

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра Стандартизация, сертификация и технология машиностроения

Казиев Адильжан Бигалиулы

Разработать технологический процесс изготовления детали «вал» и сборки  
изделия «тележка», годовая программа 1500 штук

## ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 5В071200 - Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

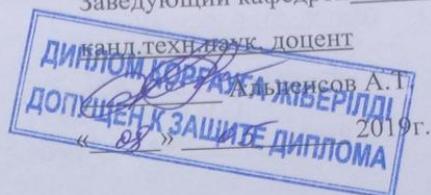
Казахский национальный технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра Стандартизация, сертификация и технология машиностроения

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ССиТМ



**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

к дипломному проекту

На тему: «Разработать технологический процесс изготовления детали «вал» и сборки изделия «тележка», годовая программа 1500 штук»

по специальности 5В071200 - Машиностроение

Выполнил:

Казиев А.Б.

Рецензент

Научный руководитель

Технолог АО «Машиностроительный завод им. С. М. Кирова»

канд.техн.наук, профессор

М.Г. Зинулла  
«06» 05 2019г.

Е.С. Аскарлов  
«06» 05 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казахский национальный технический университет имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева  
Кафедра стандартизации, сертификации и технологии машиностроения  
Шифр и наименование специальности 5В071200 – Машиностроение

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ССиТМ  
канд.техн.наук, доцент

(ученая степень, звание)

Альпеисов А.Т.

подпись Ф.И.О.

“ 08 ” 11 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Казиеву Адильжану Бигалиулы

Тема Разработать технологический процесс изготовления детали «вал» и сборки изделия «тележка», годовая программа 1500 штук

Утверждена приказом по университету № 1252-б от «06» 11 2018 г.

Срок сдачи законченной работы «13» мая 2019г.

Исходные данные к дипломному проекту:

Чертеж детали и сборочный чертеж

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

а) Маршрутная карта, операционная карта

б) Технологический процесс изготовления детали «вал»

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) А1-мелочка, А1-вал, А1-технические наладки, А1-патрон,

А1-технологические наладки, А1-вал, А1-план цеха

Рекомендуемая основная литература Список состоит из 23 сносков

### ГРАФИК

подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	примечание
Проектирование технологии изготовления вала	11.02 – 26.02.2019	<i>EM</i>
Разработка технологии обработки вала	20.02-18.03.2019	<i>EM</i>
Проектирование сборочного маршрута	26.03-24.04.2019	<i>EM</i>

### ПОДПИСИ

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование раздела	Научный руководитель, консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтроль	Абділқайыр Ж.Н.	08 05. 19	<i>[Signature]</i>

Научный руководитель \_\_\_\_\_ / *[Signature]* / Аскарлов Е.С. /  
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_ / *[Signature]* / Казиев А.Б. /  
(подпись) (Ф.И.О.)

Дата « 06 » 05 2019г.

## АНДАТПА

Берілген дипломдық жобада тораптың құрастырылуы және тетікті өңдеудің технологиялық процессті жобалаудың жалпы көрінісі қарастырылады. Алынған мәліметтерге сай құрастыруға және өңдеуге техникалық талаптардың анализі жүргізіледі. Берілген шығару бағдарламасына сай өндірістің типі анықталынады, таңдау және дайындаманы жасау әдісінің негізделуі жүргізіледі. Тораптың құрастырылуының технологиялық сұлбасы жасалынады, сонымен қатар тетіктің жеке беттерінің маршрутты өңделуі және оны жалпы өңдеудің операциянды технологиялар жасалынады. Тетік өңдеуінің технологиялық процесін жобалаудың жолында технологиялық процессті нормалау орындалады, тетік жасалуының еңбексыйымдылығы және бұйым жасаудың жалпы еңбексыйымдылығы анықталынады.

## АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрена общая картина проектирования технологического процесса сборки узла и обработки деталей. На основе имеющихся данных проводится анализ технических требований на сборку и обработку. С учетом заданной программы выпуска определяется тип производства, производится выбор и обоснование метода изготовления заготовки. Разрабатываются технологические схемы сборки узла, так же маршрута обработки отдельных поверхностей детали и операционной технологии обработки ее, в общем. В ходе проектирования технологического процесса обработки детали, выполняется нормирование тех.процесса, определяется трудоёмкость изготовления детали и общей трудоёмкости изготовления изделия.

## ANNOTATION

In the given degree project the overall picture of designing of technological process of assemblage of knot and processing of details is considered. On the basis of the available data the analysis of technical requirements on assemblage and processing is carried out. Taking into account the set program of release the manufacture type is defined, the choice and a substantiation of a method of manufacturing of preparation is made. Technological schemes of assemblage of knot, as route of processing of separate surfaces of a detail and operational technology of its processing, in general are developed. During designing of technological process of processing of a detail, rationing tech.процесса is carried out, labour input of manufacturing of a detail and the general labour input of manufacturing of a product is defined.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1. Проектирование технологического процесса сборки узла промежуточного вала	8
1.1 Служебное назначение промежуточного вала и анализ технических требований	8
1.2 Анализ конструкции узла на технологичность	8
1.3 Разработка технологической схемы сборки	10
1.4 Определение организационной формы сборки	10
2 Проектирование технологического процесса механической обработки вала	11
2.1 Служебное назначение вала и анализ технических требований	11
2.2 Определение типа производства	12
2.3 Анализ конструкции вала-шестерни на технологичность	13
2.4 Выбор и обоснование метода получения заготовки	14
2.5 Выбор технологических баз	15
2.6 Разработка маршрутной и операционной технологии обработки вала	17
2.7 Расчет припусков на обработку	20
2.8 Расчёт режимов резания	25
2.9 Нормирование технологических операций и определение трудоемкости производства детали	30
3 Конструирование приспособления	32
3.1 Исходные данные и задача конструирования приспособлений	32
3.2 Описание конструкции приспособления и принцип его действия	32
3.3 Составление схемы сил, действующих на заготовку и расчет зажимного устройств	34
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	36

## ВВЕДЕНИЕ

Машиностроение, составляющая часть научно-технического прогресса, является важнейшей отраслью промышленности.

Важнейшим условием ускорения научно-технического прогресса являются рост производительности труда, повышение эффективности производства и улучшение качества продукции.

В условиях рыночных экономических отношений возникает объективная жизненно важная необходимость повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Для сохранения конкурентоспособности продукции необходимо ускоренными темпами разрабатывать и производить более надежные и экономичные машины.

Совершенствование технологических методов изготовления машин имеет при этом первостепенное значение. Применение прогрессивных высокопроизводительных методов обработки, обеспечивающих высокую точность и качество поверхностей деталей машин; методов упрочнения рабочих поверхностей, повышающих ресурс работы деталей и машин в целом; снижение энерго-ресурсо затрат, эффективное использование станков с программным управлением – все это направлено на решение главных задач: повышения эффективности производства и качества продукции.

В настоящее время существуют типовые технологические процессы изготовления различных деталей. Однако развитие заготовительного производства и самой технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструментов приводит к необходимости пересмотра этих типовых технологий с позиции оптимизации, энерго- и материалосбережения при изготовлении деталей машин. Этим направлением практически занимаются все научные технологические школы и машиностроительные предприятия.

Валы весьма различны по служебному назначению, конструктивной форме, размерам и материалу. Несмотря на это, технологу при разработке технологического процесса изготовления валов приходится решать многие однотипные задачи, поэтому целесообразно пользоваться типовыми процессами, которые созданы на основе проведенной классификации.

В общем машиностроении встречаются валы бесступенчатые и ступенчатые, цельные и пустотелые, гладкие и шлицевые, валы-шестерни, а также комбинированные валы в разнообразном сочетании из приведенных выше групп. По форме геометрической оси валы могут быть прямыми, коленчатыми, кривошипными и эксцентриковыми (кулачковыми).

Наибольшее распространение в машиностроении, в том числе и станкостроении, получили различные ступенчатые валы средних размеров, среди которых преобладают гладкие валы.

## **1 Проектирование технологического процесса сборки узла промежуточного вала**

К исходным данным для проектирования технологических процессов сборки относят сборочный чертеж узла, технические условия его приемки, программу выпуска и предполагаемую длительность выпуска узла в годах. При большой программе выпуска узла технологический процесс сборки разрабатывают подробно, при малой — сокращенно. При проектировании используют справочные материалы.

### **1.1 Служебное назначение промежуточного вала и анализ технических требований**

Тележка представляет собой набор расположенных в едином раме и вращающихся вокруг параллельных осей валов с расположенными на них колес. В тележке присутствуют следующие валы: входной, выходной, промежуточный (имеет два промежуточных вала).

Промежуточный вал служит для передачи вращения от первичного вала к вторичному расположен между ними.

Промежуточный вал, установлена в двух подшипниках, внутри корпуса, закрытого крышкой. Также на вал-шестерне расположены шестерня закрытой передачи, находящаяся в зацеплении с колесом быстроходного вала.

В целом, технические требования на сборку редуктора аналогичны техническим требованиям на сборку типовых трехступенчатых редукторов и не имеет специальных условий сборки.

### **1.2 Анализ конструкции узла на технологичность**

Совершенство конструкции машины характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов ее изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства. Конструкцию машины, в которой эти требования учтены, называют технологичной.

Анализ технологичности изделия производится с учетом типа производства и метода выполнения работ. Конструкция тележки обеспечивает удобство сборки и разборки. При снятых крышках непосредственный визуальный контроль качества зубчатых передач; возможность проведения поузловой сборки; удобство и простоту замены износившихся подшипников. Применяемые посадки обеспечивают взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц. В конструкции узла совмещаются конструкторские, установочные и измерительные базы.

На технологичность конструкции сборочной единицы влияют разнообразные факторы, важнейшими из которых являются следующие:

- конструктивно-технологические свойства сборочной единицы и входящих в нее элементов;
- свойства средств технологического оснащения сборочных работ, производственные условия сборки.

Для обеспечения технологичности конструкции сборочной единицы в процессе конструирования изделия должны быть выполнены следующие условия:

- полная взаимозаменяемость деталей и узлов сборочной единицы, т.е. конструктивной оформлением деталей и узлов, исключающее подгоночные работы в процессе установки;
- обеспечение удобного подхода при использовании монтажно-сборочных инструментов и приспособлений;
- обеспечение применения дифференциальных схем сборки за счет рационального членения изделия на агрегаты, секции, узлы и детали.

Соблюдение этих условий позволяет выбрать наиболее оптимальный и прогрессивный вариант организации сборки.

Геометрические формы элементов конструкции данной сборочной единицы просты, что облегчает процесс сборки, так как не требуют использования специализированного или специального нестандартного технологического оборудования, инструмента и приспособлений для сборочных работ и контроля качества сборки.

Эффективными методами повышения технологичности конструкции сборочной единицы являются типизация и унификация конструктивных компоновок, узлов и деталей в пределах однотипных групп объектов производства. Унификация и стандартизация элементов сборочных единиц должны ограничивать применение типоразмеров таких конструктивных элементов, как болты, резьбы, модули зубчатых колес, диаметры отверстий. [1]

Государственный стандарт (межгосударственный стандарт для стран СНГ) рекомендует использовать следующие показатели технологичности конструкции изделий: трудоемкость изготовления; удельную материалоемкость изделия; технологическую себестоимость; удельную трудоемкость изготовления изделия; трудоемкость монтажа; коэффициент применимости материала; коэффициент унификации конструктивных элементов изделия; коэффициент сборности. Например, коэффициент стандартизации изделия определяется по формуле:

$$K_{ст} = \frac{D_{ст} + E_{ст}}{D - E}, \quad (1.1)$$

где  $E_{ст}$  — число стандартных сборочных узлов;

$D_{ст}$  — число стандартных деталей, не вошедших в состав сборочных

единиц;

$E$  и  $D$  — общее число сборочных узлов и деталей соответственно.

$$K_{ст} = \frac{20+8}{51-17} = 0,82$$

Полученный коэффициент стандартизации говорит о том, что деталь достаточно технологична.

### **1.3 Разработка технологической схемы сборки**

Технологическая схема сборки является основой для проектирования технологических процессов сборки. На основе схемы сборки определяют общий маршрут сборки изделия, поступление деталей на рабочие места и оборудование рабочих мест при сборке.

### **1.4 Служебное назначение промежуточного вала и анализ технических требований**

Тележка представляет собой набор расположенных в едином раме и вращающихся вокруг параллельных осей валов с расположенными на них колес. В тележке присутствуют следующие валы: входной, выходной, промежуточный (имеет два промежуточных вала).

Промежуточный вал служит для передачи вращения от первичного вала к вторичному расположен между ними.

Промежуточный вал, установлена в двух подшипниках, внутри корпуса, закрытого крышкой. Также на вал-шестерне расположены шестерня закрытой передачи, находящаяся в зацеплении с колесом быстроходного вала.

В целом, технические требования на сборку редуктора аналогичны техническим требованиям на сборку типовых трехступенчатых редукторов и не имеет специальных условий сборки.

## **2 Проектирование технологического процесса механической обработки вала**

Разработка технологического процесса механической обработки является одной из основных задач данного проекта, от которого зависят многие технико-экономические показатели по обеспечению качества и снижению себестоимости выпускаемой продукции. Каждый разрабатываемый технологический процесс должен обеспечить быструю подготовку производства определенного изделия с самыми минимальными трудовыми и материальными затратами.

### **2.1 Служебное назначение вала и анализ технических требований**

Разработка технологического процесса механической обработки детали начинается с тщательного изучения ее служебного назначения. Это позволяет обоснованно проанализировать (разработать) технические условия на изготовление. Служебное назначение детали и технические условия на нее являются следствием служебного назначения и технических условий на узел, в который входит эта деталь.

Рассматриваемая деталь: вал.

Деталь «вал» — материал сталь 45 по ГОСТ 4543-71. Он предназначен для передачи крутящего момента от быстроходного вала к тихоходному валу через зубчатую передачу. Шейки вала обрабатываются по 6-14 качеству точности, шероховатость  $Ra = 1,6-6,3$ . Ответственные поверхности выполняются с  $Ra = 1,6$ .

При обработке валов должны быть обеспечены в установленных пределах параллельность шпоночных канавок или шлицев, осей. Не допустима искривленность оси вала и тому подобное.

Необходимо учитывать, при подборе сталей для деталей, работающих при нагрузках, что нужно подбирать сталь такой марки, которая при данном сечении обеспечивает требуемую прочность при наибольших допустимых температурах отпуска. Это дает возможность изготавливать детали с наименьшими напряжениями.

При конструировании необходимо обеспечить требования к качеству детали, уменьшить и облегчить механическую обработку, исключить ее в труднодоступных местах.

Технические требования на изготовление изделия характеризуют основные параметры его качества, проверяемые при окончательном контроле или испытаниях. В технических требованиях на сборку изделий и сборочной единицы назначаются:

- точность пространственного расположения собираемых деталей и сборочных единиц, параллельность и перпендикулярность осей валов и плоскостей, радиальное и торцевое биение валов, зубчатых колес, фланцев;

- точность монтажных зазоров и натягов, обеспечивающих нормальную работу подшипников, зубчатых и зацеплений;
- характер и точность выполнения сопряжений;
- требуемое усилие или момент затяжки ответственных резьбовых соединений (шпилек, гаек, болтов, винтов);
- уравновешенность конструкции (допустимое значение дисбаланса);
- допустимая температура нагрева.

Анализ технических требований по параметрам расположения осей отверстий, плоскостей и других поверхностей деталей выявляют технологические задачи по выбору схем базирования, схем обработки, приспособлений и инструментов. При анализе технических требований и технологических задач обработки выбираем методы контроля технических требований при изготовлении детали. Окончательный контроль изделия осуществляется ОТК, внешним осмотром.

## 2.2 Определение типа производства

Тип производства устанавливаем по коэффициенту закрепления операции ( $\eta_{з.о.}$ ), для этого рассчитаем средний производственный такт ( $\tau_c$ ) и среднее штучное время изготовления детали по всем операциям ( $t_{шс}$ ). [2]

$$\eta_{з.о.} = \frac{\tau_c}{t_{шс}}; \quad (2.1)$$

$$\tau_c = \frac{F_D}{N_r}, \quad (2.2)$$

где  $F_D$  — действительный фонд рабочего времени оборудования, мин;  
 $N_r$  — годовой объем выпуска деталей, шт.;

$$F_D = F_n \cdot \eta_p, \quad (2.3)$$

где  $F_n$  — номинальный фонд рабочего времени оборудования в плановом

периоде, мин;

$\eta_p$  — коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт оборудования;

$$t_{шс} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{шi}}{m}, \quad (2.4)$$

где  $t_{шi}$  — норма штучного времени на  $i$ -ой операции;  
 $m$  — число операций.

$$F_{\delta} = 240900 \cdot 0,97 = 233673 \text{ мин,}$$

$$\tau_c = \frac{233673}{1000} = 233,673 \text{ мин,}$$

$$t_{\text{шс}} = \frac{100,01}{12} = 8,33 \text{ мин,}$$

$$\eta_{\text{з.о.}} = \frac{273,673}{8,33} = 28.$$

Таким образом, по численному значению  $\eta_{30}$  по ГОСТ 3.1121-84 видно, что производство будет серийным. Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объёмом выпуска, чем в единичном производстве. При серийном производстве используют универсальные станки, оснащённые как специализированным, так и универсальным оборудованием. В серийном производстве технологический процесс изготовления преимущественно дифференцирован, то есть, расчленён на отдельные самостоятельные операции, выполняемые на определённых станках.

### 2.3 Анализ конструкции вала-шестерни на технологичность

Вал-шестерня редуктора изготовлена из стали 45 - жаропрочная релаксационностойкая. сталь.

Таблица 2.1

Химический состав стали

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,32-0,4	до 0,37	до 0,7	до 0,3	до 0,035	до 0,035	0,8-1,1	0,15-0,25	до 0,3

Среднее содержание углерода обеспечивает вязкость сердцевины, что после азотирования позволяет получить высокую твердость поверхности зубьев и обеспечить достаточную прочность всей детали.

Добавки марганца повышают твердость и износостойкость стали.

Кремний увеличивает прочность, при сохранении вязкости, а также повышает упругость материала.

Добавки хрома при незначительном снижении пластичности, повышают прочность и коррозионную стойкость стали.

Молибден увеличивает упругость и коррозионную стойкость.

Также содержание молибдена является обязательными для азотируемости стали. В свою очередь азотирование позволяет значительно увеличить износостойкость и предел выносливости при циклопеременных нагрузках.

Совершенство конструкции и детали характеризуется ее соответствием современному уровню техники, экономичностью в эксплуатации, а также тем, в какой мере учтены возможности использования наиболее экономичных и производительных технологических методов ее изготовления применительно к заданному выпуску и условиям производства. Конструкцию детали, в которой эти требования учтены, называют технологичной. Рассматривается детали – вал-шестерня

Конфигурация поверхностей не вызывает значительных трудностей при получении заготовки. При анализе детали недостатков выявлено не было.

В данной конструкции детали отражены следующие основные требования технологичности:

- форма вала (или оси) и его конструкция определена величиной и расположением действующих на вал усилий; расположением на валу деталей, их посадками и способом крепления; расположением подшипников, их типом и размерами, условиями обработки и сборки узла, в состав которого входит данный вал;
- в конструкции вала предусмотрена возможность его изготовления без сложных приспособлений, что снижает себестоимость его изготовления;
- изготавливается из поковки, что уже изначально дает необходимые в некоторых местах радиусы скруглений (R25);
- для облегчения сборки вала, на который после изготовления должно быть насажено несколько деталей с различными посадками по системе отверстия, вал делается ступенчатым. У вала различные посадки по системе отверстия, осуществляются шлифованием отдельных участков вала с различными отклонениями от номинала;
- требования точности посадок и шероховатость соответствуют эксплуатации.

Деталь технологичная, допускает применение высокопроизводительных режимов резания, инструментов и оборудования.

Одним из показателей технологичности детали является коэффициент использования материала. Коэффициент использования материала определяется по формуле:

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{m_{\text{и}}}{m_{\text{з}}}, \quad (2.5)$$

где  $m_{\text{и}}$ — масса детали (изделия);

$m_3$  — масса заготовки.

Чтобы определить массу заготовки, определим ее объем:

$$V = \pi R^2 L \quad (2.6)$$

$$V = ((3,14 \cdot 0,0064 \cdot 0,132) \cdot 2) + ((3,14 \cdot 0,020736 \cdot 0,27) \cdot 2) + (3,14 \cdot 0,02325625 \cdot 0,25) = 0,058716156 \text{ м}^3$$

Тогда масса заготовки:

$$m_3 = V \cdot \rho \quad (2.7)$$

$$m_3 = 0,058716156 \cdot 7820 = 459 \text{ кг}$$

Получаем коэффициент использования материала:

$$K_{\text{и.м.}} = \frac{346}{459} = 0,754.$$

## 2.4 Выбор и обоснование метода получения заготовки

Выбор способа получения заготовки зависит от конструктивных форм и размеров готовой детали, марки материала, объема выпуска изделий и типа производства. При решении этого вопроса необходимо стремиться к максимальному приближению конфигурации заготовки к конфигурации готовой детали, т.е. снижению отходов, но при этом необходимо учитывать и себестоимость получения заготовки, особенно в условиях серийного производства.

Вал является одной из основных деталей редуктора, служит для передачи большого крутящего момента, понижения скорости вращения выходного вала.

Деталь должна изготавливаться из стандартных или унифицированных заготовок. Свойства материала детали должны удовлетворять существующей технологии изготовления, хранения и транспортировки. Конструкция детали должна обеспечить возможность применения типовых, групповых или стандартных технологических процессов. Конструкция детали должна обеспечивать возможность многоместной обработки. Возможность обработки максимального количества диаметров высокопроизводительными методами и инструментами.

Заготовку для детали «Вал» можно получить методом проката и методомковки на прессе. Сравним экономический эффект использования этих двух методов для получения заготовки.

Чтобы определить, какой способ получения заготовки более экономичен, так же следует сравнить массы заготовок, получаемых этими способами и их себестоимость. [3]

1) Заготовка из сортового горячекатаного проката круглого сечения:

$$K_{\text{круг}} = \frac{180 \text{ В ГОСТ 2590 } 82}{45 \text{ В ГОСТ 1050-74}}$$

Стоимость заготовки, полученной из проката:

$$C = M_3 \cdot S - (M_3 - M_d) \cdot S_{\text{отх}}, \quad (2.8)$$

где  $M_3$  и  $M_d$  — масса заготовки и готовой детали соответственно, кг;  
 $S$  — цена 1 кг металлопроката (высоколегированная – 1000 тг);  
 $S_{\text{отх}}$  — стоимость 1 кг отходов (стальная стружка – 50 тг).  
 $M_3 = 566$  кг;  
 $M_d = 346$  кг.

$$C = 566 \cdot 200 - (566 - 346) \cdot 50 = 102200 \text{ тг}$$

2) Проектный метод — ковка на прессе.

Стоимость кованной заготовки можно определить как:

$$C = S_3 \cdot M_3 \cdot K_c \cdot (5000/N)^{0,15} \cdot K_m \cdot K_b, \quad (2.9)$$

где  $S_3$  — стоимость 1 кг поковки принимаемая: для поковок, получаемых

на гидравлических прессах – 1000 тг;

$K_c$  — коэффициент сложности (поковки с незначительно меняющимся сечением – 1)

$K_m$  — коэффициент материала (сталь высоколегированная – 0,9);

$K_b$  — коэффициент массы заготовки – 0,7).

$$C = 250 \cdot 459 \cdot 1 \cdot (5000/1000)^{0,15} \cdot 0,9 \cdot 0,7 = 91811 \text{ тг}$$

Сравниваем 2 варианта получения заготовок. Они сопоставляются по годовой экономии металла от выбранного варианта заготовки:

$$\Delta_M = (M_{31} - M_{32}) \cdot N, \text{ кг}, \quad (2.10)$$

где  $M_{31}$  и  $M_{32}$  — масса заготовок по первому (более металлоемкому) и второму варианту соответственно;

$N$  — годовой объем выпуска (годовая программа).

$$\mathcal{E}_m = (566 - 459) \cdot 1000 = 107000, \text{ кг}$$

Экономический эффект (выбранного вида) изготовления заготовки:

$$\mathcal{E} = (C_{32} - C_{31}) \cdot N, \quad (2.11)$$

где  $C_{32}$  и  $C_{31}$  — стоимость заготовки по первому и второму варианту, соответственно.

$$\mathcal{E} = (102200 - 91811) \cdot 1000 = 10 \text{ млн. } 389 \text{ тыс. тг}$$

Из расчетов видно, что второй метод является более практичным и приемлемым и позволяет сэкономить 10 млн. 389 тысячи тенге, и расход материала в этом методе наименьший.

Заготовку для детали «Вал» выполняем методомковки на прессе, так как другими методами заготовку получать нецелесообразно, в основном из-за ее больших габаритных размеров. Поэтому далее все расчеты будут относиться к заготовке, полученной по второму методу.

## 2.5 Выбор технологических баз

Одним из наиболее сложных и принципиальных разделов проектирования технологических процессов механической обработки является назначение технологических баз.

Технологической называется база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

От правильности решения вопроса о технологических базах в значительной степени зависят:

- фактическая точность выполнения линейных размеров, заданных конструктором;
- правильность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей;
- правильность взаимного расположения обрабатываемых поверхностей;
- точность обработки, которую должен выдержать рабочий при выполнении запроектированной технологической операции;
- степень сложности и конструкция необходимых приспособлений, режущих и мерительных инструментов;
- общая производительность обработки заготовок.

При механической обработке заготовок на станках базированием принято считать придание заготовке требуемого положения относительно элементов станка, определяющих траектории движения подачи обрабатывающего инструмента.

При установке заготовок в приспособлениях решаются две различные задачи: ориентировка, осуществляемая базированием, и создание неподвижности, достигаемое закреплением заготовок.

При чистовой обработке рекомендуется также соблюдать принцип совмещения баз, согласно которому в качестве технологических базовых поверхностей используются конструкторские и измерительные базы. При совмещении технологической и измерительной баз погрешность базирования равна нулю.

Базы для окончательной обработки должны иметь наибольшую точность размеров и геометрической формы, а также наименьшую шероховатость поверхности. Они не должны деформироваться под действием сил резания, зажима и собственной массы.

Выбранные технологические базы должны совместно с зажимными устройствами обеспечивать надежное, прочное крепление детали и неизменность ее положения во время обработки.

Принятые базы и метод базирования должны определять более простую и надежную конструкцию приспособления, удобство установки и снятия обрабатываемой детали. На основе вышеизложенных рекомендаций назначим комплект единых технологических баз и базы для первой операции.

Выбор технологических баз один из ответственных моментов в разработке технологического процесса, т. к. он предопределяет точность обработки.

Основные принципы базирования: принцип постоянства и совмещения баз, принцип последовательной смены базы.

Принцип постоянства баз заключается в том, что на основных операциях технологического процесса следует использовать одни и те же поверхности в качестве базовых.

Принцип совмещения баз предусматривает, чтобы в качестве технологической базы, по возможности использовать поверхность являющейся измерительной базой или конструкторской.

Принцип последовательной смены баз заключается в том, что при смене баз следует переходить от менее к более точной базе.

Базы для окончательной обработки должны иметь наибольшую точность размеров и геометрические формы, а также наименьшую шероховатость поверхности. Они не должны деформироваться под действием сил резания, зажима и собственной массы.

Также выбранные технологические базы должны совместно с зажимными устройствами обеспечивать надежное, прочное крепление детали и неизменность ее положения во время обработки.

Принятые базы и метод базирования должны определять более простую и надежную конструкцию приспособления, удобство установки и снятия обрабатываемой детали. [4]

При обработке вала:

— конструкторской базой является ось вала;

- технологической базой являются центровые отверстия и торцы;
- измерительной базой является поверхность, от которой будут производиться отсчет и контроль размеров при обработке.

## 2.6 Разработка маршрутной и операционной технологии обработки вала

Разработка правильной маршрутной и операционной технологии позволяет получить оптимальную последовательность обработки деталей, сократить количество перемещений между станками, уменьшить количество переустановок, что приведет к повышению точности обработки, а также сократит время, необходимое для производства.

Все технологические процессы обработки детали «Вал» отражены ниже в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Маршрутная технология изготовления вала

Содержание операции	Оборудование
005 Заготовительная Получение поковки на прессе	Заготовительный цех
010 Фрезерно-центровальная Обрезание торцов вала и центрование	Фрезерно-центровальная станок МР-75; фреза торцовая насадная со вставными ножами из быстрорежущей стали по ГОСТ 1092—80, сверло центровочное комбинированное по <a href="#">ГОСТ 14952</a>
015 Токарная черновая Обтачивание шейки вала под люнет; обтачивание шеек вала с одной стоны.	Токарно-винтовой станок 16К20; проходной упорный резец ГОСТ 18879-73; трехкулачковый пневмопатрон и центр, люнет

Продолжение таблицы 2.2

Содержание операции	Оборудование
020 Токарная черновая Обтачивание шеек вала с другой Стороны, нарезание фасок	Токарно-винтовой станок 16К20; проходной упорный резец ГОСТ 18879-73; трехкулачковый пневмопатрон и центр, люнет
025 Токарная чистовая Обтачивание поверхностей шеек	Токарно-винтовой станок 16К20; проходной упорный резец ГОСТ

вала с одной стороны, обкатывание	18879-73 и фасонные резцы; трехкулачковый пневмопатрон и центр, люнет, универсальное приспособление рычажного типа для обкатывания валов на крупных токарных станках
030 Токарная чистовая Обтачивание поверхностей шеек вала и с другой стороны, обкатывание	Токарно-винтовой станок 16К20; проходной упорный резец ГОСТ 18879-73 и фасонные резцы; трехкулачковый пневмопатрон и центр, люнет, универсальное приспособление рычажного типа для обкатывания валов на крупных токарных станках
035 Фрезерная Фрезеровать паз	Продольно-фрезерный станок 6Т104; шпоночная фреза Ø63 мм по ИСО 1641-1-78; призмы
055 Шлифовальная Шлифовать два диаметра 50 мм	Круглошлифовальный станок 3М153; шлифовальный круг по ГОСТ2424-83; центр подвижный, патрон поводковый
060 Моечная	
065 Контрольная	

## 2.7 Расчет припусков на обработку

Припуск — слой материала, удаляемый с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой детали.

Припуски на механическую обработку и предельные размеры заготовки определяются на основе расчетно-аналитического метода профессора Кована В.М. по основным элементарным поверхностям, характеризующим размеры заготовок.

Факторами, влияющими на величину припуска, являются: тип производства, режимы резания, режущий инструмент, конструктивные формы и размеры обрабатываемых деталей. [5]

Для обрабатываемой заготовки намечаем установочные базы и технологический маршрут обработки. Записываем в расчетную таблицу обрабатываемые элементарные поверхности и последовательный порядок технологических переходов обработки по каждой элементарной поверхности.

Наименьший межоперационный припуск определяется по формуле:

$$2z_{\min} = 2 \left( R_z + h \right)_{i-1} + \sqrt{\Delta \sum_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \quad (2.12)$$

где  $R_z$  — микронеровности поверхностей, мкм;

- $h$  — глубина дефектного поверхностного слоя, мкм;  
 $\Delta_{\Sigma}$  — геометрическая сумма пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей, мкм;  
 $\varepsilon$  — погрешность установки, мкм;  
 $i-1$  — индекс, характеризующий предшествующую операцию;  
 $i$  — индекс, характеризующий данную операцию.

Рассчитываем припуск на размер  $\cap 50$  к6 (+0,094) мм.

Маршрут обработки:

1. Заготовка — поковка;
2. Токарная — черновая;
3. Токарная — чистовая;
4. Шлифовальная.

Обтачивание и шлифование производится в центрах, следовательно, отклонения расположения поверхностей равно:

$$\rho_o = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2}; \quad (2.13)$$

$$\rho_{см} = 0,5\text{мм}$$

$$\rho_{кор} = \Delta_k l = 0,05 \cdot 1060 = 530\text{мкм}, \quad (2.14)$$

где  $\Delta_k$  — удельная кривизна;  
 $L$  — длина заготовки;  
 $\Delta_k = 0,05\text{мкм/мм}$ .

Величина отклонения расположения заготовки центровки:

$$\rho_{ц} = 0,25 \sqrt{\delta_3^2 + 1}, \quad (2.15)$$

где  $\delta_3$  — допуск на поверхности, используемые в качестве базовых на фрезерно-центровальных операциях  
 $\delta_3 = 1,3$  мм

$$\rho_{ц} = 0,25 \sqrt{1,5^2 + 1} = 0,45\text{мм}$$

Суммарное отклонение расположения:

$$\rho_o = \sqrt{530^2 + 450^2} = 696\text{мкм}$$

Погрешность установки при базировании заготовки в центрах:  $\varepsilon_2 = 0$  мкм

Остаточное суммарное расположение заготовки после черновой обработки:

$$\rho_{\text{ост}} = K_y \cdot \rho_0, \quad (2.16)$$

где  $K_y$  - коэффициент уточнения

для перехода 2  $K_y = 0,06$

для перехода 3  $K_y = 0,04$

для перехода 4  $K_y = 0,02$

для перехода 5  $K_y = 0,01$

Тогда:

$$\rho_2 = K_{y2} \cdot \rho_0 = 696 \cdot 0,06 = 42 \text{ мкм},$$

$$\rho_3 = K_{y3} \cdot \rho_0 = 696 \cdot 0,04 = 28 \text{ мкм},$$

$$\rho_4 = K_{y4} \cdot \rho_0 = 696 \cdot 0,02 = 14 \text{ мкм}.$$

Погрешность установки на всех переходах равна нулю.

Расчет минимальных значений припусков производим по формуле:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}) \quad (2.17)$$

Минимальный припуск:

—под черновое точение:

$$2Z_{\min 1} = 2(1000 + 696) = 3392 \text{ мкм}$$

—под чистовое точение:

$$2Z_{\min 2} = 2(250 + 240 + 42) = 1064 \text{ мкм}$$

—под шлифование:

$$2Z_{\min 3} = 2(40 + 40 + 28) = 216 \text{ мкм}$$

Полученные данные заносим в таблицу 2.3.

Графу «Расчетный размер» ( $d_p$ ) заполняем, начиная с полного размера:

$$d_{p1} = 280 + 0,216 = 280,216 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 280,216 + 1,064 = 281,28 \text{ мм};$$

$$d_{\text{заг}} = 281,28 + 3,392 = 284,672 \text{ мм}.$$

Наименьший предельный размер определим округлив до того же знака что и у десятичной дроби, которой задан допуск. Наибольший предельный размер найдем прибавлением допуска к наименьшему.

$$d_{\text{max } 3} = 280 + 0,094 = 280,094 \text{ мм}$$

$$d_{\text{max } 2} = 280,22 + 0,32 = 280,54 \text{ мм}$$

$$d_{\text{max } 1} = 281,3 + 2,1 = 283,4 \text{ мм}$$

$$d_{\text{заг}} = 284,7 + 5,2 = 289,9 \text{ мм}$$

Рассчитываем значение припусков:

$$2Z_{\text{max } i}^{\text{пр}} = d_{\text{max } i-1} - d_{\text{max } i}, \quad (2.18)$$

$$2Z_{\text{max } 3}^{\text{пр}} = 280,5 - 280,094 = 0,446 \text{ мм},$$

№перехода	Технологический переход IT	Элементы припуска, МКМ				2Z <sub>min</sub> , МКМ	d <sub>min</sub> <sup>расч</sup> , ММ	Td <sub>i</sub> , МКМ	Пределные размеры, мм		Пределные припуски, МКМ	
		Rz <sub>i</sub>	h <sub>i</sub>	ρ <sub>i</sub>	ε <sub>уст<sub>i</sub></sub>				d <sub>max</sub>	d <sub>min</sub>	2Z <sub>max</sub>	2Z <sub>min</sub>
1	Заготовка-поковка	1000		696	--	--	284,672	5200	289,9	284,7	--	--
2	Черновое точение	250	240	42	--	3392	281,28	2100	283,4	281,3	6500	3400
3	Чистовое точение	40	40	28	--	1064	280,216	320	280,54	280,22	2860	1080
4	Шлифование	15	15	14	--	216	280	94	280,09	280	446	220

$$\begin{aligned}
2Z_{\max 2}^{\text{пр}} &= 283,4 - 280,5 = 2,86\text{мм}, \\
2Z_{\max 1}^{\text{пр}} &= 289,9 - 283,4 = 6,5\text{мм}, \\
2Z_{\text{mini}}^{\text{пр}} &= d_{\text{mini-1}} - d_{\text{mini}}, \\
2Z_{\text{min 3}}^{\text{пр}} &= 280,22 - 280 = 0,22\text{мм}, \\
2Z_{\text{min 2}}^{\text{пр}} &= 281,3 - 280,22 = 1,08\text{мм}, \\
2Z_{\text{min 1}}^{\text{пр}} &= 284,7 - 281,3 = 3,4\text{мм}
\end{aligned}
\tag{2.19}$$

Сделаем проверочный расчет:

$$T_{\text{заг}} - T_{\text{д}} = \sum 2Z_{\max} - \sum 2Z_{\min}, \tag{2.20}$$

где  $T_{\text{заг}}$  и  $T_{\text{д}}$  — допуск на заготовку и деталь соответственно;  
 $\sum 2Z_{\max}$  и  $\sum 2Z_{\min}$  — суммарный максимальный и минимальный припуск на обработку;

$$5200 - 94 = 9806 - 4700,$$

$$5106 \text{ мм} = 5106 \text{ мм}.$$

Расчеты выполнены верно.

## 2.8 Расчёт режимов резания

При обработке резанием наиболее выгодными считаются такие режимы обработки, которые обеспечивают наименьшую себестоимость механической обработки при удовлетворении всех требований к качеству продукции и производительности обработки.

В общем случае необходимо соблюдать определенную последовательность назначения режимов резания  $t \rightarrow S \rightarrow V \rightarrow n$ .

Расчет режимов резания на токарную операцию:

Режимы резания для точения цилиндрической поверхности  $\varnothing 50 \text{к6}$  определяем расчетно-аналитическим методом. [6]

Исходные данные:

Деталь — вал

Материал — сталь 45

Заготовка — поковка

Обработка — токарная черновая, чистовая

Тип производства — среднесерийное

Приспособление — патрон трехкулачковый самоцентрирующий, люнет

Обработка производится на токарно-винторезном станке модели 16К20.

Выбор режущего инструмента:

Обработка ведется сборным резцом для контурного точения, правым, с опорной пластиной 701-2204 ГОСТ 19073-80, резец – 2103-0711 ГОСТ 20872-80 [5].

Геометрические параметры режущей части :

—угол в плане  $\varphi=45^\circ$ ;

—задний угол  $\alpha=6^\circ$ ;

—передний угол  $\gamma=6^\circ$ ;

—радиус вершины резца  $r=0,8$  мм;

—угол наклона режущей кромки  $\lambda=0^\circ$ ;

—период стойкости  $T=30$  мин.

—максимальная глубина резания:

$$t_{\text{черн}}=(D_1-D_2)/2=(289,9-283,4)/2=3250 \text{ мкм}=3,25 \text{ мм} , \quad (2.21)$$

$$t_{\text{чист}}=(D_2-D_3)/2=(283,4-280,5)/2=1450 \text{ мкм}=1,45 \text{ мм} \quad (2.22)$$

При черновом точении подача выбирается из табл. 11[4]  $S=1$ мм/об, при чистовом точении из табл. 14 [4]  $S=0,2$  мм/об.

Скорость резания  $v$ , м/мин, определяется по формуле :

$$v=\frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_V, \quad (2.23)$$

где  $C_V$  — коэффициент, табличная величина;

$m$ ,  $x$ ,  $y$  — показатели степеней, табличные величины;

$T$  — период стойкости, мин;

$K_V$  — поправочный коэффициент.

Коэффициент  $C_V$  и показатели степеней выбираются по таблице 17 [6]:

—при чистовом точении:  $C_V=340$ ,  $x=0,15$ ;  $y=0,45$ ;  $m=0,20$ .

—при черновом точении:  $C_V=420$ ,  $x=0,15$ ;  $y=0,20$ ;  $m=0,20$ .

Коэффициент  $K_V$  определяется по формуле:

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{ПВ} \cdot K_{ИВ} , \quad (2.24)$$

где  $K_{MV}$  — коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки;  
 $K_{ПV}$  — коэффициент, учитывающий влияние состояния поверхности;  
 $K_{ИV}$  — коэффициент, учитывающий влияние материала инструмента;

Значение коэффициента  $K_{MV}$  определяется по формуле [4]:

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_V} \quad (2.25)$$

где  $K_{\Gamma}$  — коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости;

$\sigma_B$  — фактический параметр твердости материала;

$n_V$  — показатель степени;

$K_{\Gamma} = 1$  — при обработке резцами из твёрдого сплава [6];

$\sigma_B = 700$  МПа;

$n_V = 1,75$  — при обработке резцами из твёрдого сплава [6]

$$K_{MV} = 1(750/700)^{1,75} = 1,128,$$

где  $K_{ПV} = 0,8$  - для деталей из поковки [6];

$K_{ИV} = 1$  - для инструмента из сплава марки Т5К10 [6].

$$K_V = 1,128 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,903$$

Скорость при черновом точении:

$$V_{\text{чер}} = (340 / 30^{0,2} \cdot 3,25^{0,15} \cdot 1^{0,45}) \times 0,903 = 130 \text{ м/мин},$$

$$V_{\text{чист}} = (420 / 30^{0,2} \cdot 0,25^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}) \times 0,903 = 326 \text{ м/мин},$$

Частота вращения шпинделя  $n$ , об/мин, определяется по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \quad (2.26)$$

где  $D$  — диаметр заготовки, формируемый при обработке.

$$n_{\text{черн}} = (1000 \cdot 130) / (3,14 \cdot 283,4) = 146 \text{ об/мин} \approx 150 \text{ об/мин},$$

$$n_{\text{чист}} = (1000 \cdot 326) / (3,14 \cdot 280,5) = 370 \text{ об/мин}$$

Определяем фактическую скорость резания по формуле:

$$V_{\text{ф чср}}=(n \cdot \pi \cdot D)/1000=150 \cdot 3,14 \cdot 280/1000=132 \text{ м/мин},$$

$$V_{\text{ф чист}}=(n \cdot \pi \cdot D)/1000=370 \cdot 3,14 \cdot 280/1000=326 \text{ м/мин}$$

Определяем минутную подачу по формуле:

$$S_{\text{м чср}}=S_o \cdot n = 1 \cdot 150 = 150 \text{ мм/мин}, \quad (2.27)$$

$$S_{\text{м чист}}=S_o \cdot n = 0,2 \cdot 370 = 74 \text{ мм/мин.}$$

Выполним проверку достаточности мощности станка. Мощность, необходимая на резание определяется по формуле:

$$N_{\text{Э}} = \frac{P_z V}{61200}, \quad (2.28)$$

где  $P_z$  — сила резания;  
 $V$  — скорость резания.

Найдем силу резания по формуле [4]:

$$P_z=10C_p t^x s^y v^n K_p \quad (2.29)$$

где  $C_p=200$  - коэффициент;  
 $x=1; y=0,75; n=0$  – показатели степеней;  
 $t$  – глубина резания;  
 $s$  – подача;  
 $v$  – скорость;  
 $K_p$  – коэффициент, учитывающий фактические условия резания.

Находим его по формуле:

$$K_p=K_{\text{мр}}K_{\text{фр}}K_{\text{гр}}K_{\lambda\text{р}}K_{\text{тр}}=0,976 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93=0,907 \quad (2.30)$$

где  $K_{\text{мр}}$  — коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала, равен [4]:

$$K_{\text{мр}}=(\sigma_{\text{в}}/750)^n=(700/750)^{0,35}=0,976 \quad (2.31)$$

где  $\sigma_{\text{в}}=700$  – временное сопротивление разрыву [7];  
 $n=0,35$  – показатель степени.

$K_{\text{гр}}=0,93$  — коэффициенты, учитывающие влияние параметров режущей части инструмента [6].

Подставив все значения в формулу, найдем силу резания:

—для черновой обработки:

$$P_z = 10 \cdot 200 \cdot 3,25^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 408^0 \cdot 0,907 = 5895,5 \text{ Н}$$

—для чистовой обработки:

$$P_z = 10 \cdot 200 \cdot 1,25^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 750^0 \cdot 0,907 = 678 \text{ Н}$$

Мощность, потребная на резание, равна:

—для черновой обработки:

$$N_{\text{Э}} = \frac{P_z V}{61200} = \frac{5895,5 \cdot 132}{61200} = 12,7 \text{ кВт}$$

—для чистовой обработки:

$$N_{\text{Э}} = \frac{P_z V}{61200} = \frac{678 \cdot 326}{61200} = 2,01 \text{ кВт}$$

Определяем коэффициент использования станка по мощности:

$$\eta_M = \frac{N}{N_{\text{ст}}} = \frac{8,02}{15} = 0,53 \quad (2.32)$$

$N < N_{\text{ст}}$  — такая нагрузка по мощности допустима.

Результаты расчета сведены в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

Параметры резания на диаметр 50к6

Параметры	Черновая обработка	Чистовая обработка
Глубина резания, мм	3,25	1,45
Подача, мм/об	1	0,2
Минутная подача, мм/мин	150	74
Частота вращения шпинделя, об/мин	150	370
Скорость резания, м/мин	132	326
Мощность, кВт	12,7	2,01

Таблица 2.5

Режимы резания при обработке вала.

Вид обработки		t, мм	S, мм/об	V, м/мин	n, об/мин
005 Заготовительная (термическая)					
010 Фрезерно- центров-ая	Подрезание торцов	2,4	0,22	129	273
	Центров-е		0,3	19,4	514
015 Токарная черновая		2,4	0,83	339	718
020 Токарная черновая		2,4	0,83	339	718
025 Токарная чистовая		1,2	0,09	395	900
030 Токарная чистовая		1,2	0,09	395	900
035 Фрезерование пазов		1,5	0,11	32	162
055 Шлифовальная		0,05	5	1900	4654
060 Моечная		-	-	-	-
065 Контрольная		-	-	-	-

## 2.9 Нормирование технологических операций и определение трудоемкости производства детали

В серийном производстве определяется норма штучно-калькуляционного времени по формуле(1,101):

$$T_{ш-к}=(T_{п-з}/n)+T_{шт} \quad (2.37)$$

где  $T_{п-з}$  — подготовительно-заключительное время;

$n$  — количество деталей в партии;

$T_{шт}$  — штучное время, определяется по формуле:

$$T_{шт} = T_{опер}(1+(t_T + t_{ор} + t_{п})/100) \quad (2.38)$$

где  $t_T$  — время технического обслуживания, мин;

$$t_T = (4 - 6 \%) t_{оп};$$

$t_{ор}$  — время организационного обслуживания, мин;

$$t_{ор} = (2 - 6 \%) t_{оп};$$

$t_{п}$  — время перерывов работы, мин;

$$t_{п} = (2 - 4 \%) t_{оп};$$

$T_{опер}$  — операционное время, определяется по формуле:

$$T_{\text{опер}} = T_{\text{осн}} + T_{\text{всп}} \quad (2.39)$$

где  $T_{\text{осн}}$  — основное время, для каждой операции находится по разному;

$T_{\text{всп}}$  — вспомогательное время, определяется по формуле [9]:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} \quad (2.40)$$

где  $T_{\text{у.с}}$ - время на установку и снятия детали, мин;

$T_{\text{з.о}}$ - время на закрепление и открепление детали, мин;

$T_{\text{уп}}$ - время, связанное с управлением станка, мин;

$T_{\text{из}}$ - время на измерение детали, мин.

Посчитаем время на каждую операцию:

010 Фрезерно-центровальная операция:

Основное время:

—при центровании:

$$T'_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L}{nS} \cdot i = \frac{10 + 22}{273 \cdot 0,3} \cdot 2 = 0,83 \text{ мин}$$

где  $L_{\text{вр}}$ - длина врезания, мм;

$L$ - длина резания, мм;

$L_{\text{сх}}$ -длина схода, мм;

$n$ - частота вращения, об/мин;

$S$ - подача, мм/об.

—при фрезеровании торцов:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L}{S} \cdot i = \frac{10 + 140}{273} \cdot 2 = 1,098 \text{ мин}$$

Вспомогательное время:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} = 0,56 + 1 + 0,35 + 0,88 = 2,79 \text{ мин}$$

где  $T_{\text{у.с}} = 0,56$  мин, [9]

$T_{\text{з.о}} = 1$  мин, [9]

$T_{\text{уп}} = 0,35$  мин, [9]

$T_{\text{из}} = 0,88$  мин, [9]

Операционное время равно:

$$T_{\text{опер}} = 1,098 + 0,83 + 2,79 = 4,718 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{шт} = T_{опер}(1 + (t_T + t_{оп} + t_{п})/100) = 4,718(1 + (0,24 + 0,14 + 0,09)/100) = 4,74 \text{ мин}$$

$$\text{где } t_T = (4 - 6\%)4,718 = 0,2359 \text{ мин,}$$

$$t_{оп} = (2 - 6\%)4,718 = 0,142 \text{ мин,}$$

$$t_{п} = (2 - 4\%)4,718 = 0,09 \text{ мин.}$$

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{шт-к} = (15/10) + 4,74 = 6,24 \text{ мин}$$

015 Токарная черновая операция:

Основное время:

$$T_{осн} = \frac{L_{вр} + L + L_{сх}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{5 \cdot 5 + 77 + 55 + 150 + 47,5 + 25 + 5}{718 \cdot 0,83} \cdot 3 = 2,036 \text{ мин}$$

Вспомогательное время:

$$T_{всп} = T_{у.с} + T_{з.о} + T_{уп} + T_{из} = 0,56 + 2,75 + 0,83 + 0,48 = 4,57 \text{ мин}$$

$$\text{где } T_{у.с} = 0,56 \text{ мин, [9]}$$

$$T_{з.о} = 2,75 \text{ мин, [9]}$$

$$T_{уп} = 0,83 \text{ мин, [9]}$$

$$T_{из} = 0,48 \text{ мин. [9]}$$

Операционное время равно:

$$T_{опер} = 2,036 + 4,57 = 6,606 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{шт} = T_{опер}(1 + (t_T + t_{оп} + t_{п})/100) = 6,606(1 + (0,33 + 0,2 + 0,13)/100) = 7,61 \text{ мин}$$

$$\text{где } t_T = (4 - 6\%)6,606 = 0,33 \text{ мин,}$$

$$t_{оп} = (2 - 6\%)6,606 = 0,198 \text{ мин,}$$

$$t_{п} = (2 - 4\%)6,606 = 0,132 \text{ мин,}$$

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{шт-к} = (15/10) + 7,61 = 9,11 \text{ мин}$$

020 Токарная черновая операция:

Основное время:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L + L_{\text{сх}}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{5 \cdot 7 + 77 + 55 + 150 + 47,5 + 8,5 + 4,25 + 230,75 + 5 \cdot 7}{718 \cdot 0,83} \cdot 3 = 3,24$$

МИН

Вспомогательное время:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} = 0,56 + 2,75 + 0,83 + 0,48 = 4,57 \text{ МИН}$$

где  $T_{\text{у.с}} = 0,56$  МИН, [9]

$T_{\text{з.о}} = 2,75$  МИН, [9]

$T_{\text{уп}} = 0,83$  МИН, [9]

$T_{\text{из}} = 0,48$  МИН. [9]

Операционное время равно:

$$T_{\text{опер}} = 3,24 + 4,57 = 7,81 \text{ МИН}$$

Штучное время:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{опер}}(1 + (t_{\text{т}} + t_{\text{ор}} + t_{\text{п}})/100) = 7,81(1 + (0,39 + 0,23 + 0,23)/100) = 7,86 \text{ МИН}$$

где  $t_{\text{т}} = (4 - 6\%)7,81 = 0,39$  МИН,

$t_{\text{ор}} = (2 - 6\%)7,81 = 0,23$  МИН,

$t_{\text{п}} = (2 - 4\%)7,81 = 0,23$  МИН.

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{\text{ш-к}} = (15/10) + 7,86 = 9,36 \text{ МИН}$$

025 Токарная чистовая операция (точение и нарезания фасок):

Основное время:

—точение:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L + L_{\text{сх}}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{404,5}{900 \cdot 0,09} = 4,99 \text{ МИН}$$

—нарезание фасок:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L + L_{\text{сх}}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{1,6}{900 \cdot 0,09} = 0,04 \text{ МИН}$$

Вспомогательное время:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} = 0,56 + 2,75 + 1,23 + 0,48 = 4,97 \text{ мин}$$

где  $T_{\text{у.с}} = 0,56$  мин, [9]

$T_{\text{з.о}} = 2,75$  мин, [9]

$T_{\text{уп}} = 1,23$  мин, [9]

$T_{\text{из}} = 0,48$  мин. [9]

Операционное время равно:

$$T_{\text{опер}} = 4,99 + 0,04 + 4,97 = 10 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{опер}}(1 + (t_{\text{т}} + t_{\text{ор}} + t_{\text{п}})/100) = 10(1 + (0,5 + 0,3 + 0,3)/100) = 10,11 \text{ мин}$$

где  $t_{\text{т}} = (4 - 6\%)10 = 0,5$  мин

$t_{\text{ор}} = (2 - 6\%)10 = 0,3$  мин

$t_{\text{п}} = (2 - 4\%)10 = 0,3$  мин

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{\text{ш-к}} = (15/10) + 10,11 = 11,61 \text{ мин}$$

030 Токарная чистовая операция (точение и нарезания фасок):

Основное время:

—точение:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L + L_{\text{сх}}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{643}{900 \cdot 0,09} = 7,94 \text{ мин}$$

—нарезание фасок:

$$T_{\text{осн}} = \frac{L_{\text{вр}} + L + L_{\text{сх}}}{S \cdot n} \cdot i = \frac{1,6}{900 \cdot 0,09} = 0,04 \text{ мин}$$

Вспомогательное время:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} = 0,56 + 2,75 + 1,23 + 0,48 = 4,97 \text{ мин}$$

где  $T_{\text{у.с}} = 0,56$  мин, [9]

$T_{\text{з.о}} = 2,75$  мин, [9]

$T_{\text{уп}} = 1,23$  мин, [9]

$T_{\text{из}} = 0,48$  мин [9]

Операционное время равно:

$$T_{\text{опер}}=7,94+0,04+4,97=12,95 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{\text{шт}}=T_{\text{опер}}(1+(t_{\text{Г}}+t_{\text{оп}}+t_{\text{П}})/100)=12,95(1+(0,64+0,39+0,39)/100)=13,14 \text{ мин}$$

$$\text{где } t_{\text{Г}}=(4-6\%)12,95=0,64 \text{ мин}$$

$$t_{\text{оп}}=(2-6\%)12,95=0,39 \text{ мин}$$

$$t_{\text{П}}=(2-4\%)12,95=0,39 \text{ мин}$$

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{\text{шт-к}}=(15/10)+13,14=14,64 \text{ мин}$$

035 Фрезерование пазов:

Основное время:

$$T_{\text{осн}}=1,296 \text{ мин [10]}$$

Вспомогательное время:

$$T_{\text{всп}}=T_{\text{у.с}}+T_{\text{з.о}}+T_{\text{уп}}+T_{\text{из}}=0,56+1+0,49+0,66=2,71 \text{ мин}$$

$$\text{где } T_{\text{у.с}}=0,56 \text{ мин; [9]}$$

$$T_{\text{з.о}}=1 \text{ мин; [9]}$$

$$T_{\text{уп}}=0,49 \text{ мин; [9]}$$

$$T_{\text{из}}=0,66 \text{ мин. [9]}$$

Операционное время равно:

$$T_{\text{опер}}=1,296+2,71=4,006 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{\text{шт}}=T_{\text{опер}}(1+(t_{\text{Г}}+t_{\text{оп}}+t_{\text{П}})/100)=4,006(1+(0,2+0,12+0,12)/100)=4,03 \text{ мин}$$

$$\text{где } t_{\text{Г}}=(4-6\%)4,006=0,2003 \text{ мин}$$

$$t_{\text{оп}}=(2-6\%)4,006=0,12 \text{ мин}$$

$$t_{\text{П}}=(2-4\%)4,006=0,12 \text{ мин}$$

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{\text{шт-к}}=(15/10)+4,03=5,53 \text{ мин}$$

055 Шлифовальная операция:

Основное время:

$$T_{\text{осн}} = \frac{l_2 + L + B_{\text{кр}}}{S_n} \cdot i = \frac{13 + 9 + 230,75}{4654 \cdot 5} = 0,013 \text{ мин,}$$

$$T_{\text{осн}} = \frac{l_2 + L + B_{\text{кр}}}{S_n} \cdot i = \frac{13 + 9 + 77 + 160}{4654 \cdot 5} \cdot 2 = 0,03 \text{ мин}$$

где:  $l_2$  –  $\frac{1}{2}$  высоты круга;

$B_{\text{кр}}$  – ширина круга.

Вспомогательное время:

$$T_{\text{всп}} = T_{\text{у.с}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{из}} = 0,56 + 1,7 + 0,17 + 0,34 = 2,77 \text{ мин}$$

где  $T_{\text{у.с}} = 0,56$  мин; [9]

$T_{\text{з.о}} = 1,7$  мин; [9]

$T_{\text{уп}} = 0,17$  мин; [9]

$T_{\text{из}} = 0,34$  мин; [9]

Операционное время равно:

$$T_{\text{опер}} = 0,013 + 0,03 + 2,77 = 2,813 \text{ мин}$$

Штучное время:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{опер}} (1 + (t_T + t_{\text{оп}} + t_{\text{п}})/100) = 2,813 (1 + (0,14 + 0,08 + 0,08)/100) = 2,82 \text{ мин}$$

где  $t_T = (4 - 6\%) \cdot 2,813 = 0,14$  мин

$t_{\text{оп}} = (2 - 6\%) \cdot 2,813 = 0,08$  мин

$t_{\text{п}} = (2 - 4\%) \cdot 2,813 = 0,08$  мин

Штучно-калькуляционное время равно:

$$T_{\text{ш-к}} = (15/10) + 2,82 = 4,32 \text{ мин}$$

060 Моечная

Полное время 1,02 мин.

065 Контрольная операция:

Измерение шеек вала, 12 шеек в 2 местах скобой индикатором, одно измерение 0,22 мин [9], время 5,28 мин. Длина – шаблон линейный – 0,13 мин. Резьба – пробка резьбовая –  $0,4 \times 6 = 2,4$  мин. Паз – штангенциркуль – 0,06 мин. Контроль зубчатых колес –  $0,6 \times 2 = 1,2$ . Полное контрольное время 9,07.

Определяем общую трудоемкость:

$$T_{\text{ш-к}} = 6,24 + 9,11 + 9,36 + 11,61 + 14,64 + 5,53 + 17,93 + 5,9 + 5,28 + 4,32 + 1,02 + 9,07 = 100,01 \text{ мин}$$

### **3 Конструирование приспособления**

#### **3.1 Исходные данные и задача конструирования приспособлений**

Для того чтобы облегчить работу и повысить точность и производительность при механической обработке, необходимо спроектировать и сконструировать приспособление.

Станочными приспособлениями в машиностроении называют дополнительные устройства к металлорежущим станкам, применяемые для установки и закрепления деталей, обрабатываемых на металлорежущих станках.

Выбор станочных приспособлений зависит от формы, габаритных размеров и технических требований, предъявляемых к обрабатываемым деталям, а также от типа производства и программы выпуска изделий. [12]

В качестве исходных данных берут:

- схему базирования и закрепления детали на данной операции, то есть схему приспособления;
- данные технологического оборудования;
- данные режущего инструмента;
- геометрические размеры обрабатываемой детали;
- механические характеристики обрабатываемой детали.

Расчету подлежат:

- величина зажимного усилия;
- прочность несущих элементов приспособления;

#### **3.2 Описание конструкции приспособления и принцип его действия**

В машиностроении наибольшее применение имеют трехкулачковые клиновые и рычажные патроны с винтовым и механизированным приводом для перемещения кулачков. С механизированным приводом перемещения кулачков патроны используют в серийном и массовом производствах для закрепления штучных заготовок на различных токарных станках.

Основные размеры клиновых и рычажных патронов выбирают по ГОСТ 24351–80.

Для обработки вала на токарных, шлифовальных станках применяется трехкулачковый клиновый патрон с пневмоприводом.

Данное приспособление относят к группе специальных приспособлений, предназначенных для налаженных операций, закрепленных за станками. Приспособление разработано согласно технологическому процессу на конкретные операции и поэтому оно рассчитано на установку и закрепление однотипных заготовок. Данное приспособление обеспечивает высокую точность установки и быстрое закрепление, так как учитываются конструктивные особенности детали и способ установки обрабатываемой

детали. Для удешевления изготовления специальных приспособлений следует предусматривать в их составе широкое использование стандартных узлов и деталей. Сборка приспособлений в таких случаях не требует значительных затрат времени, так как для таких случаев достаточно подобрать готовые детали и собрать приспособление. Срок службы специальных приспособлений при постоянной нагрузке 3-5 лет.

Корпус патрона закрепляется на шпинделе станка с помощью переходного фланца, на другой стороне которого крепится пневмопривод.

При вращении патрон предохраняется от самоотвинчивания пружинным стопором, установленным в гайке, которая закреплена на винте. Винт резьбой соединяется с тягой штока пневмопривода и служит для регулирования радиального перемещения кулачков. Кулачки перемещаются к оси патрона под действием рычагов, укрепленных на штифтах и опирающихся на цилиндрические поверхности корпуса патрона.

При перемещении в пневмоцилиндре поршня со штоком слева направо, через винт и наклонные плоскости муфты, кулачки разводятся и деталь разжимается. К кулачкам крепятся винтами сменные губки.

Пневмопривод двухстороннего действия состоит из пневмоцилиндра, в котором размещены поршень со штоком, крышка, в отверстие которой запрессован хвостовик и не вращающаяся воздухораспределительная муфта с двумя штуцерами для подвода сжатого воздуха.

Принцип работы устройства следующий: от распределительного крана сжатый воздух по трубопроводу подводится к штуцеру, затем, пройдя по каналам в хвостовике, крышке и пневмоцилиндре, поступает в штоковую полость и перемещает поршень со штоком влево. При этом шток через винт перемещает втулку в патроне влево. При движении влево втулка поворачивает на осях рычаги, короткие плечи которых перемещают кулачки к центру и деталь зажимается.

После обработки детали распределительный кран переключается, воздух подводится к другому штуцеру и пройдя по каналу хвостовика, поступает в другую полость пневмоцилиндра и перемещает втулку с рычагами вправо, кулачки разводятся и разжимают деталь.

Исходя из опыта, для зажатия детали в патрон вручную необходимо затратить 1,5-2 минуты, а при использовании пневмопривода необходимо 20-30 секунд. Экономия времени на каждой операции составляет 1-1,5 минуты. В связи с тем, что у нас серийное производство (1000 штук) и приспособление применяется в 4 операциях, можно считать использование этого приспособления целесообразным. [13]

### **3.3 Составление схемы сил, действующих на заготовку и расчет зажимного устройства**

Усилие зажима детали одним кулачком патрона равно:

$$W = \frac{W_{\text{сум}}}{n}, \quad (3.1)$$

где  $n$  — количество кулачков в патроне;

$$W_{\text{сум}} = \frac{K \cdot P_z \cdot R_o}{f \cdot R}, \quad (3.2)$$

где  $K$  — коэффициент запаса;

$f = 0,25$  — коэффициент трения;

$R = 147,5$  мм — радиус зажатой детали;

$R_o = 120$  мм — радиус обработанной части детали

Определим коэффициент запаса для самоцентрирующегося трехкулачкового патрона с пневматическим приводом зажима:

$$K_{\text{зап}} = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,7 \quad (3.3)$$

$$W_{\text{сум}} = \frac{K \cdot P_z \cdot R_o}{f \cdot R} = \frac{5617,62 \cdot 2,7 \cdot 120}{0,25 \cdot 147,5} = 49358,88 \text{ Н}$$

$$W = \frac{49358,88}{3} = 16452,96 \text{ Н}$$

Определяем осевую силу на штоке. Для этого составим схему патрона и воспользуемся формулой требуемой силы привода.

$$Q = n K_1 \left( 1 + \frac{3 \cdot l \cdot f_1}{l_1} \right) \cdot \text{tg}(\beta + \alpha) \cdot W_0 \quad (3.4)$$

где  $K_1 = 1,05 - 1,2$  — коэффициент, учитывающий дополнительные силы

трения в патроне;

$f = 0,20 - 0,25$  — коэффициент трения между направляющей поверхностью кулачка и пазом корпуса патрона;

$\alpha = 40$  мм;  $h = 65$  мм;  $L = 55$  мм;  $L_1 = 65$  мм.

$$Q = 3 \cdot 1,05 \left( 1 + \frac{3 \cdot 58 \cdot 0,25}{161} \right) \cdot \text{tg}(18 + 2) \cdot 49359,88 = 17965,163 \text{ Н}$$

Определяем диаметр пневмоцилиндра

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta}{4} \quad (3.5)$$

откуда:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 17965,163}{3,14 \cdot 0,39 \cdot 0,85}} = 225 \text{ мм}$$

Принимаем диаметр пневмоцилиндра  $D=250$  мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения дипломного проекта был представлен технологический процесс сборки тележки. Выполнен анализ технологичности изделия с учетом типа производства и метода выполнения работ. Конструкция тележки обеспечивает удобство сборки и разборки. Применяемые посадки обеспечивают взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц. В конструкции узла совмещаются конструкторские, установочные и измерительные базы.

В данном проекте производство серийное, следовательно, организация работ — стационарная поточная сборка с дифференциацией работ и регламентированным темпом при большом оперативном времени.

Разработаны технологические процессы механической обработки вала, что соответствует требованиям к заданию дипломного проекта.

В проекте разработаны высокопроизводительные станочные пневматические приспособления. Приспособления обеспечивают требуемую точность и производительность.

Выбранные количество и типы (модели) оборудования и инструмента обеспечивают обработку деталей с минимальным временем и гарантированной надежностью. Срок окупаемости проектируемого производства составляет более 10 лет.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Амиров Ю. Д. Технологичность конструкции изделия/ Под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1990.
- 2 Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения/ Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Альянс, 2007.
- 3 Белькевич Б.А., Тимашков В.Д. Справочное пособие технолога машиностроительного завода. – Минск: Беларусь, 1972.
- 4 Основы технологии машиностроения /Под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977.
- 5 Маталин А.А. Технология машиностроения – Л.: Машиностроение, 1985.
- 6 Справочник технолога-машиностроителя /Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К. Мещерякова. Том 1. – М.: Машиностроение, 1986.
- 7 Справочник технолога-машиностроителя /Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К. Мещерякова. Том 2. – М.: Машиностроение, 1985.
- 8 Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1974.
- 9 Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно - заключительного для технологического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1977.
- 10 Укрупненные нормативы времени на работы, выполняемые на фрезерных, строгальных и долбежных станках в условиях серийного производства, 1994.
- 11 Нормативы времени для серийного производства, 1994.
- 12 Схиртладзе А.Г. Станочные приспособления/ Альбом. – М.: Станкин, 1998.
- 13 Справочник по станочным приспособлениям / Под ред. Б.Н. Вардашкина. Том 1. – М.: Машиностроение, 1984.
- 14 Безопасность жизнедеятельности в машиностроении/ Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 2002.
- 15 Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности/ Под ред. С.В. Белова, – М.: Высшая школа, 1999.
- 16 Куликов Г.Б. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Мир книги, 1998.
- 17 Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
- 18 Кукин П.П. Безопасность технологических процессов и производств. –М.: Высшая школа, 2001.
- 19 Зайцев Н.Л. Экономика промышленных предприятий. – М.: Инфа, 2008.
- 20 Трусова Л.И. Экономика машиностроительного производства. –Ульяновск.: Экономик, 2005.

- 21 Баранников М.М. Экономика машиностроения/ Под ред. А.С. Пелиха.  
– М.: Феникс, 2004.
- 22 Загородников С.В. экономика отрасли (машиностроение)/ Под ред.  
М.Г. Миронова. – М.: Инфа, 2006ю
- 23 Аврашков Л.Я. Экономика предприятия/ Под ред. В.Я. Горфинкеля.  
– М.: Инфа, 2002

