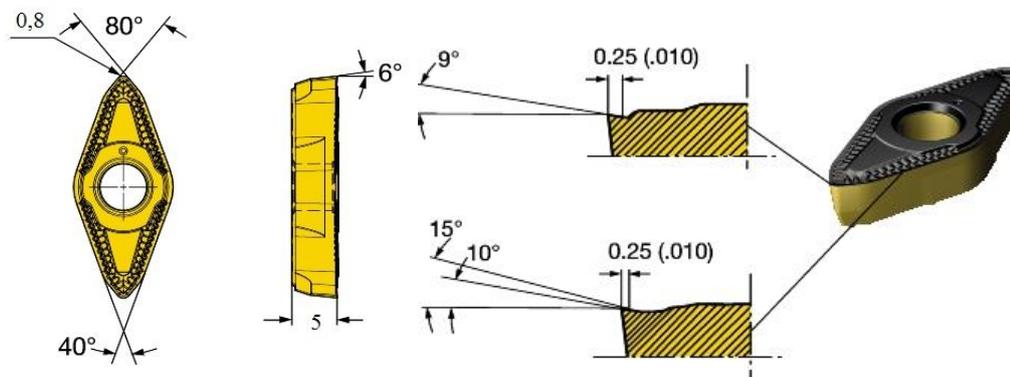


Рисунок 2.34 – Пластина Sandvik Coromant CP-B1108-M5W 2025

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

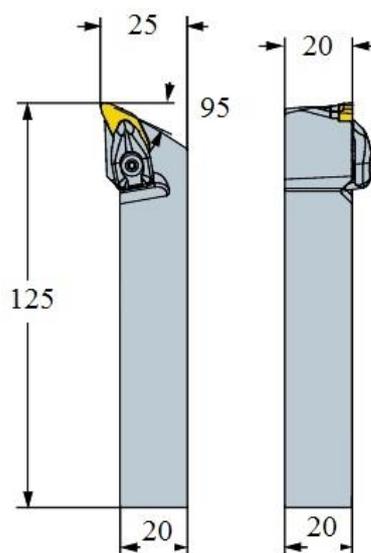


Рисунок 2.33 – Державка Sandvik Coromant DSSNR 2020K 12

На рисунке 2.35 представлены обрабатываемые поверхности на 010 Комплексной операции с ЧПУ (Установ Б).

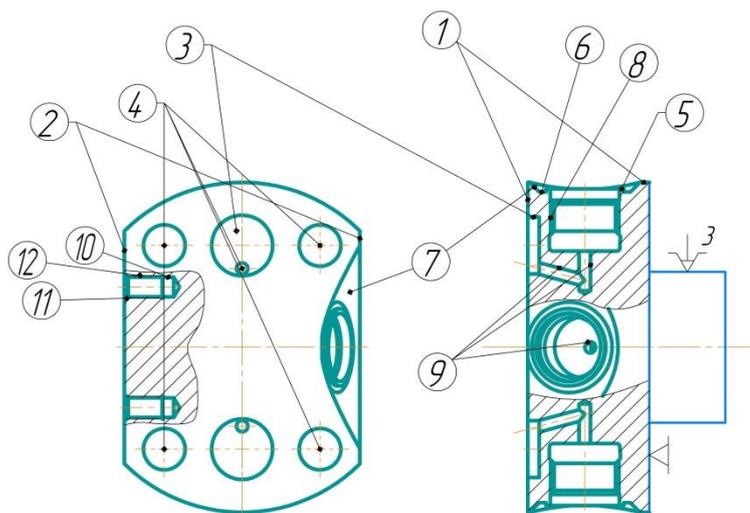


Рисунок 2.35 – Обрабатываемые поверхности на 010 Комплексной операции с ЧПУ (установ Б)

На 010 Комплексной операции с ЧПУ – Установ Б (рисунок ) для обработки поверхности 1 примем державку Sandvik Coromant DSSNR 2020K 12 (Рисунок 2.33), пластину Sandvik Coromant SNMG 12 04 16-ММ 2220 (Рисунок 2.34), марка используемого сплава GC2220.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для обработки поверхностей 2, 5 примем цельнотвердосплавную концевую фрезу CoroMill Pluga для чистовой обработки R215.38-20050-AC38L 1620 (рисунок 2.36).

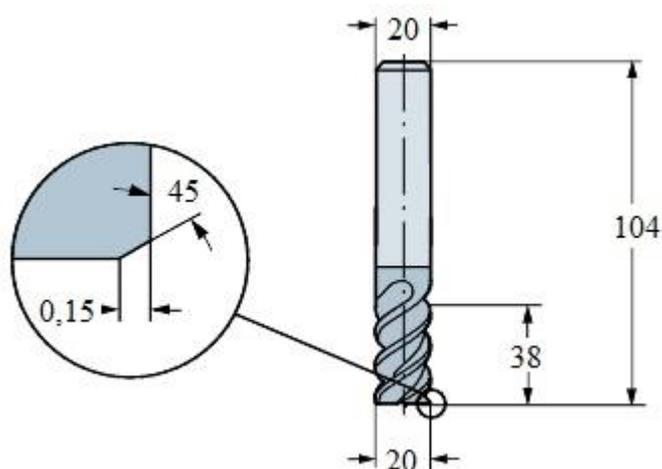


Рисунок 2.36 – Цельнотвердосплавная концевая фреза CoroMill Pluga для чистовой обработки R215.38-20050-AC38L 1620

Для обработки поверхности 3 методом винтовой интерполяции примем цельнотвердосплавную концевую фрезу CoroMill Pluga для чистовой обработки 1P360-1270-ХА 1620 (рисунок 2.37).

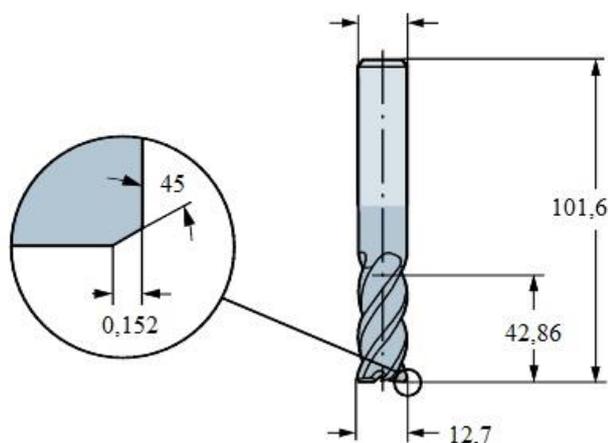


Рисунок 2.37 – Цельнотвердосплавная концевая фреза CoroMill Pluga для чистовой обработки 1P360-1270-ХА 1620

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Для обработки поверхностей 4 примем центровку диаметром 3,15.

Следом для обработки отв. диаметром 11 примем сверло Sandvik Coromant 870-1100-8L16-3 (рисунок 2.38) со сменной головкой 870-1100-8-ММ 2334 (рисунок 2.39).

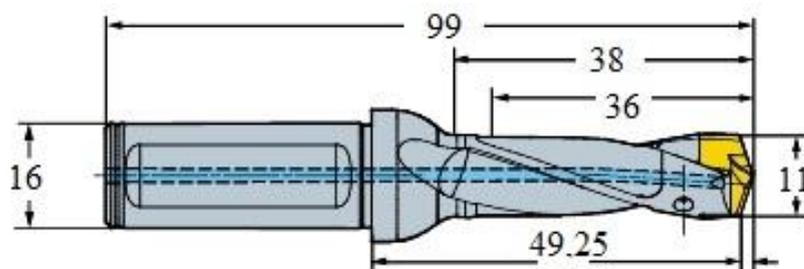


Рисунок 2.38 – Сверло Sandvik Coromant 870-1100-8L16-3

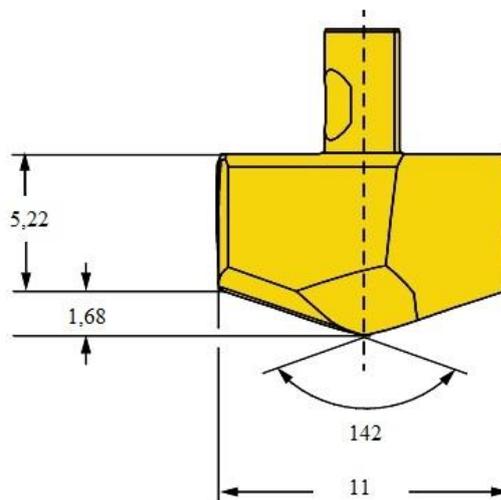


Рисунок 2.39 – Сменная головка 870-1100-8-ММ 2334

Для обработки поверхности 6 методом винтовой интерполяции примем цельнотвердосплавную концевую фрезу CoroMill Plug для чистовой обработки 1P222-0200-ХА 1630 (рисунок 2.40).

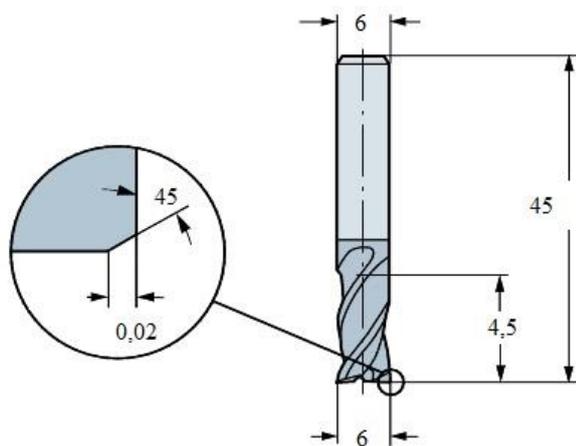


Рисунок 2.40 – Цельнотвердосплавная концевая фреза CoroMill Plura для чистовой обработки 1P222-0200-ХА 1630

Для обработки поверхности 7 примем Цельнотвердосплавная головка CoroMill 316 для профильной обработки А316-25ВМ440-100СГ 1730 (рисунок 2.41). С переходником от цилиндрического хвостовика к Coromant EN EN25-A24.7-SS-135 (рисунок 2.42).

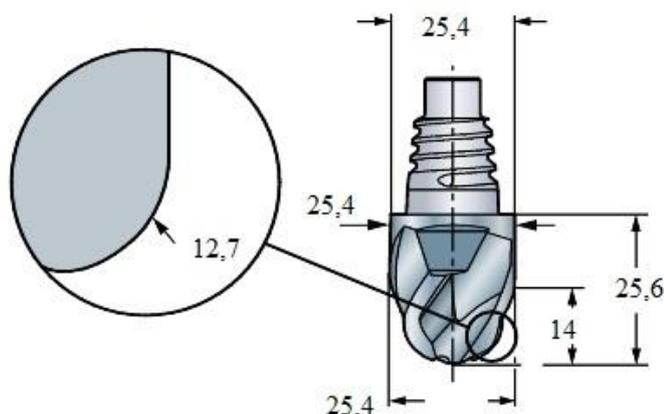


Рисунок 2.41 – Цельнотвердосплавная головка CoroMill 316 для профильной обработки А316-25ВМ440-100СГ 1730

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

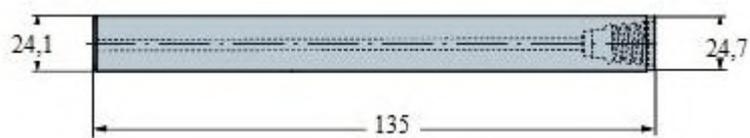


Рисунок 2.42 – Переходником от цилиндрического хвостовика к Coromant EN  
EN25-A24.7-SS-135

Для обработки отверстия под вентиль, сначала необходимо центровать, для этого используем центровку D3,15, затем сверлить сверлом D15 на глубину 16 Sandvik Coromant 870-1100-8L16-3 со сменной головкой 870-1100-8-ММ 2334.

Расфрезеровать отверстие под резьбу для этого используем концевую фрезу CoroMill Plura для чистовой обработки 1P360-1270-ХА 1620 (рисунок 2.37).

Для обработки поверхности 8, примем цельную твердосплавную концевую фрезу CoroMill 326 для нарезания резьбы (рисунок 2.43).

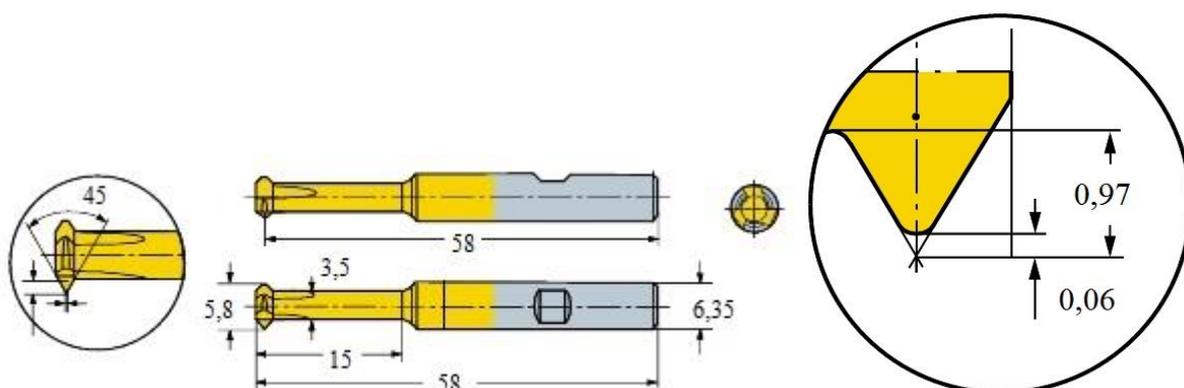


Рисунок 2.43 – Концевая фреза CoroMill Plura для чистовой обработки 1P360-  
1270-ХА 1620

Для обработки группы отверстий 9 примем твердосплавное сверло CoroDrill 861 861.1-0300-060A1-GM GC34 (рисунок 2.44).

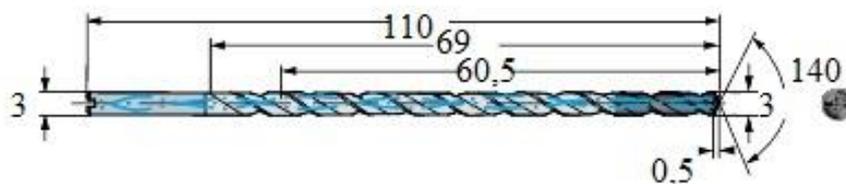


Рисунок 2.44 – Твердосплавное сверло CoroDrill 861 861.1-0300-060A1-GM GC34

Для обработки поверхности 10 примем твердосплавное сверло CoroDrill 860.1-0500-025A1-GM X1BM (рисунок 2.45).

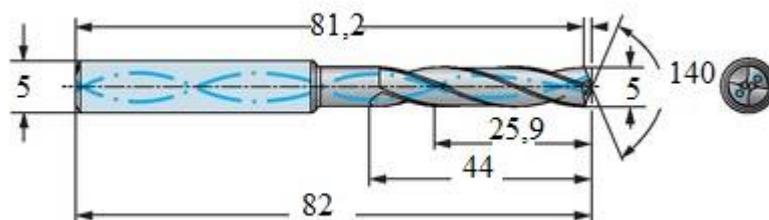


Рисунок 2.45 – Твердосплавное сверло CoroDrill 860.1-0500-025A1-GM X1BM

Для обработки фаски 11 примем твердосплавную зенковку.

Для обработки поверхности 12, примем метчик со спиральными стружечными канавками CoroTap 300 E404M6 (рисунок 2.46).

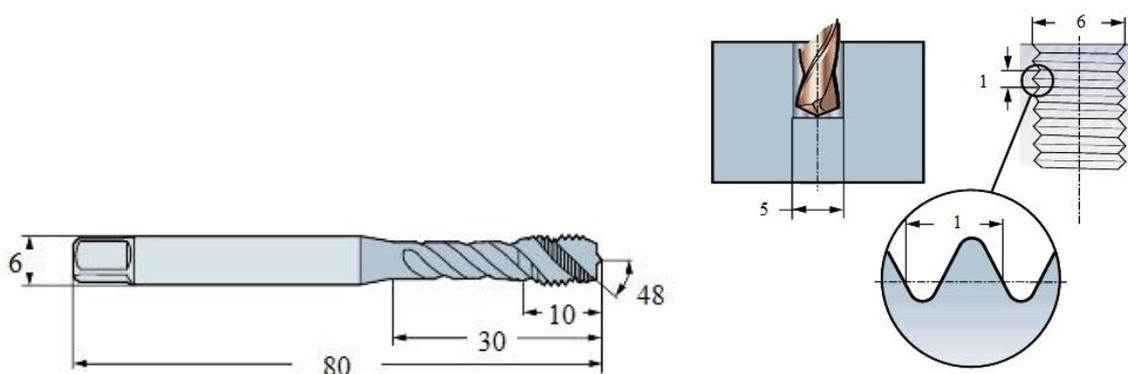


Рисунок 2.46 – Метчик со спиральными стружечными канавками CoroTap 300 E404M6

На рисунке 2.47 представлены обрабатываемые поверхности на 015 Фрезерной операции с ЧПУ.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

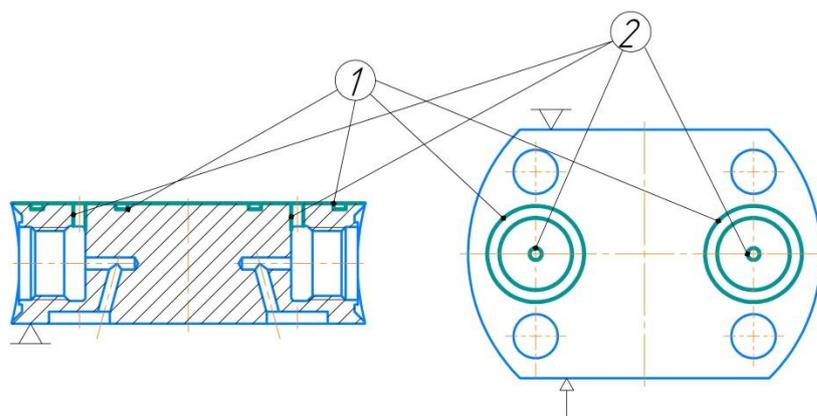


Рисунок 2.47 – Обрабатываемые поверхности на 015 Фрезерной операции с ЧПУ

Для обработки поверхности 1, примем торцевую фрезу CoroMill 245 R245-080A32-12M (рисунок).

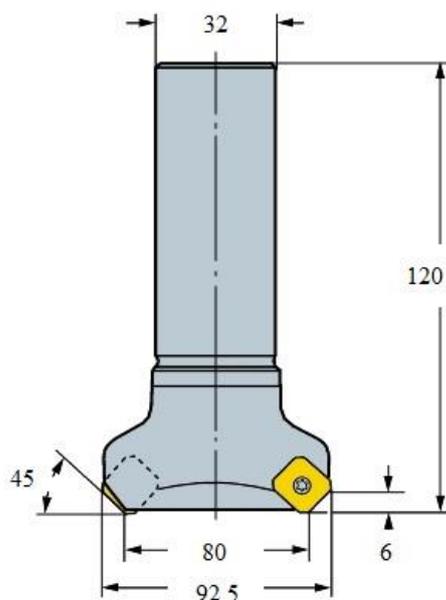


Рисунок 2.47 – Торцевая фреза CoroMill 245 R245-080A32-12M

Для обработки поверхности 2, для предварительной обработки примем центровку D3,15, затем сверло D3 (рисунок 2.44).

Для обработки поверхности 3, примем специально спроектированную фрезу.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

## 2.4.6 Расчёт режимов резания и норм времени на все операции ТП на базе оборудования с ЧПУ

Аналогичным образом, использованным в пункте 2.3.6, назначим режимы резания и произведем расчёт норм времени время для технологического процесса изготовления детали «Корпус блока вентиляного» на базе оборудования с ЧПУ. Назначение режимов резания и расчет норм времени занесём в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 – Режимы резания и нормы времени для механической обработки

Объём партии, дет./год.:				5000															
Переход	Подвод, мм.	Врезание, мм.	Перебег, мм.	Длина обработки, мм.	Длина траектории, мм.	t, мм.	i, шт.	S, мм./мин.	S, мм. на зуб	S, мм./об.	n, об./мин.	V, м./мин.	Тпз., мин.	Тот., мин	Тв., мин.	Тмв., мин.	То., мин.	Тшт., мин	Тш.к., мин
<b>010 Комплексная (Токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG CTX gamma 2000 TC)</b>																			
<b>Установ А</b>																			
Подрезать торец	2	0,85	1	50	53,85	1	1	1	-	0,4	700	198							0,031
Точить диаметр	2	1	0	16	19	1	1	1	-	0,25	633	179							0,008
<b>Суммарно:</b>													10	0,6039	2,5	3,5	0,039	6,6429	6,6449
<b>Установ Б</b>																			
Подрезать торец	2	0,85	1	50	53,85	1	1	-	-	0,4	700	198							0,031
Точить диаметр	2	1	0	16	19	1	1	-	-	0,25	633	179							0,008
Фрезеровать лыски	2	1	10	70	83	3	6	412	-	0,128	3119	196							2,417
Фрезеровать колодцы	2	1	0	3	6	3	1	412	-	0,1	2112	100							0,029
Центровать 6 отв.	1	0,5	0	2	3,5	2	1	-	-	0,1	900	10							0,1
Сверлить 4 отв. D11	1	0,5	3	34	38,5	7	5	-	-	0,2	579	20							0,266
Фрезеровать колодец 3 места	1	0,5	0	15,1	16,6	15,1	1	400	-	0,1	1500	100							0,249
Фрезеровать канавку 3 места	1	0,5	0	0,8	2,3	0,8	4	400	-	0,1	3000	50							0,138
Фрезеровать фасонную поверхность 3 места	1	0,5	0	12,5	14	12,5	5	398	-	0,1	3979	125							1,055
Центровать 3 места	1	0,5	0	2	3,5	2	1	-	-	0,1	900	10							0,1
Сверлить D15 (3 места)	1	0,2	0	17	18,2	4	5	-	-	0,156	1273	60							0,033
Расфрезеровать 3 места под резьбу	1	0,5	0	15,1	16,6	15,1	1	400	-	0,1	1500	100							0,249
Резьбофрезеровать (3 места)	1	0,1	0,5	11	12,6	11	1	-	0,0546	0,2	5889	185							0,3
Сверлить 7 отв. D3	1	0,2	0,5	10	11,7	2,5	4	-	-	0,1	1061	10							0,12
Сверлить 2 отв. D5	1	0,2	0	15	16,2	5	3			0,1	800	10							0,06
Фаска под резьбу М6 2 места	1	0,2	0	5	6,2	5	1			0,1	800	10							0,01
Нарезание резьбы М6 2 места	1	0,5	0	10	11,5	10	1	605	-	1	605	11,4							0,05
<b>Суммарно:</b>													60	1,5816	2,5	8,1	5,216	17,398	17,4099
<b>015 Фрезерная (Фрезерный станок с ЧПУ HAAS TM-1)</b>																			
Фрезеровать плоскость	1	0,5	2	80	83,5	22	5	333	0,05	0,3	1110	279							6,269
Фрезеровать канавку (спец. РИ)	0,5	0,2	0	1,5	2,2	1,5	1	3	-	-	150	10							0,733
Центровать 2 отв.	1	0,5	0	2	3,5	2	1	-	-	0,1	900	10							0,1
Сверлить 2 отв. D3	1	0,2	0,5	10	11,7	2,5	4	-	-	0,1	1061	10							0,03
<b>Суммарно:</b>													40	1,3532	2,5	3,9	7,132	14,885	14,8933

Суммарное штучное время полной обработки одной заготовки:

$$\Sigma T_{ш} = 38,94 \text{ мин.}$$

## 2.5 Размерно-точностной анализ проектных вариантов ТП

С целью расчета припусков, замыкающих звеньев и возможности выявления и устранения брака при отрицательных припусках проведем проверочный размерный анализ технологического процесса.

Размерный анализ решает более широкий круг задач и кроме расчета операционных цепей, охватывает очень широкий комплекс технологических расчетов.

При составлении размерной цепи для анализа выявлено два замыкающих звена, проверим их выполняемость по методу полной взаимозаменяемости:

Для проверки выполняемости замыкающих звеньев и расчета припусков на обработку проведем размерный анализ технологического процесса обработки детали «Корпус вентильного блока». Для этого изобразим размерную цепь с нанесенными на нее конструкторскими и технологическими размерами (рисунок 2.48). В данном разделе произведём размерно-точностной анализ на 005, 010, 035, 040 операциях.

Размер (16...47) найдём через припуск, получаемый на операции (2.10).

$$[47...46] = - (46...16) + (16...46) \quad (2.10)$$
$$- 30_{-0,2} + A \pm 0.5$$

Величина припуска определяется суммой шероховатости Rz и дефектного слоя Df от предыдущей операции без середины поля допуска  $\Delta W$ .

$$Z_H = Rz + Df - \Delta W \quad (2.11)$$

Rz и Df выбираются по таблице

$\Delta W$  по формуле

$$Z_H = 0.07 + \frac{0.2+1}{2} - (0 + (-0,1)) = 0,77 \quad (2.12)$$

Подставив значение припуска в уравнение номиналов, получим неизвестный размер.

$$0,77 = -30 + A \quad (2.12)$$

$$A = 30,77 \pm 0.5 \quad (2.13)$$

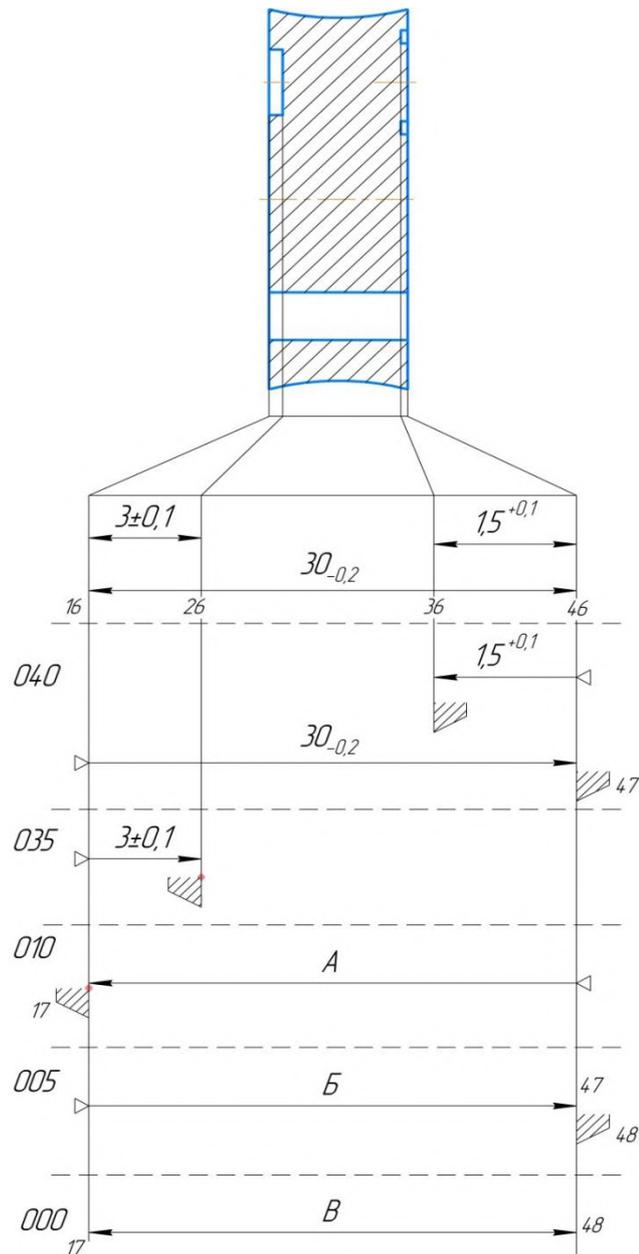


Рисунок 2.48 – Размерная цепь технологического процесса детали «Корпус вентильного блока»

Размер (16...47) найдём через припуск, получаемый на операции.

$$[17...16] = - (16...47) + (47...17) \quad (2.14)$$

$$-30,77 \pm 0,5 + B \pm 0,5$$

Величина припуска определяется суммой шероховатости  $Rz$  и дефектного слоя  $Df$  от предыдущей операции без середины поля допуска  $\Delta W$ .

$$Z_H = Rz + Df - \Delta W \quad (2.15)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Rz и Df выбираются по таблице

$\Delta W$  по формуле

$$Z_H = 0.07 + \frac{1+1}{2} - (0 + 0) = 1,07 \quad (2.16)$$

Подставив значение припуска в уравнение номиналов, получим неизвестный размер.

$$1,07 = -30,77 + B \quad (2.17)$$

$$B = 31,84 \pm 0.5 \quad (2.18)$$

Размер (17...48) найдём через припуск, получаемый на операции.

$$\begin{aligned} [48...47] &= - (47...17) + (17...48) \\ &= -31,84 \pm 0,5 + B \pm 0.5 \end{aligned} \quad (2.19)$$

Величина припуска определяется суммой шероховатости Rz и дефектного слоя Df от предыдущей операции без середины поля допуска  $\Delta W$ .

$$Z_H = Rz + Df - \Delta W \quad (2.20)$$

Rz и Df выбираются по таблице

$\Delta W$  по формуле

$$Z_H = 0.07 + \frac{1+1}{2} - (0 + 0) = 1,07 \quad (2.21)$$

Подставив значение припуска в уравнение номиналов, получим неизвестный размер.

$$1,07 = -31,84 + B \quad (2.22)$$

$$B = 32,91 \pm 0.5 \quad (2.23)$$

Выводы по второму разделу ВКР

- в проектируемом производстве деталью представителем является деталь типа «Корпус блока вентильного», которая является базирующей деталью сборочного узла датчика разности давления;
- деталь имеет простую форму, все поверхности легкодоступны за исключением обработки кольцевой канавки, характеристика параметров

оценки показывает, что данная деталь в целом технологична в серийном производстве;

- ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе универсального оборудования, характеризуется частичной концентрацией переходов на операциях, и для его реализации задействовано большое количество единиц оборудования;
- разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе оборудования с ЧПУ, позволяет обработать заготовку с полной концентрацией переходов на операциях, в результате чего, изготовление детали осуществляется на 2-х станках;
- размерный анализ показал, что технологический процесс детали «Корпус блока вентильного» обеспечивает выполняемость всех замыкающих звеньев, и все назначенные припуски гарантируют срезание минимально необходимого объема металла.

### 3 КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

#### 3.1 Проектирование станочного приспособления

##### 3.1.1 Анализ технологической операции

Требуется спроектировать станочное приспособление для выполнения операции торцевого фрезерования в соответствии с операционным эскизом, отображенным на рисунке 3.1.

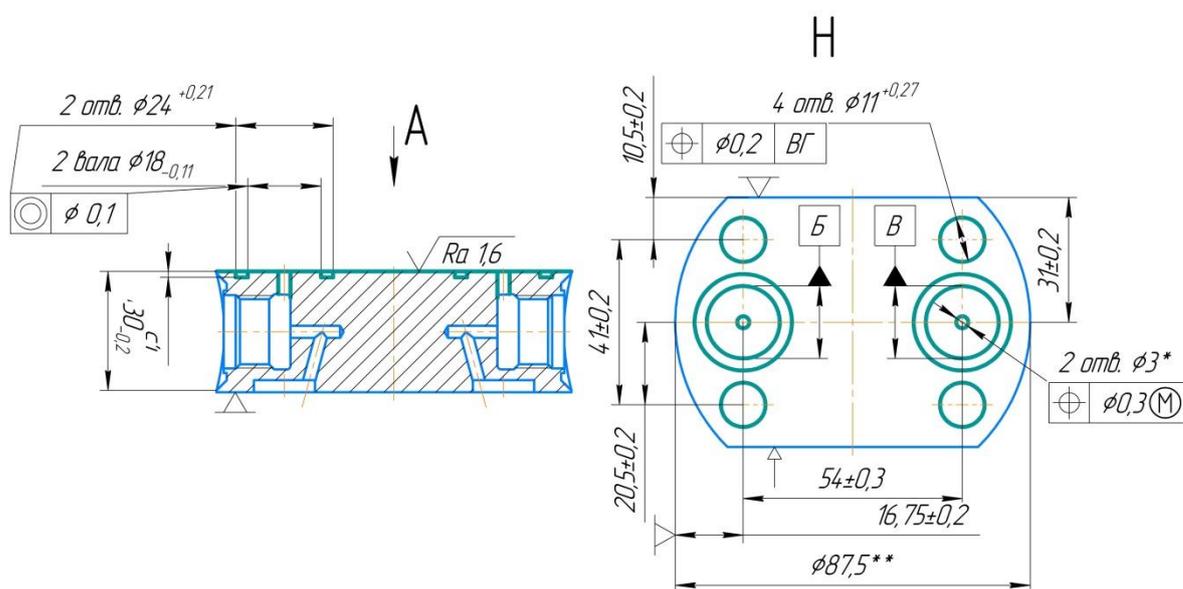


Рисунок 3.1 – Операционный эскиз рассматриваемой операции

Деталь изготовлена из материала Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72. На данной операции, при фрезеровании должны быть выдержаны размеры  $30_{-0,2}$ .

Обработка осуществляется торцевой фрезой CoroMill 245 RA245-127R38-18H (рисунок 3.2) с использованием пластины CoroMill 245 R245-12 T3 E-PL 4330 (рисунок 3.3).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

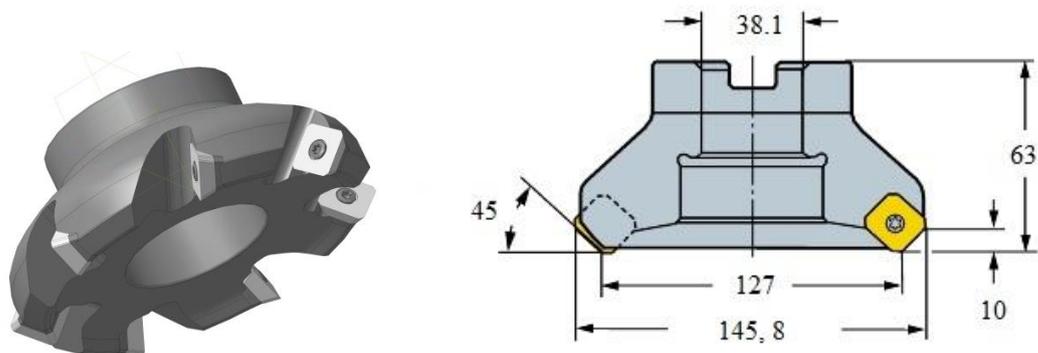


Рисунок 3.2 – Торцевая фреза CoroMill 245 RA245-127R38-18H

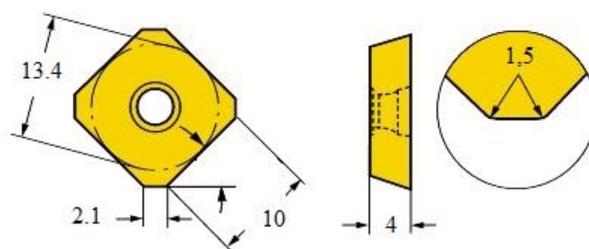


Рисунок 3.3 – Пластина CoroMill 245 R245-12 T3 E-PL 4330

Обработка проводится на фрезерном станке с ЧПУ HAAS TM-1 (рисунок 3.4). Стол станка имеет размеры 800x1400 мм и оснащен 6-ю Т-образными пазами, расположенными на расстоянии 150 мм для установки приспособления.



Рисунок 3.4 – Фрезерный станок с ЧПУ HAAS TM-1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- макс. перемещение по оси X, 762 мм;
- макс. перемещение по оси Y, 305 мм;
- макс. перемещение по оси Z, 406 мм;
- максимальное расстояние от стола до торца шпинделя, 508 мм;
- минимальное расстояние от стола до торца шпинделя, 102 мм;
- длина стола, 1213 мм;
- ширина стола, 267 мм;
- макс. нагрузка на стол (равном. распределенная), 454 кг;
- ширина T-образных пазов, 16 мм;
- расстояние между T-образными пазами, 101,6 мм;
- размер конуса шпинделя 40;
- максимальная частота вращения шпинделя, 4000 об/мин;
- макс. мощность шпинделя, 5,6 кВт;
- макс. крутящий момент, 45 Нм;
- макс. осевое усилие, 8,9 кН;
- макс. скорость холостых подач, 5,1 м/мин;
- макс. рабочие подачи по осям XYZ, 5,1 м/мин.

### 3.1.2 Описание работы приспособления

Разработка приспособления начинается с определения способа базирования. На столе фрезерного станка с ЧПУ HAAS TM-1 в операции 010 устанавливается приспособление – тиски пневматические (рисунок 3.5). Пластина неподвижной губки выполнена в виде плоской пластины, подвижной – в виде плоской пластины.

Пластины сменные, устанавливаются на пальцах и прикрепляются болтами, смена пластин – наилучший способ сохранить точность приспособления и практически исключить фактор износа при расчете приспособления на точность.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

На столе устанавливается опорная планка необходимой высоты. Предполагается, что деталь устанавливается между пластинами, положение которых настроено заранее. При зажиме заготовки происходит точное базирование. Таким образом, время, затрачиваемое на установку детали в приспособления, занимает секунды. В данном случае применение дорогостоящего станка с ЧПУ оправдывает себя. Кроме того, квалификация работающего и так называемый «человеческий фактор» не имеют никакого значения. Следовательно, точность обработки повышается. Зажимное устройство выполнено в виде поворотных пневматических тисков. Поворотные тиски – широкоуниверсальное оборудование, которое повсеместно применяется на станках сверлильно-фрезерно-расточной группы.

Конструкция тисков приведена на рисунке 3.4. Предварительная настройка тисков для свободной установки заготовки между губками выполняется при помощи винта 1 с левой и правой нарезками. Это позволяет базировать заготовки различной ширины, при этом требуется только заменить пластину неподвижной губки, которая изготавливается в соответствии с шириной заготовки. Заготовка закрепляется за счёт подачи воздуха в верхнюю полость пневмокамеры. При этом шток 10, перемещаясь вниз, поворачивает рычаг 9 по часовой стрелке, который перемещает толкатель 8 влево. Последний, упираясь в стенку полости подвижной губки 7, сдвигает её в направлении неподвижной губки 6. Пружина 11 предназначена для возвращения подвижной губки в исходное положение при раскреплении заготовки.

Конструкция данных тисков позволяет закреплять детали произвольной формы для осуществления комплексной фрезерной обработки. Такая универсальность достигается за счет использования сменных пластин губок.

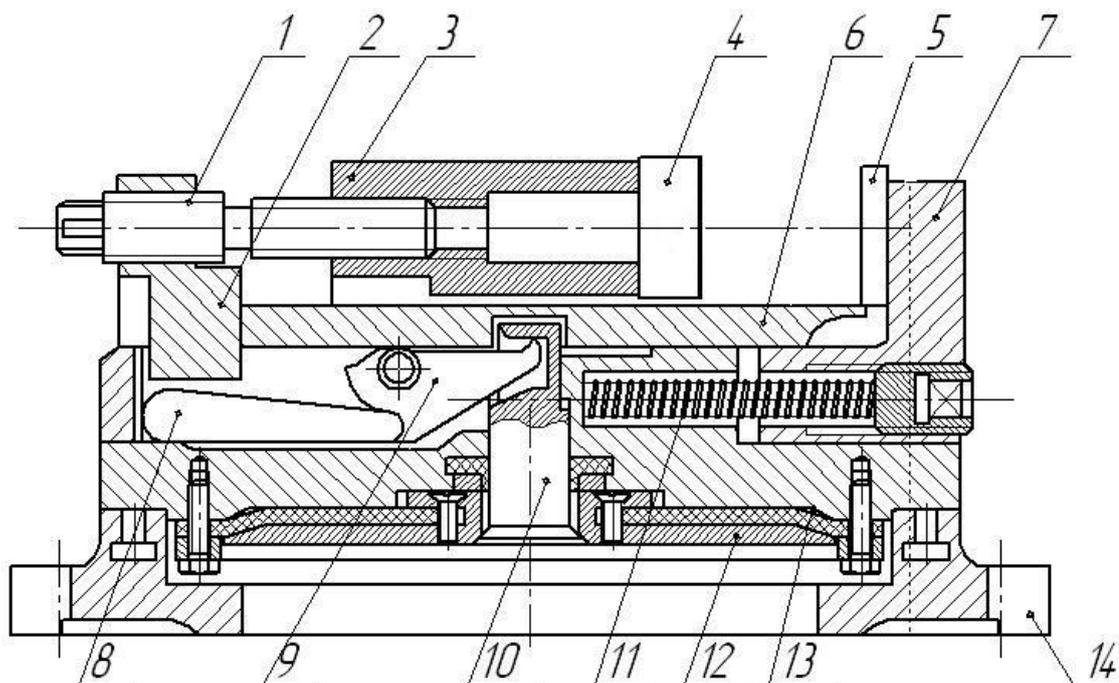


Рисунок 3.4 – Тиски пневматические механизированные: 1 – винт; 2, 3 – гайки; 4, 5 – пластины неподвижной и подвижной губок; 6 - неподвижная губка; 7 – подвижная губка; 8 – толкатель; 9 – рычаг; 10 – шток; 11 - пружина; 12 – диск; 13 – диафрагма пневмокамеры; 14 – основание

### 3.1.3 Силовой расчёт приспособления

#### 3.1.3.1 Расчёт силы зажима

Эффективность зажимного приспособления в значительной мере зависит от направления и места приложения силы. При выборе направления приложенной силы необходимо соблюдать приведенные ниже правила:

- силу зажима следует направлять перпендикулярно к плоскостям установочных элементов, чтобы обеспечить контакт с опорами базовых поверхностей и исключить при зажиме сдвиг заготовки;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- при базировании заготовки по нескольким базовым поверхностям сила зажима должна быть направлена к установочному элементу, с которым заготовка имеет наибольшую площадь контакта;
- направления силы тяжести и силы зажима заготовки должны совпадать (это облегчит работу зажимного устройства);
- направление силы зажима по возможности должно совпадать с направлением силы обработки.

На практике редко получается выбрать направление силы зажима, в соответствии со всеми вышеперечисленными правилами. Поэтому после анализа имеющихся вариантов следует принять наиболее оптимальное решение.

На рисунке 3.5 изображена схема действия сил при закреплении цилиндрической заготовки в призме. Сила резания стремится сдвинуть заготовку с установочных элементов. Крутящий момент при этом невелик, т.к. область фрезерования находится вблизи от места зажима. Поэтому в данном случае расчет ведется из условия действия силы резания, которая стремится сместить заготовку в продольном направлении.

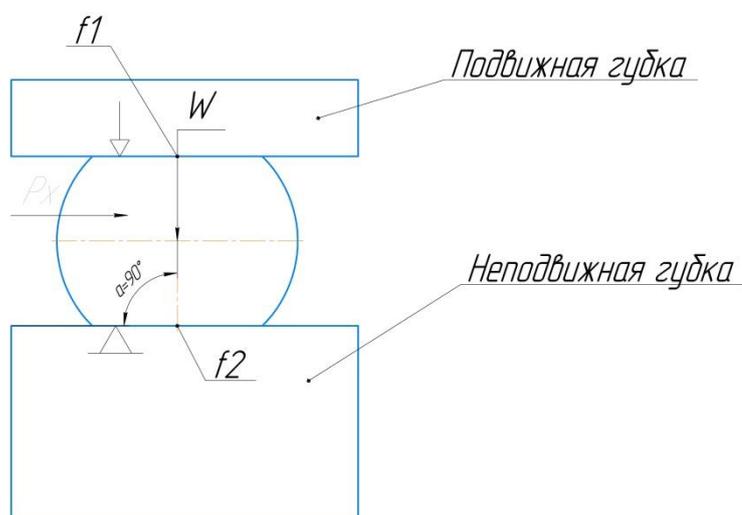


Рисунок 3.5 – Схема действия сил при закреплении заготовки

Определим требуемую силу зажима по [1, стр. 127 табл. 4.4].

$$W = \frac{kP}{f_1 + f_n}$$

где:  $k$  – коэффициент запаса.

Коэффициент  $k$  является произведением семи первичных коэффициентов ([1], стр.119):

$$k = k_0 k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_6$$

где:  $k_0$  – гарантированный коэффициент запаса;  $k_0 = 1,5$ .

$k_1$  – коэффициент, учитывающий возрастание сил обработки при затуплении инструмента: при торцевом фрезеровании  $k_1 = 1,7$ ;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий неравномерность сил резания из-за непостоянства, снимаемого при обработке припуска;  $k_2 = 1,2$  при полуступенчатой обработке;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий изменение сил обработки при прерывистом резании; при торцевом фрезеровании  $k_3 = 1,2$ ;

$k_4$  – коэффициент, учитывающий непостоянство развиваемых приводами сил зажима. Для пневматических зажимных устройств  $k_4 = 1,0$ ;

$k_5$  – коэффициент, учитывающий непостоянство развиваемых сил зажимных устройств точным приводом;  $k_5 = 1,0$ ;

$k_6$  – коэффициент, учитывающий неопределенность положения мест контакта заготовки с установочными элементами и изменение в связи с этим моментов трения, противодействующих повороту заготовки на базовой плоскости  $k_6 = 1,0$ ;

Получаем:

$$k = 1.5 \times 1.7 \times 1.2 \times 1.2 \times 1 \times 1 \times 1 = 3.6$$

$f_1, f_2$  – коэффициенты трения между контактирующими поверхностями заготовки и элементов приспособления. Для установочных элементов типа пластин  $f = 0,15$  ([1], табл. 4.2).  $f_n$  – приведенный коэффициент трения.

Рассчитывается из условия действия сил:

$$f_n = f_2 \times \frac{1}{\sin(\frac{\alpha}{2})} = 0.15 \frac{1}{\sin(45^\circ)} = 0.21$$

Произведём расчёт сил резания. Основой расчёта является нахождение силы  $P_z$ :

$$P_z = \frac{10C_p t^x B^n s_z^y z}{D^q n^w} * K_{mp}$$

Где:  $C_p$  – коэффициент определяемый эмпирически,

$t$  – глубина фрезерования,

$B$  – ширина фрезерования,

$s$  – подача,

$z$  – число зубьев фрезы,

$n$  – частота вращения фрезы об/мин,

$D$  – диаметр фрезы.

$x, y, q, w$  – коэффициенты определяемые эмпирически.

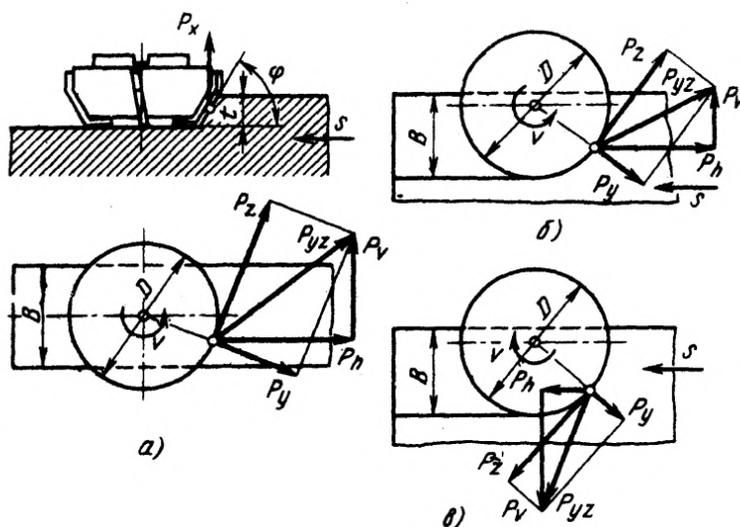


Рисунок 3.6 – Составляющие сил резания при торцевом фрезеровании: а) симметричном; б) несимметричном встречном; в) несимметричным попутном.

Составляющие сил резания при торцевом фрезеровании представлены на рисунке 3.7.

По таблицам в справочнике технолога машиностроителя находим

необходимые коэффициенты и получаем:

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 0,5^{0,9} \cdot 0,28^{0,74} \cdot 114 \cdot 8 \cdot 0,104}{125^{1,109^{0,2}}} = 643 \text{ Н}$$

Составляющие силы резания  $P_H$ ,  $P_v$  и  $P_0$  определим из соотношений:

$$P_H = 0,4 \cdot P_z = 257,2 \text{ Н};$$

$$P_v = 0,95 \cdot P_z = 610,85 \text{ Н};$$

$$P_x = 0,55 \cdot P_z = 353,65.$$

Наибольшее воздействие оказывает результирующая сила резания  $P_v$ . Таким образом, потребная сила зажима:

$$W = \frac{kP}{f_1 + f_2} = \frac{3,6 \cdot 610,85}{0,15 + 0,21} = 6108,5 \text{ Н}.$$

### 3.1.3.2 Расчёт необходимого усилия для получения заданной силы зажима

На рисунке 3.7 приведена схема действия сил в устройстве приспособления.

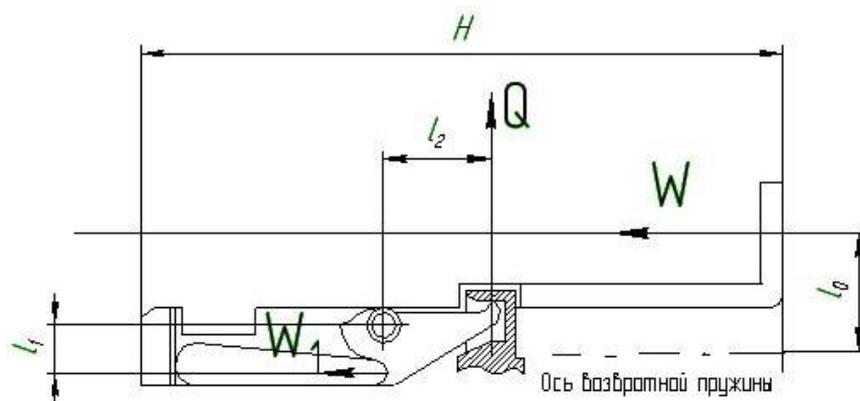


Рисунок 3.7 – Схема действия сил в приспособлении

Усилия, необходимого для получения заданной силы зажима ([4], стр. 256):

$$Q = W_1 \times \frac{l_1}{l_2} \times \frac{1}{n_1},$$

где:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \frac{3l_0}{H} \times f} + q,$$

В приведённых выше формулах:

$q$  – сопротивление пружины возврата зажимающей губки;  $q=100\text{Н}$ ;

$f$  – коэффициент трения на направляющей поверхности подвижной губки;  
 $f=0,15$  ([1], табл. 4.2)

$\eta$  – коэффициент, учитывающий потери от трения в кулачке, передающем усилие;  $\eta=0,9$ ;

Геометрические размеры находим из сборочного чертежа приспособления.

$H = 250\text{мм}$ ,

$L_0 = 70\text{мм}$ ,

$L_1 = 20\text{мм}$ ,

$L_2 = 45\text{мм}$ .

Находим:

$$W_1 = \frac{6108,5}{1 - \frac{3 \times 70}{250} \times 0,15} + 100 = 7090\text{Н},$$

Отсюда:

$$Q = 7090 \times \frac{20}{45} \times \frac{1}{0,9} = 3474,1\text{Н},$$

Для получения силы зажима  $W$  необходимо приложить усилие  $Q \approx 3474,1$ . Для того чтобы получить на штоке усилие  $Q$ , необходимо в полости пневмокамеры создать давление ([1], стр. 143):

$$p = \frac{4(Q + q)}{\pi(D^2 - d^2)\eta'}$$

где  $D$  – диаметр пневмокамеры;  $D=200$  мм;

$d$  – диаметр упорной шайбы;  $d = 140\text{мм}$ ;

$\eta$  – КПД (обычно  $\eta=0,85 \dots 0,95$ ); принимаем  $\eta=0,9$ .

Получаем:

$$p = \frac{4(3474,1 + 100)}{\pi \times (200^2 - 140^2) \times 0,9} = 0,25 \text{ МПа},$$

Таким образом, для получения необходимого усилия зажима  $W=3474,1\text{Н}$  необходимо в полости пневмокамеры создать давление  $p=0,2$  МПа. Данное значение является приемлемым для устройств подобного типа.

### 3.1.4 Расчёт приспособления на прочность

Расчет на прочность проводится в заключительной стадии разработки приспособления. В момент, когда известны силы, действующие при работе приспособления, геометрия и условия работы, необходимо провести проверочный расчет на прочность. По результатам данного расчет можно сделать вывод о работоспособности приспособления. Надежность работы приспособления выражается коэффициентом запаса. Однако, если коэффициент запаса имеет большое значение ( $K>5$ ), то можно сделать вывод о том, что приспособление спроектировано не точно, происходит перерасход металла, что повышает металлоемкость и снижает технологичность и повышает цену изделия.

Крепление диафрагмы к основанию осуществляется с помощью четырех винтов. При работе приспособления в полости пневмокамеры действует сила  $Q$ , которая стремится раскрыть стык. Нагрузку принимают на себя винты, на них действуют напряжения растяжения. Для расчета на растяжения стержня винта воспользуемся формулой:

$$\delta = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2 \times 4} \leq [\delta],$$

где,  $d$  - диаметр резьбы, для резьбы М6 -  $d = 6$  мм.

$\delta$ - действующие напряжения растяжения,

$[\delta]$  - допускаемые напряжения растяжения, [3, табл.1.2, стр. 55]:

$[\delta] = 120$ Мпа.

$$\delta = \frac{3774}{\frac{\pi}{4}(0,006)^2 \times 4} = 25 \text{ МПа},$$

Определим коэффициент запаса:

$$K = \frac{[\delta]}{\delta} = \frac{120}{25} = 4,8,$$

Полученное значение коэффициента запаса говорит о надежности стыка. Следовательно, при данной нагрузке герметичность стыка гарантирована, а, следовательно, и работоспособность всего приспособления. Значение коэффициента запаса не превысило 5, следовательно, приспособление спроектировано рационально.

### 3.1.5 Расчёт приспособления на точность

Приспособление для обработки поверхностей заготовок является звеном системы СПИД. От точности его изготовления и базирования на станке, износостойкости установочных элементов и жесткости в значительной мере зависит точность обработки заготовок. При обработке партии заготовок, имеющих погрешности формы, каждая из них и ее измерительная база при установке в приспособлении занимают различное положение. Поэтому погрешность положения заготовки в приспособлении следует рассчитывать с учетом ее расположения в пространстве, что значительно усложняет расчеты.

Цель расчета на точность заключается в определении требуемой точности изготовления приспособления по выбранному параметру и заданий допусков размеров деталей и элементов приспособления.

Погрешность изготовления приспособления определяется по формуле ([1], стр. 85):

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

где,  $\delta$  – допуск выполняемого при обработке размера заготовки;

$K_T$  – коэффициент, учитывающий отклонение рассеяния значений составляющих величин от закона нормального распределения:  $K_T=1 \dots 1,2$  (в зависимости от количества значимых слагаемых);

$K_{T1}$  – 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, вызываемой факторами, не зависящими от приспособления:  $K_{T2}=0,6 \dots 0,8$ ;

$\varepsilon_6$  – погрешность базирования заготовки в приспособлении;

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

$\varepsilon_y$  – погрешность установки приспособления на станке;

$\varepsilon_{и}$  – погрешность положения заготовки, возникающая в результате изнашивания элементов приспособления;

$\varepsilon_{п}$  – погрешность от перекоса инструмента;

$\omega$  – экономическая точность обработки.

Расчет точности изготовления приспособления из условия обеспечения размера заготовки  $30_{-0,2}$ .

Определяется погрешность базирования в каждом конкретном случае. Так как в данном случае она определяется по формуле:

$$\varepsilon_B = \frac{\delta}{2},$$

где,  $\delta$  – допуск на размер;

$$\varepsilon_B = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ мм}$$

Определяется погрешность закрепления. Для заготовки с предварительно обработанной посадочной поверхностью, с поперечным размером 62 мм)  $\varepsilon_3=0,08$  мм [1, стр.210, табл. П4] .

Определяется погрешность установки приспособления на станке. Так как осуществляется надежный контакт установочной плоскости приспособления с установочной плоскостью цанги станка, то  $\varepsilon_y=0$ .

Выявляется погрешность от перекоса (смещения) инструмента.  $\varepsilon_n=0$ , так как в приспособлении отсутствуют направляющие элементы.

Определяется погрешность от изнашивания установочных элементов. Износ установочных элементов приближенно определяется по формуле [1, стр.108]:

$$\mu = \beta_2 \times N,$$

где,  $\mu$  – размерный износ опоры, мкм;

$\beta_2$  – постоянная, зависящая от вида установочных элементов и условий контакта  $\beta_2=0,002\dots0,004$ ; принимаем  $\beta_2=0,003$ .

$N$  – количество контактов заготовки с опорой (установок в приспособление, снятий с него) в год. Как уже отмечалось выше, приспособление имеет сменные пластины, которое крепятся на губках тисков. Принимается количество контактов не более  $N=100$ .

$$\mu = 0,003 \times 100 = 0,3 \text{ мкм} = 0,0003 \text{ мм.}$$

Погрешность от изнашивания установочных элементов  $\varepsilon_n$  можно принять равной и, т. е.

$$\varepsilon_n = \mu = 0,0003 \text{ мм.}$$

При этом в ТУ на эксплуатацию приспособления следует вписать пункт об обязательной проверке приспособления на точность и замене или ремонте установочных элементов после года работы ( $n=1$ ).

Принимаются значения  $k_T, k_{T1}, k_{T2}$ . Принимаются следующие значения коэффициентов  $k_T=1,1, k_{T1}=0,8; k_{T2}=0,7$ .

Уточняется допуск на обработку. В данном случае  $\delta=0,52$ .

Находим экономическую точность обработки. Для принятых условий (заготовка нержавеющей стали, обработка торцевой фрезой, размер 87,5 мм) находим  $\omega=0,08$  мм [1, стр. 212. табл. П8].

После подстановки значений величин в формулу выявляется погрешность изготовления (точность в сборе) приспособления  $\varepsilon_{пр}$  для обеспечения размера заготовки  $30_{-0,2}$ .

$$\varepsilon_{пр} < 0,52 - 1,1\sqrt{(0,8 \times 0,26)^2 + 0,08^2 + 0,0003^2 + (0,7 \times 0,08)^2} = 0,274 \text{ мм.}$$

Таким образом, при погрешности изготовления приспособления  $\varepsilon_{пр} \leq 0,274$  мм, обеспечивается размер детали  $30_{0,2}$  мм.

## 3.2 Проектирование специального режущего инструмента

### 3.2.1 Анализ технологической операции

На фрезерной операции для формирования кольцевой канавки (рисунок 3.8), было принято спроектировать специальный режущий инструмент. Требования, предъявляемые к поверхностям канавки: шероховатость Ra3.2.

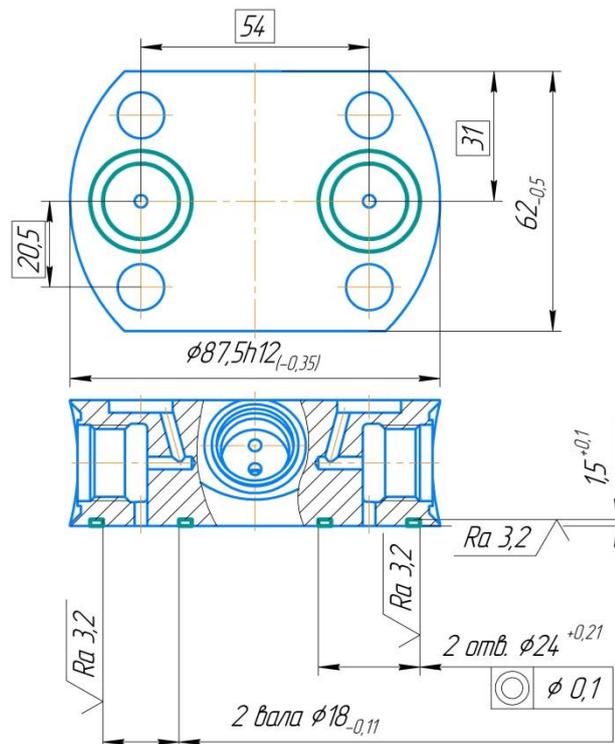


Рисунок 3.8 – Фрезерная операция формирования кольцевой канавки

В конструкциях сборных режущих инструментов применяют СМП различных форм и типоразмеров. Для сборной канавочной фрезы была выбрана твердосплавная пластина GER200-С PM125 (рисунок 3.9).

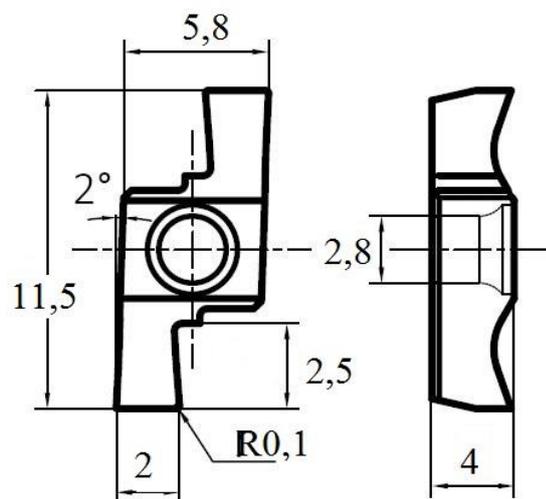


Рисунок 3.9 – Твердосплавная пластина GER200-С PM125

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Отверстие в этой СМП имеет коническо-сферический участок (крепление SM). Такой тип крепёжной поверхности имеет простую конструкцию и высокую надёжность соединения, а также обеспечивает возможность применения в различных условиях резания, применимо для широкого спектра ряда инструментов. При затягивании винта резьбовой участок стержня винта и его цилиндрический хвостовик сопрягаются с соответствующими участками отверстия державки. В результате взаимного смещения осей отверстия режущей пластины и отверстия в гнезде под винт коническая часть головки винта, взаимодействуя с коническим участком отверстия пластины, надёжно поджимает пластину к базовым упорным поверхностям державки.

Далее произведём выбор крепёжных винтов.

В разработанной конструкции сборной фрезы с СМП с определёнными геометрическими параметрами, СМП прижимаются к стенкам гнезда с помощью винтов ввинчиваемых в корпус инструмента. Головки винтов и отверстия СМП выполнены конусными, а оси винтов смещены в сторону базовых стенок гнезд на расстояние 0,05 мм. В результате, при завинчивании винтов, СМП прижимаются одновременно к базовым стенкам и основаниям гнезд. Для повышения надёжности крепления СМП винтом угол конуса головки винта равен не  $80...90^\circ$ , как в стандартных винтах, а  $40...60^\circ$ . Вместо стандартного шестигранного углубления под ключ в разработанной конструкции фрезы используется шестилепестковая форма углубления типа «Торх» по DIN 965 / ISO 7046, позволяющая передавать большие силы с меньшим напряжением и меньшей опасностью срыва или повреждения места под ключ (рисунок 3.10). Шесть синусоидальных лепестков равномерно передают нагрузку от ключа. Сравнительные испытания, выполненные на производстве показали, что если винт с обычным шестигранным углублением выдерживает 70 затяжек, то винт типа «Торх» пригоден для эксплуатации даже после 1000 затяжек. Преимущество углубления в винтах типа «Торх» позволяют уменьшать размеры гнезда под ключ, что особенно важно при проектировании сборных мелкогабаритных фрез.

											Лист
											83
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ						

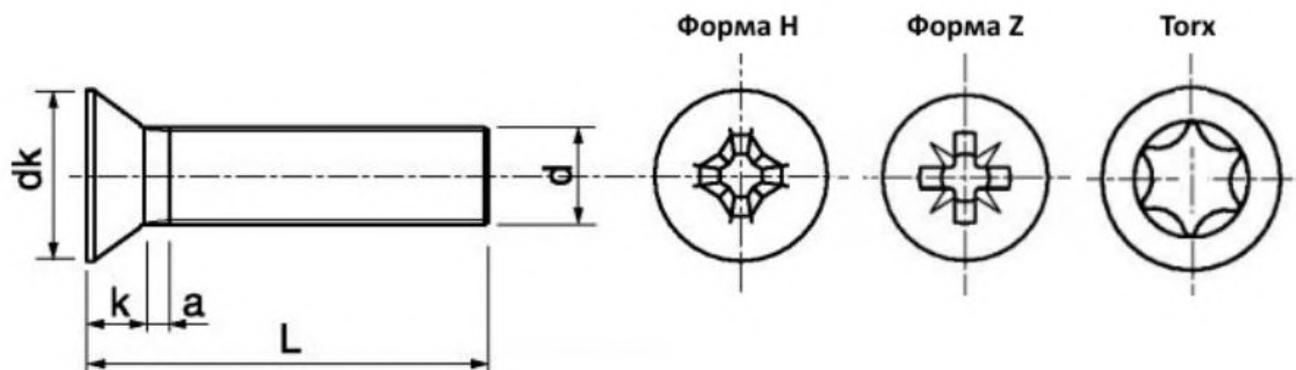


Рисунок 3.10 – Винты форм H, Z и «Торх»

Материал винтов - стали классов прочности 4.8, 8.8.

Материал винта – сталь 65Г ГОСТ 14959-79.

Виды покрытий:

- без покрытия;
- белый цинк;
- желтый цинк.

Далее спроектируем салазки (державки для крепления режущих пластин), чертёж представлен на рисунке 3.11.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

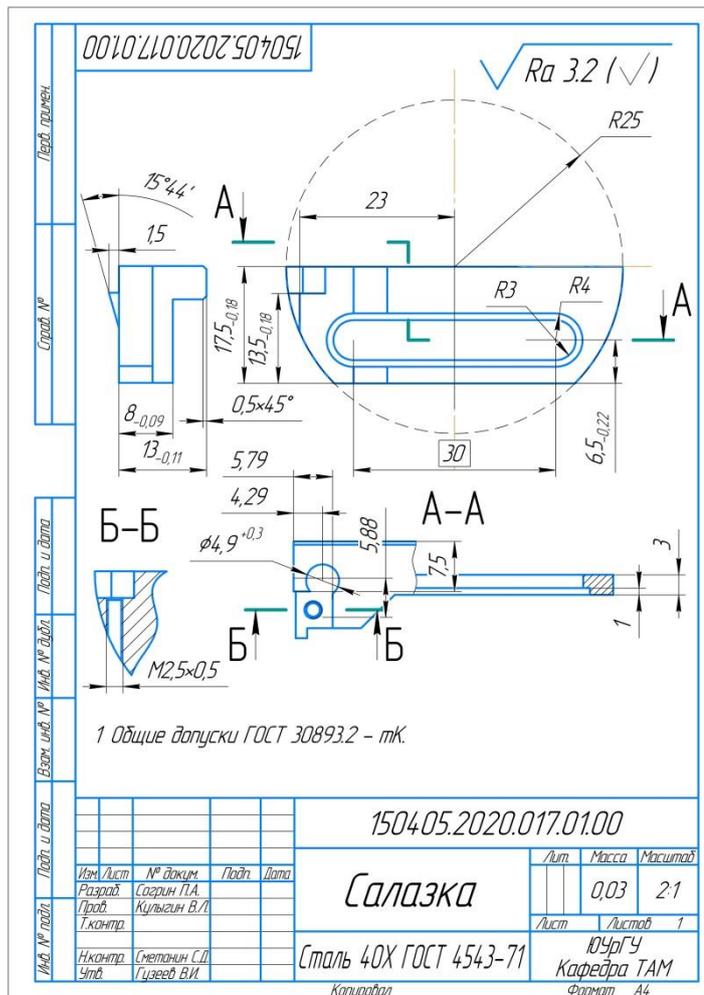


Рисунок 3.11 – Чертёж детали «Салазка»

Далее спроектируем 3d модель салазки в Cad системе КОМПАС 3D (рисунок 3.12).

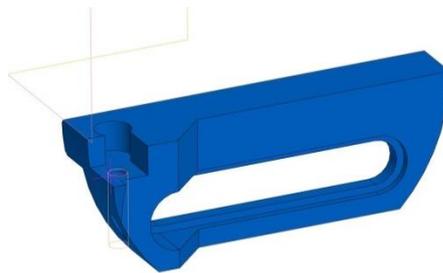


Рисунок 3.12 – 3d модель детали «Салазка»

Следующим шагом спроектируем державку, конструкторский чертёж представлен на рисунке 3.13.

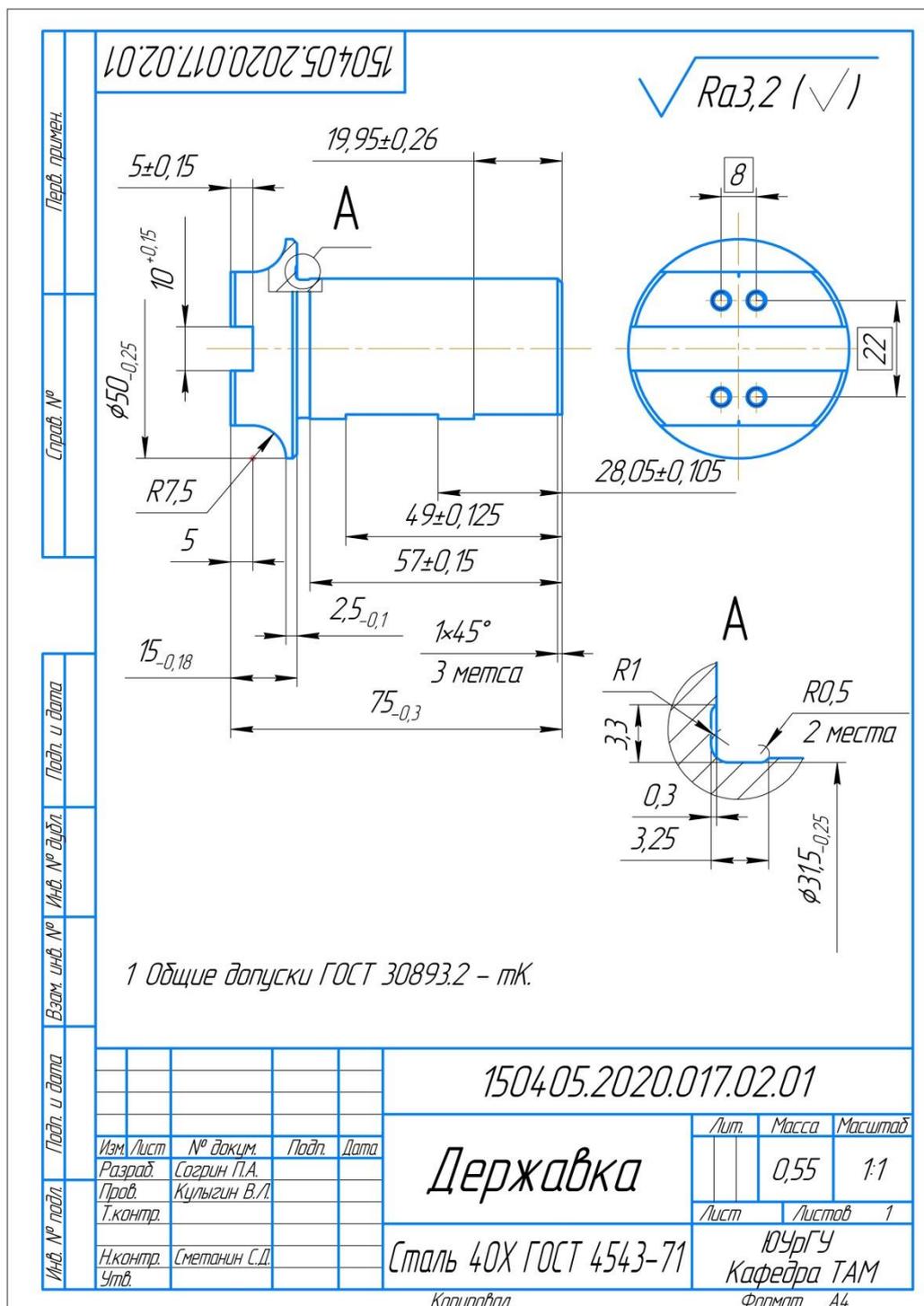


Рисунок 3.13 – Конструкторский чертёж детали «Державка»

Спроектируем 3d модель державки в Cad системе КОМПАС 3D (рисунок 3.14). Деталь закрепляется в оправке MAS403BT Weldon H 90 D32 ISO40 3d модель представлена на рисунке 3.15. Закрепление всей сборки в станке осуществляется зажатием в цанге штревелия (рисунок 3.16).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись Дата

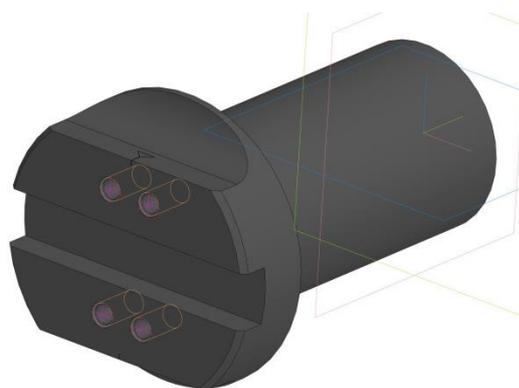


Рисунок 3.14 – 3d модель детали «Державка»



Рисунок 3.15 – 3d модель оправки MAS403BT Weldon H 90 D32 ISO40



Рисунок 3.16 – Сборка спроектированного режущего инструмента

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ

Лист

87

Спроектированный режущий инструмент был эмпирически проверен в работе на детали «Корпус блока вентильного», и методом пробных проходов были назначены режимы резания: минутная подача 3 мм/мин, частота вращения  $n=150$  об/мин.

#### Вывод во третьему разделу ВКР

- при обработке деталей на станках с ЧПУ с использованием спроектированных приспособления производительность труда повысилась в 2 раза в результате сокращения вспомогательного времени с 5 мин. до 2,5 мин;
- при использовании специального РИ, сократилось подготовительно-заключительно время.

#### 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОРЦЕВОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ С УЧЁТОМ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ФРЕЗЫ

Конкуренция между производителями машиностроительной продукции ведёт к постоянному повышению качества и снижению себестоимости продукции. Одним из способов достижения этого является повышение эффективности металлообработки. Достигается это различными способами, например такими как: назначение оптимальных режимов резания, применение различных смазочно-охлаждающих технологических средств, применение усложнённых траекторий движений инструмента, а также применение комбинированных методов обработки.

Влияние режимов резания на эффективность механической обработки хорошо изучено, применение технологических жидкостей может быть использовано как дополнительная мера, хотя в некоторых случаях их использование невозможно. Применение же комбинированных методов обработки влечёт за собой использование дополнительного оборудования, технологической оснастки, что усложняет сам технологический процесс. Кроме того, область применения комбинированных методов имеет свои ограничения, что сдерживает их широкое применение.

Одно из перспективных направлений повышения эффективности операций механической обработки, это реализация на практике методов управления траекторией движения режущего инструмента относительно обрабатываемых поверхностей заготовки. Современные приспособления, добавляющие дополнительные координатные оси технологическому оборудованию позволяют реализовывать обработку с весьма сложной кинематикой движений режущего инструмента, при этом их возможности используются далеко не в полной мере. Сложная и управляемая кинематика движения может быть использована для повышения эффективности обработки в совокупности с перечисленными выше и

другими методами, а также в тех случаях, когда применение других способов ограничено или невозможно.

#### 4.1 Разработка математической модели объекта

Математическая модель взаимосвязи основных технологических параметров операции показывает, что смещение заготовки в процессе формообразования плоской поверхности вдоль оси параллельной губкам тисков, зависит от направления силы резания, и определяется: траекторией движения фрезы, диаметром инструмента, количеством зубьев РИ, подачей, глубиной срезаемого слоя, материалом заготовки, шириной заготовки.

Разработаем математическую модель определения оптимальной траектории движения инструмента, которая позволит при неизменном усилии зажима заготовки повысить режимы резания.

Схема, предложенная для математического анализа процесса фрезерования торцевой поверхности заготовки, представлена на рисунке 4.1.

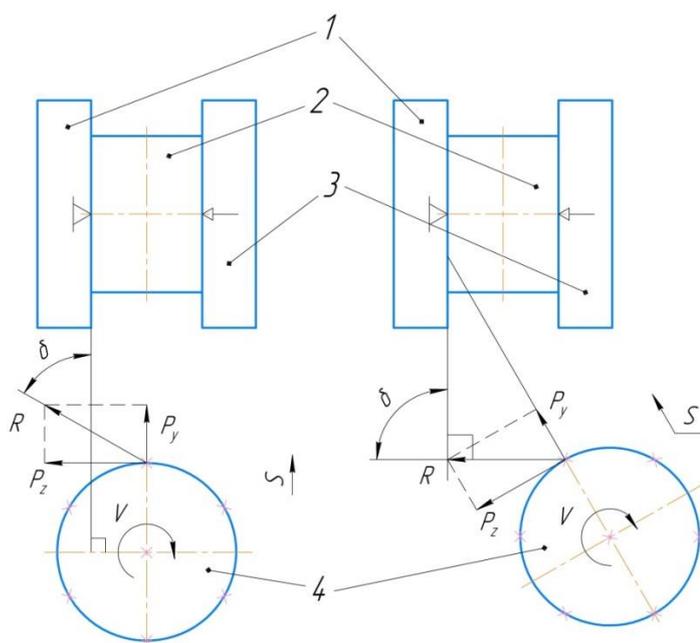


Рисунок 4.1 – Схема обработки плоской поверхности заготовки: 1 – подвижная губка тисков; 2 – заготовка; 3 – неподвижная губка тисков; 4 – торцевая фреза; V

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

– главное движение;  $S$  – движение подачи;  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания;  $R$  – равнодействующая силы резания;  $P_z$  – окружная составляющая силы резания;  $\omega$  – угол наклона траектории фрезерования относительно заготовки

Необходимо определить исходные данные (таблица 4.1), которые будут отображаться постоянными константами и коэффициентами, и которые необходимо учитывать при моделировании процесса.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Станок	Вертикально-фрезерный 6P13
Материал заготовки	Сталь 20
Ширина заготовки	$B=62$ мм
Длина заготовки	88 мм
Режущий инструмент (РИ)	Торцевая фреза
Диаметр фрезы	$D=100$ мм
Подача на зуб	$S_z=0,5$ мм/зуб
Глубина срезаемого слоя	$t=1$ мм
Коэффициент зависящий от механических свойств обрабатываемого материала	$C_p=192$
Число зубьев фрезы	$Z=6$

Для случая лобового симметричного фрезерования на рисунке 4.2 показана схема разложения равнодействующей силы резания  $R$  на составляющие силы, действующие на зубе торцевой фрезы в зависимости от расположения зубьев торцевой фрезы на длине контакта с заготовкой.

В условиях несвободного резания окружную составляющую силу резания  $P_z$  на зубе фрезы можно представить как произведение удельной силы резания  $k_s$  на площадь срезаемого слоя  $F_z$ :

$$P_z = k_s \times F_z = k_s \times a_z^k \times t = k_s \times S_z \times \sin \psi \times t; \quad (4.1)$$

С учётом несвободного резания, когда в работе принимают участие зубья, расположенные на торце фрезы:

$$k_s = C_p \times a_z^K \times t^l = C_p \times S_z^K \times \sin^K \psi \times t^l; \quad (4.2)$$

Тогда мгновенная окружная составляющая на зубе фрезы:

$$P_z = C_p \times S_z^{K+1} \times t^{l+1} \times \sin^{K+1} \psi; \quad (4.3)$$

У фрез с углом наклона  $\omega \leq 35 - 40^\circ$

$$P_y = (0.4 \dots 0.6) P_z; \quad (4.4)$$

Угол контакта фрезы с заготовкой  $\psi$  вычисляется эмпирическим путём (рисунок 4.2, 4.3). Значения угла контакта фрезы с заготовкой представлены в таблице 4.2.

Подставляя переменные в уравнения (3) и (4) найдём окружную и радиальную составляющие силы резания для каждого зуба находящегося на дуге контакта (рисунок 4.2) (таблица 4.3).

Составляющая силы резания  $R$  вычисляется по теореме Пифагора (5), и заносится в таблицу 4.3.

$$R = \sqrt{P_z^2 + P_y^2}; \quad (4.5)$$

Суммарная составляющая из сил находится по формулам:

$$F_{sum1} = \sqrt{R1^2 + R2^2 - 2R1R2 - 0.5}; \quad (4.6)$$

$$F_{sum2} = \sqrt{R3^2 + R4^2 - 2R3R4 - 0.5}; \quad (4.7)$$

$$F_{sum3} = \sqrt{R5^2 + R6^2 - 2R5R6 - 0.5}; \quad (4.8)$$

Таблица 4.2 – Угол контакта фрезы с заготовкой

Второй зуб входит в зацепление с заготовкой	$\psi_1$	51,69°	0,902 рад.
	$\psi_2$	111,68°	1,949 рад.
Два зуба находятся на дуге контакта	$\psi_3$	57,68°	1,007 рад.
	$\psi_4$	117,85°	2,057 рад.
Первый зуб выходит из зоны контакта	$\psi_5$	68,32°	1,192 рад.
	$\psi_6$	128,32°	2,24 рад.
На дуге контакта расположен один зуб	$\psi_7$	90°	1,571 рад.

Таблица 4.3 – Таблица расчётных данных

№	$P_z$	$P_y$	$R$	$F_{sum}$
1	49.345	19.738	53.146	98.66
2	56.359	22.543	60.7	
3	52.36	20.944	56.393	99.38
4	54.191	21.676	58.365	
5	56.279	22.512	60.614	98.71
6	49.485	19.794	53.296	
7	59.506	23.802	64.089	64.089

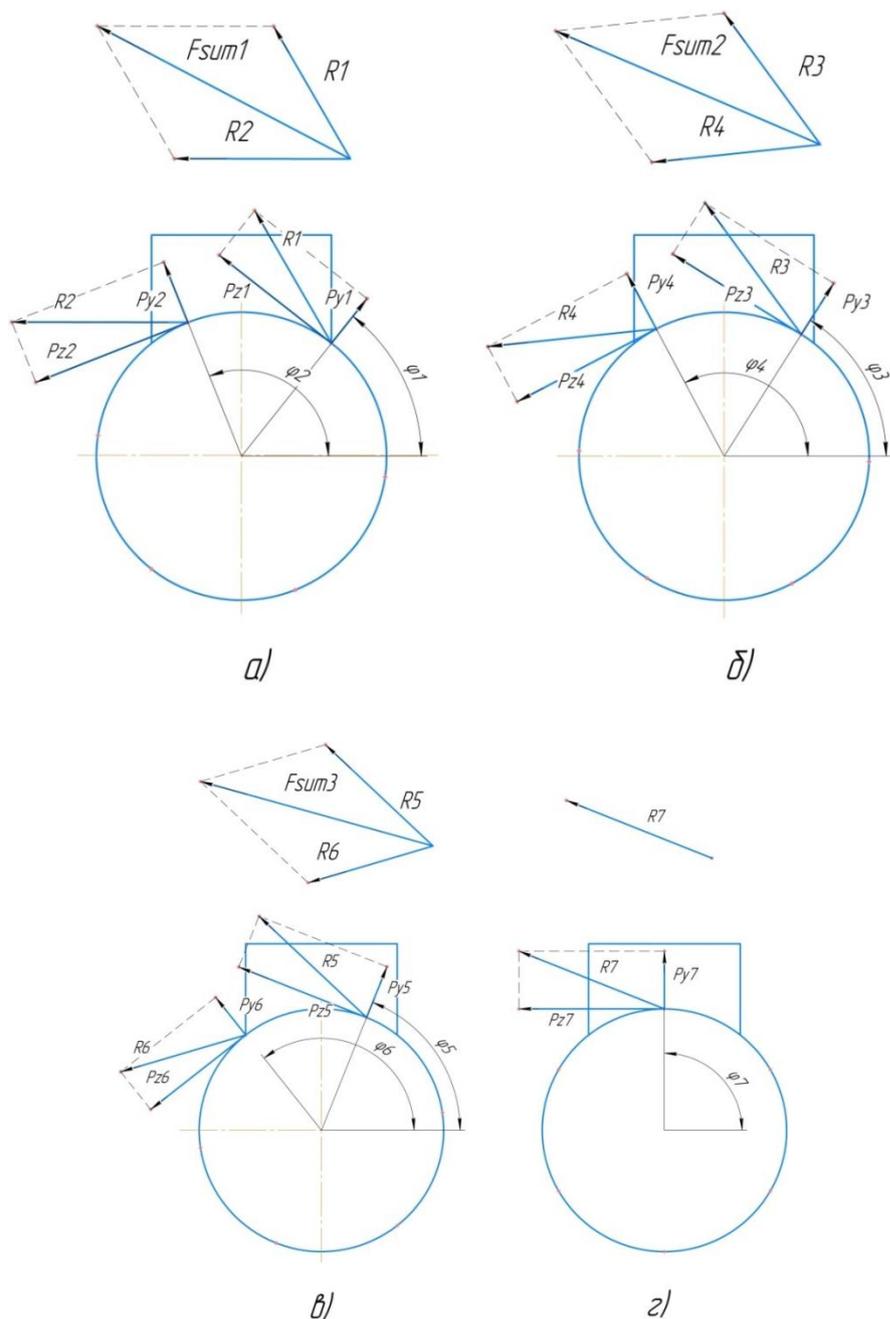


Рисунок 4.2– Схема торцевого фрезерования: а) на дуге контакта расположено 2 зуба фрезы, один из которых входит в зацепление; б) на дуге контакта расположено два зуба фрезы; в) на дуге контакта расположено два зуба фрезы, один из которых выходит из зацепления; г) на дуге контакта находится один зуб

При переносе суммарных составляющих сил в единую точку отсчёта  $O$ , расположенную на отрезке  $OE$ , который направлен по нормали к неподвижной губке тисков (рисунок 4.3), наблюдается диапазон действия результирующих сил,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

и если направить середину диапазона по нормали, на необходимы угол, то диапазон распределения результирующих сил сократится.

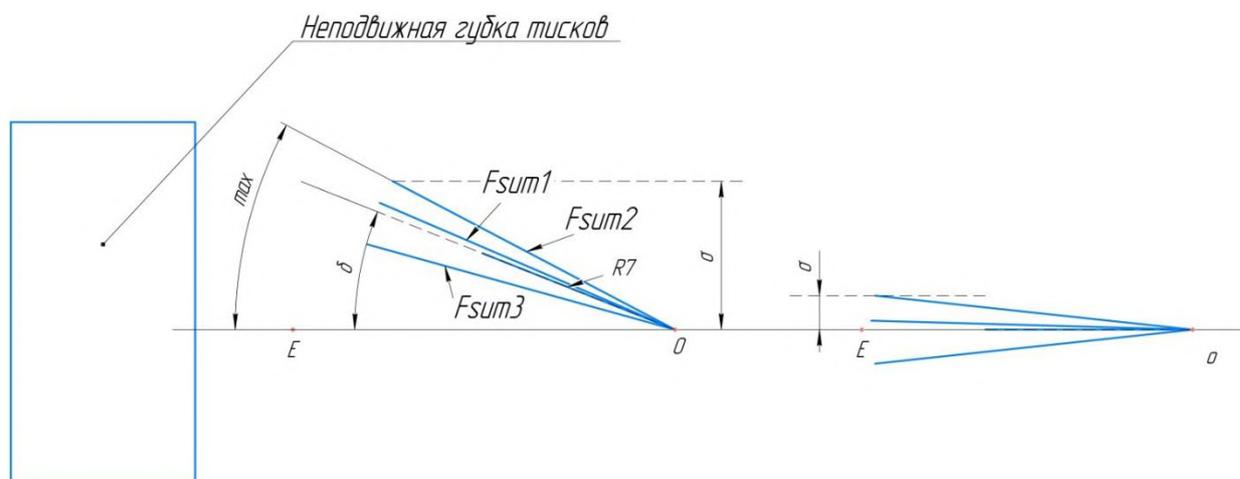


Рисунок 4.3 – Схема отображения суммарных сил, приложенных в точке O:  $\sigma$  – диапазон действия результирующих сил;  $\delta$  – угол изменения траектории движения инструмента

Таким образом, в работе изложен комплекс научно обоснованных технических и технологических решений, направленных на создание нового способа торцевого фрезерования, обеспечивающего кратное снижение негативного влияния результирующей силы резания на усилие зажима заготовки и увеличение производительности обработки.

#### 4.2 Методика проведения эксперимента

Для подтверждения достоверности полученной математической модели процесса подготовлен план проведения экспериментальных работ. Эксперименты проводятся с исходными режимными параметрами отражёнными в таблице 4.1.

Для определения угла изменения траектории движения необходимо определить силу резания. Измерение силы резания проводить с помощью трехкомпонентного динамометра модели 9257BA фирмы Kistler (рисунок 4.4) со встроенным усилителем типа 5233A1. Технические данные динамометра

представлены в таблице 4.4., технические данные встроенного усилителя типа 5233A1 представлены в таблице 4.5.



Рисунок 4.4– Трехкомпонентный динамометр модели 9257ВА фирмы Kistler

Таблица 4.4 – Технические данные динамометра модели 9257ВА

Наименование	Обозначения	Единицы измерения	
Калибровка	–	–	калиброван
Диапазон измерения	Fx, Fy, Fz	кН	±5,0
Чувствительность	Fx, Fy	пКл/Н	≈7,5
	Fz	пКл/Н	≈3,7
Собственная частота	fnx, fny	кГц	≈2,3
	fnz	кГц	≈3,5
Диапазон рабочих температур		°С	от 0 до 70
Длина		мм	170
Ширина		мм	10
Высота		мм	60
Соединение			Fischer 9-контактный
Герметизация			Сварка/эпоксидная
Масса		кг	7,3

Таблица 4.5 – Технические данные динамометра модели 9257ВА

Наименование	Единицы измерения	Диапазон
Диапазон измерения	пКл	От 200 до 200000 От -200000 до -200
Диапазон частот	кГц	От 0 до 45
Выходной сигнал	В	От -10 до 10
Питание	В	От 100 до 240
Интерфейс		RS-232C

Схема подключения динамометра модели 9257ВА фирмы Kistler представлена на рисунке 4.5.

			
Динамомтр + усилитель	Устройство управления	Плата АЦП	Программное обеспечение DynoWare

Рисунок 4.5 – Схема подключения динамометра модели 9257ВА фирмы Kistler

Испытания рекомендуется проводить на обрабатывающем центре модели FIRST MCV-300 (рисунок 4.6). Технические характеристики представлены в таблице 4.6.



Рисунок 4.6 – Обрабатывающий центр модели FIRST MCV-300

Таблица 4.6 – Технические характеристики обрабатывающего центра модели FIRST MCV-300

Технические характеристики	Параметры
Перемещение по осям X, Y, Z (мм)	610, 355, 460
Расстояние от торца шпинделя до стола (мм)	70 - 530
Размер стола (мм)	700 x 350
Расстояние от фундамента до стола (мм)	835
Максимальная несущая способность стола (кг)	350
T-образный паз (количество x ширина x шаг) (мм)	5 x 16 x 63,5
Расстояние от центра стола до колонны (мм)	415
Скорость быстрого хода (м/мин)	X/Y: 20, Z: 18
Диаметр шариковой винтовой пары и шаг (мм)	32 / 10
Скорость рабочей подачи (мм/мин)	1 - 10 000
Тип хвостовика режущего инструмента	BT 40
Максимальная скорость шпинделя (об./мин)	8 000
Двигатель шпинделя (кВт)	7,5 / 11
Тип привода	Ременной привод
Емкость инструментального магазина	10 инструментов
Тип устройства автоматической смены инструмента	Без манипулятора
Максимальный диаметр инструмента (мм)	120
Без смежного инструмента (мм)	150
Максимальная длина инструмента (мм)	300
Максимальный вес инструмента (кг)	7
Время смены инструмента (время непосредственной смены инструмента) (сек.)	2
Время смены инструмента (от реза до реза) (сек.)	8,1
Габариты станка (мм) (LxHxW)	1850x1825x2400
Масса (кг)	2 500
Электрический источник питания	15 кВт/ трехфазный источник, 220 В 50/60 Гц
Подача сжатого воздуха (МПа)	0,6
Дисплей ЖК	8,5" цветной
Интерфейс связи	RS232
Тип ЧПУ	FANUC Oi-MD

В ходе проведения эксперимента, необходимо провести динамометрический анализ для измерения проекций сил резания при механообработке, в результате которого

провести измерения проекций сил резания при определении режимов обработки фрезой R390D-020C5-11L125, оснащенной сменными пластинами R390-11 T3 31 M-PM S30T, заготовки из титанового сплава BT22 на фрезерном 5-и координатном обрабатывающем центре DMU80P duoBlock с изначальной траекторией движения фрезы

Анализ приведенных зависимостей позволил установить влияние параметров обработки на силы резания и выбрать оптимальные режимы резания для определённой схемы обработки. В частности, увеличение скорости резания в меньшей степени приводит к увеличению сил резания, что стимулирует применение более износостойких сплавов и покрытий для сменных пластин.

После проделанных работ, необходимо проанализировать состояние заготовки, смещение вдоль неподвижной губки тисков, а также проверить визуально на наличие дефектов на контактирующих поверхностях заготовки с зажимным приспособлением.

Затем, зная силу резания, необходимо определить угол изменения траектории движения инструмента, и повторить испытания.

#### Выводы по четвёртому разделу ВКР

В результате проделанной работы по четвёртому разделу ВКР, можно сделать следующие выводы:

- математическая модель взаимосвязи основных технологических параметров операции показывает, что смещение заготовки в процессе формообразования плоской поверхности вдоль оси параллельной губкам тисков, зависит от направления силы резания, и определяется: траекторией движения фрезы, диаметром инструмента, количеством зубьев РИ, подачей, глубиной срезаемого слоя, материалом заготовки, шириной заготовки;
- разработана методика аналитического определения оптимального угла между силой резания и неподвижной губкой тисков.

## 5 РАСЧЁТ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ТП И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

### 5.1 Проведение экономических расчётов

С целью выбора наиболее эффективного варианта технологического процесса проведем расчет экономической эффективности на основе сравнения рентабельности проектных вариантов технологического процесса.

Для определения затрат на заготовку изучим рынок металлообработки. При изготовлении детали «Корпус блока вентильного» по технологии с использованием универсального оборудования в качестве исходной заготовки примем периодический прокат в виде прутка Ø90 мм с маркой материала 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014. Заготовка детали имеет массу равную 1,5 кг. Стоимость 1 тонны металла составляет 70000 руб., следовательно, стоимость заготовки (Ззаг.) равна 105 руб.

При изготовлении детали «Корпус блока вентильного» по технологии с использованием оборудования с ЧПУ в качестве исходной заготовки примем поковку в виде вала переменного сечения с маркой материала 12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014. Заготовка детали имеет массу равную 1,87 кг. Цена 1 тонны изготовления поковок стали 12Х18Н10Т равна 89900 руб., отсюда цена 1 кг. поковки стоит 89,9 руб., следовательно стоимость заготовки (Ззаг.) равна 168 руб.

Расчёт стоимости заготовки представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Расчёт стоимости заготовки

Способ получения заготовки	Вид стали	Масса заготовки, кг.	Стоимость 1 тонны металла, руб.	Стоимость 1 кг металла, руб.	Цена за одну заготовку, руб.
Периодический прокат	12Х18Н10Т по ГОСТ 5632-2014	1,5	70000	70	105

Поковка	12X18H10T по ГОСТ 5632-2014	1,87	89900	89,9	168,117
---------	-----------------------------------	------	-------	------	---------

Для определения затрат на электроэнергию определим мощность каждой единицы оборудования. Также будем учитывать, что тарифы на электроэнергию не различаются в дневное и ночное время и равен 3 руб./кВт-ч. Расчеты представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Расчет затрат электроэнергии для проектных вариантов ТП

Цена за 1 кВт-ч	3			
Оборудование	Кол-во оборудования, шт.	Мощность оборудования, кВт	Время оборудования, мин.	Стоимость электроэнергии Зэлектр., руб.
Вариант ТП на базе универсального оборудования				
Ст. ленточнопильный UE-330SA	1	2,25	0,083	6,143
16K20	2	10	1,312	54,6
6P13	2	11	0,679	60,06
2M112	1	0,55	0,542	1,502
Моечная машина AM500 ЭКО	1	1,8	0,083	4,914
			<b>Сумма:</b>	<b>127,219</b>
Вариант ТП на базе оборудования с ЧПУ				
Токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG CTX	1	36	0,4	98,28
Фрезерный станок с ЧПУ HAAS TM-1	1	5,6	0,248	15,288
Моечная машина AM500 ЭКО	1	1,8	0,083	3,276
			<b>Сумма:</b>	<b>116,844</b>

Затраты на ремонт и обслуживание ( $Z_{p.o.}$ ) станочного оборудования и запасные части к нему, определяются по формуле (5.1):

$$Z_{p.o.} = (0,03 \div 0,05) \cdot Z_m, \text{ руб.} \quad (5.1)$$

где  $Z_m$  – сумма материальных затрат расходуемых на заготовку и электроэнергию.

Сумма материальных затрат расходуемых на заготовку и электроэнергию рассчитывается формуле (5.2):

$$Z_m = Z_{\text{заг.}} + Z_{\text{электр}}, \text{ руб.} \quad (5.2)$$

Рассчитаем затраты на ремонт и обслуживание ( $Z_{\text{р.о.}}$ ) станочного оборудования и запасные части к нему для ТП на базе универсального оборудования:

$$Z_m = 105 + 127,2 = 232,2 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{р.о.}} = 0,4 \cdot 232,3 = 92,88 \text{ руб.}$$

Рассчитаем затраты на ремонт и обслуживание ( $Z_{\text{р.о.}}$ ) станочного оборудования и запасные части к нему для ТП на базе оборудования с ЧПУ:

$$Z_m = 168,117 + 116,84 = 284,957 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{р.о.}} = 0,4 \cdot 284,957 = 113,98 \text{ руб.}$$

Суммарный расход на материальные затраты находится по формуле (5.3):

$$Z_{\text{м.з.}} = Z_m + Z_{\text{р.о.}} \quad (5.3)$$

Для ТП на базе универсального оборудования:

$$Z_{\text{м.з.}} = 232,2 + 92,88 = 325,08 \text{ руб.},$$

Для ТП на базе оборудования с ЧПУ:

$$Z_{\text{м.з.}} = 284,95 + 113,98 = 398,9 \text{ руб.}$$

Далее произведём расчёт затрат на оплату труда (таблица 5.3).

Расчет затрат на оплату труда для одного изделия производится по формуле (5.4):

$$Z = Z. П. \cdot \frac{N}{n}, \text{ руб.} \quad (5.4)$$

где  $Z. П.$  – заработная плата рабочего;

$N$  – количество рабочих;

$n$  – количество деталей изготавливаемых в месяц по плану.

Таблица 5.3 – расчёт затрат на оплату труда

Рабочий	З.П., руб.	N, чел.	n, шт	Зо.т., руб.
Вариант ТП на базе универсального оборудования				
Грузчик	22000	1	420	52,38
Распиловщик	30000	1		71,43
Токарь	40000	2		190,48
Фрезеровщик	40000	2		190,48
Слесарь	30000	1		71,43
Мойщик	20000	1		47,62
Контролёр	35000	1		83,33
<b>Итого:</b>				<b>707,15</b>
Вариант ТП на базе универсального оборудования				
Грузчик	22000	1	420	52,38
Опертор станков с ЧПУ	45000	2		214,29
Мойщик	20000	1		47,62
Контролёр	35000	1		83,33
<b>Итого:</b>				<b>397,62</b>

Расчёт амортизационных отчислений (таблица 5.4).

Амортизация - перенесение по частям, по мере физического и морального износа, стоимости основных средств на стоимость производимого продукта.

Амортизация представляет собой постепенное погашение стоимости объекта, приобретенного за счет временно свободных оборотных средств. Если же затрат на приобретение основного средства у предприятия не было либо его приобретение было обеспечено соответствующим источником финансирования, по этому объекту амортизация начисляться не должна.

Амортизационные отчисления на будущую полную замену оборудования ( $Z_{a.o.}$ ) определяются по формуле (5.5):

$$Z_{a.o.} = \frac{C_o}{T \cdot N}, \text{руб.} \quad (5.5)$$

где  $C_o$  – стоимость оборудования, руб.;

$T$  – срок службы оборудования, лет;

$N$  – число деталей изготовленных предприятием в год, шт.

Таблица 5.4 – Расчет затрат на амортизационные отчисления

Оборудование	Со, руб.	Количество оборудования	T, лет.	N, шт.	За.о., руб.
Вариант ТП на базе универсального оборудования					
Ст. ленточнопильный UE-330SA	686000	1	3	5000	45,73
16K20	1700000	2	5		136
6P13	2768000	2	5		221,44
2M112	80000	1	1		16
Моечная машина AM500 ЭКО	62000	1	1		12,4
				<b>Итого:</b>	<b>431,57</b>
Вариант ТП на базе оборудования с ЧПУ					
Токарно-фрезерный станок с ЧПУ DMG CTX gamma 2000 TC	12000000	1	7	5000	342,86
с ЧПУ HAAS TM-1	2535000	1	4		126,75
Моечная машина AM500 ЭКО	62000	1	1		12,4
				<b>Итого:</b>	<b>482,01</b>

## 5.2 Оценка экономической эффективности

Сравнение затрат на два варианта технологического процесса изготовления детали «Корпус блока вентильного». Исходя из ранее проведенных расчетов затрат на единицу продукции составим сравнительную таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Сравнение затрат на варианты технологического процесса

Виды затрат		Затраты на единицу продукции (ТП на базе универсального оборудования), руб./деталь	Затраты на единицу продукции (ТП на базе оборудования с ЧПУ), руб./деталь
Материальные затраты	На основные материалы	105	168,1
	На электроэнергию	127,2	116,8
	На ремонт и обслуживание оборудования	92,88	113,98
Суммарные материальные затраты		325,08	398,9
Затраты на оплату труда		707,15	397,62
Затраты на амортизационные		431,57	482
Суммарные затраты		1788,88	1677,4

Следующим шагом проведём оценку экономической эффективности рассчитав рентабельность (Р) данных вариантов ТП по формуле (5.6):

$$P = \frac{\Pi}{З} \cdot 100\%. \quad (5.6)$$

где Р – рентабельность, %;

Π – прибыль, руб./год;

З – затраты, руб./год.

Прибыль (Π) рассчитывается по формуле (5.7):

$$\Pi = В - З. \text{ руб./год.} \quad (5.7)$$

Выручка (В) рассчитывается по формуле (5.8):

$$В = C_{\text{изд.}} \cdot N_{\text{изд.}} \quad (5.8)$$

где  $C_{\text{изд.}}$  – цена изделия;

$N_{\text{изд.}}$  – количество изделий, сбываемых в год, шт.;

Рыночная цена подобного изделия, изготавливаемого на других предприятиях, составляет 3 000 – 4 000 руб./шт.

Исходя из рыночной стоимости изделия ( $C_{\text{изд.}}$ ), берем среднюю – 3 500 руб./шт.

$$В = 3500 \cdot 5000 = 17\,500\,000, \text{ руб./год}$$

Годовые затраты считаем по формуле (5.9):

$$З = З_{шт.} \cdot N_{изд.}, \text{ руб./год.} \quad (5.9)$$

Рассчитаем затраты, прибыль и рентабельность для варианта ТП на базе универсального оборудования:

$$З = 1788 \cdot 5000 = 8\,940\,000 \text{ руб./год,}$$

$$П = 17\,500\,000 - 8\,940\,000 = 8\,560\,000 \text{ руб./год,}$$

$$P = \frac{8\,560\,000}{8\,940\,000} \cdot 100\% = 95,74 \%$$

Рассчитаем затраты, прибыль и рентабельность для варианта ТП на базе оборудования с ЧПУ:

$$З = 1677,4 \cdot 5000 = 8\,387\,000 \text{ руб./год,}$$

$$П = 17\,500\,000 - 8\,387\,000 = 9\,113\,000 \text{ руб./год,}$$

$$P = \frac{9\,113\,000}{8\,387\,000} \cdot 100\% = 108,65 \%$$

Результаты сравнительного расчета экономической эффективности вариантов технологического процесса представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Результаты сравнительного расчета экономической эффективности вариантов технологического процесса

Критерии оценки	ТП на базе универсального оборудования	ТП на базе оборудования с ЧПУ
Затраты, руб.	8 940 000	8 387 000
Прибыль, руб.	8 560 000	9 113 000
Рентабельность, %	95,74	108,65

Вывод по пятому разделу

– в результате анализа полученных результатов, можно сделать вывод о том, что ТП на базе универсального оборудования требует меньших затрат на оборудование, но больших затрат на электроэнергию и заработную плату рабочим. Ввиду отличия по показателю рентабельности в сторону увеличения на 20%, ТП на базе оборудования с ЧПУ является наиболее выгодным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе (ВКР), на основе принятых конструкторско-технологических решений была достигнута поставленная цель – повышение эффективности процесса механической обработки деталей типа «Корпус блока вентильного» с использованием оборудования с ЧПУ и механизированных станочных приспособлений.

Для определения мероприятий по достижению цели был проведён анализ действующих технологий изготовления детали «Корпус блока вентильного», в результате которого были определены следующие задачи: разработка ТП обработки детали «Корпус блока вентильного» на базе универсального оборудования, а также на базе оборудования с ЧПУ; проектирование и разработка станочных приспособлений, а также специального режущего инструмента; исследование взаимодействия силы резания при торцевом фрезеровании с учётом траектории движения фрезы; анализ технологических процессов, и выбор наиболее экономически эффективного варианта.

В научном направлении имеет значение разработанные математические модели взаимодействия сил резания при торцевом фрезеровании с учётом траектории движения фрезы. В практическом направлении имеет значение сокращение времени производства детали типа «Корпус блока вентильного». Обоснованность, объективность и эффективность предлагаемых решений подтверждена технико-экономическими расчётами, публикацией в печати сборника «Прогрессивные технологии в машиностроении». Обоснованность и достоверность математической модели требует подтверждения в производственных экспериментах.

По результатам работы сформулированы общие выводы:

1 анализ действующих технологий изготовления показал, что на отечественных и зарубежных предприятиях существует возможность

										Лист
										106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ					

сокращения затрат времени: на этапе механической обработки – использование оборудования с ЧПУ;

2 при использовании технологии изготовления детали на базе оборудования с ЧПУ, из-за полной концентрации переходов на операциях, штучное время сократилось в 4 раза по сравнению с технологией изготовления на базе универсального оборудования;

3 при обработке деталей на станках с ЧПУ с использованием спроектированного приспособления и режущего инструмента производительность труда повысилась в 2 раза в результате сокращения вспомогательного времени с 5 мин. до 2,5 мин;

4 математическая модель взаимосвязи основных технологических параметров операции показывает, что смещение заготовки в процессе формообразования плоской поверхности вдоль оси параллельной губкам тисков, зависит от направления силы резания, и определяется: траекторией движения фрезы, диаметром инструмента, количеством зубьев РИ, подачей, глубиной срезаемого слоя, материалом заготовки, шириной заготовки;

5 разработана методика аналитического определения оптимального угла между силой резания и неподвижной губкой тисков;

6 ТП на базе оборудования с ЧПУ является наиболее выгодным, т.к. его рентабельность превышает на 20% рентабельность ТП на базе универсального оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Горохов В. А. Проектирование и расчет приспособлений: Учебное пособие для студентов вузов машиностроительных спец.- Мн.: Выш. Шк., 1986. –238 с.: ил.
- 2 A. Sas. The increasing control efficiency //Abstract. Of the second international congress protection 95. М.2008.- Р.197.
- 3 Wiesner, P. Umformwerkzeuge aus Blechamellen schnell und massgenau hergestellt./ P. Wiesner. – Hamburg: Produktion, – 2002. – С. 26 – 28.
- 4 Гузеев, В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков. – Москва: Машиностроение, 2007. – 368с.
- 5 Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для вузов. – 2 изд., перераб. и доп. – Машиностроение, 1983. – 277 с., ил.
- 6 Иванов М.Н. Детали машин. Учебник для машиностроительных специальностей вузов.- 8 изд., испр. – М.: Высш.шк., 2003. – 408 с.: ил.
- 7 Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. Справочник. – Машиностроение, 1982. – 327 с., ил.
- 8 Справочник технолога – машиностроителя. В двух томах. Изд. 3, переработанное. Том 2. Под ред. Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д-ра техн. Наук проф. А.Н. Малова. М., «Машиностроение», 1972, стр. 568
- 9 Батуев, В.В. Автоматизация производственных процессов в машиностроении учебное пособие к курсовому проекту / В.В. Батуев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 40 с.
- 10 Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть I. Нормы времени. – Москва: Изд. Экономика, 1990. – 473 с.

										Лист
										108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ

- 11 Бараненко, С. П. Пути повышения конкурентоспособности машиностроительных предприятий / С. П. Бараненко, К. Д. Бусыгин. – Экономика и социум: современные модели развития, 2014. – С. 184-196.
- 12 Кулыгин, В. Л. Исследование взаимодействия сил резания при торцевом фрезеровании с учётом траектории инструмента / В. Л. Кулыгин, П.А.Согрин, В. В. Мелехин // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2019. – С. 97 – 102.

					ЮУрГУ.150405.2020.261 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

ПРИЛОЖЕНИЯ  
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технические характеристики выбранного оборудования для варианта  
технологического процесса, спроектированного на базе универсального  
оборудования

Таблица 1 – Техническая характеристика токарного станка 16К20

Технические характеристики станка 16К20	Параметры
Диаметр обработки над станиной, мм	400
Диаметр обработки над суппортом, мм	220
Расстояние между центрами	1000 / 1500
Класс точности по ГОСТ 8-82	Н
Размер внутреннего конуса в шпинделе	Морзе 6 М80*
Конец шпинделя по ГОСТ 12593-72	6К
Диаметр сквозного отверстия в шпинделе, мм	55
Максимальная масса заготовки, закрепленной в патроне, кг	300
Максимальная масса детали, закрепленной в центрах, кг	1 300
Число ступеней вращения шпинделя, шт.	23
Число ступеней частот обратного вращения шпинделя	12
Пределы частот прямого вращения шпинделя, мин-1	12,5 - 2 000
Пределы частот обратного вращения шпинделя, мин-1	19 - 2 420
Число ступеней рабочих подач - продольных	42
Число ступеней рабочих подач - поперечных	42
Пределы рабочих подач - продольных, мм/об	0,7 - 4,16
Пределы рабочих подач - поперечных, мм/об	0,035-2,08
Число нарезаемых метрических резьб	45
Число нарезаемых дюймовых резьб	28
Число нарезаемых модульных резьб	38
Число нарезаемых питчевых резьб	37
Число нарезаемых резьб - архимедовой спирали	5
Наибольший крутящий момент, кНм	2
Наибольшее перемещение пиноли, мм	200
Поперечное смещение корпуса, мм	±15
Наибольшее сечение резца, мм	25
Мощность электродвигателя главного привода	10 кВт
Мощность электродвигателя привода быстрых перемещений суппорта, кВт	0,75 или 1.1
Мощность насоса охлаждения, кВт	0,12
Габаритные размеры станка (Д x Ш x В), мм	2 812 / 3 200 x 1 166 x 1 324
Масса станка, кг	3 035

Таблица 2 – Техническая характеристика фрезерный станок 6Р13

Технические характеристики	Параметры
Размеры рабочей поверхности стола, мм	1 600 x 400
Наибольшее продольное перемещение стола, мм	1 000
Наибольшее поперечное перемещение стола, мм	400
Наибольшее вертикальное перемещение стола, мм	430
Расстояние от торца шпинделя до рабочей поверхности стола, мм	70 - 500
Пределы частот вращения шпинделя, мин -1	31,5 - 1600
Ускоренное продольное перемещение стола, мм/мин	4 000
Ускоренное поперечное перемещение стола, мм/мин	4 000
Ускоренное вертикальное перемещение стола, мм/мин	1 330
Максимальная масса обрабатываемой детали с приспособлением, кг	1 250
Мощность электродвигателя привода шпинделя, кВт	11
Мощность электродвигателя привода стола, кВт	3
Конус шпинделя по ГОСТ 30064-93	ISO 50
Габаритные размеры станка (Д x Ш x В), мм	2 570 x 2 252 x 2 430
Масса станка с электрооборудованием, кг	4 300

Таблица 3 – Техническая характеристика сверлильного станка 2М112

Технические характеристики	Параметры
Максимальный диаметр сверления, мм.	12
Диапазон нарезаемой резьбы	-
Конус шпинделя	B18 (ГОСТ 9953-82)
Ход шпинделя, мм.	100
Диапазон частот вращения шпинделя, об./мин.	450 - 4500
Количество скоростей вращения шпинделя	5
Диапазон подач шпинделя, мм./об.	ручная
Расстояние от оси шпинделя до колонны, мм.	190
Наибольшее расстояние от торца шпинделя до плиты, мм.	50 - 400
Размер рабочей поверхности плиты, мм.	200 x 250
Мощность привода главного движения, кВт	0,55
Класс точности	Н
Напряжение питания, В	380
Габаритные размеры (LxВxН), мм.	795 x 370 x 950; (920 x 540 x 1000 в упаковке)
Масса, кг.	120; (140 брутто)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата