

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики _____
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение» _____
Кафедра ТМСПР _____

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы |
|---|
| Математическое моделирование и оптимизация технологического процесса обработки детали типа «Вал» |

УДК 621.822.3.002-048.34:519.876

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 8ЛМ51 | Тютчева Ксения Дмитриевна | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Боголюбова М.Н. | к.т.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|-------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент | Спицын В.В. | к.э.н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|---------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор | Федорчук Ю.М. | д.т.н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Зав. кафедрой | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| ТМСПР | Вильнин А.Д. | | | |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт __Кибернетики_____
Направление подготовки (специальность) _____ 15.04.01 «Машиностроение» _____
Кафедра __ТМСПР_____

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|----------------------------|
| 8ЛМ51 | Тютчевой Ксении Дмитриевне |

Тема работы:

Математическое моделирование и оптимизация технологического процесса обработки
детали типа «Вал»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3144/с от 15.05.2017 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| Исходные данные к работе | Технологический процесс изготовления детали типа «Вал» |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | <ol style="list-style-type: none">1. Составить обзор математических моделей и методов оптимизации технологических процессов.2. Определить критерий, по которому будет производиться оптимизация технологического процесса.3. Построение модели системы резания.4. Математическое моделирование технологического процесса.5. Оптимизация технологического процесса. Представить оптимизированный технологический процесс. |

| | |
|---|---|
| | 6. Выполнить задание для разделов финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение и социальная ответственность. |
| Перечень графического материала | |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Исследовательский | Боголюбова М. Н. |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Спицын В. В. |
| Социальная ответственность | Федорчук Ю. М. |
| Исследовательский (на англ. яз.) | Шепетовский Д. В. |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| Литературный обзор | |

| | |
|---|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|---|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------------------|------------------------|---------|----------|
| доцент | Боголюбова Мария Никитична | к. т. н. | | 17.03.16 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|----------|
| 8ЛМ51 | Тютчева Ксения Дмитриевна | | 17.03.16 |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 142 с., 13 рис., 25 табл., 37 источников, 1 прил.

Ключевые слова: оптимизация, технологический процесс, режимы резания, параметры технологического процесса, критерии оптимальности

Объектом исследования является технологический процесс изготовления детали типа «Вал»

Цель работы – математическое моделирование и оптимизация технологического процесса обработки детали типа «Вал»

В процессе исследования проводились: определение состава оборудования, расчет режимов резания, проектирование маршрутной технологии

В результате исследования разработан технологический процесс, с учетом оптимального состава оборудования, подобраны оптимальные режимы резания.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: параметры рассчитанных режимов резания полностью соответствуют техническим требованиям задания

Степень внедрения: 100%

Область применения: машиностроение, проектирование технологических процессов

Экономическая эффективность/значимость работы: повышение эффективности проектирования технологического процесса.

В будущем планируется внедрение разработанной методики в автоматизированный процесс проектирования оптимальных технологических процессов.

Оглавление

Реферат

Введение

| | |
|---|-----|
| 1. Задачи исследования для выполнения литературного обзора..... | 8 |
| 2. Литературный обзор..... | 9 |
| 2.1. Понятие оптимизации технологического процесса | 9 |
| 2.2. Выбор критериев оптимальности | 13 |
| 2.3. Выбор технических ограничений | 15 |
| 2.4. Виды оптимизации технологических процессов | 18 |
| 2.5. Структурная оптимизации технологических процессов | 20 |
| 2.6. Параметрическая оптимизация технологического процесса | 23 |
| 2.7. Постановка задачи исследования на основе литературного обзора | 26 |
| 3. Методика выполнения работы | 28 |
| 3.1. Методика исследования | 28 |
| 3.2. Оптимизация проектирования маршрута технологического процесса | 28 |
| 3.3. Параметрическая оптимизация | 41 |
| 4. Технологическая часть | 50 |
| 4.1. Чертёж детали и годовая программа выпуска | 50 |
| 4.2. Анализ чертежа и технологичности детали..... | 50 |
| 4.3. Технологический процесс | 54 |
| 4.4. Размерный анализ..... | 57 |
| 4.5. Расчёт режимов резания, выбор оборудования | 74 |
| 4.6. Нормирование операций | 82 |
| 5. Выводы..... | 87 |
| 6. Обзор научно-технической литературы на английском языке | 89 |
| 7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 104 |
| 7.1. Предпроектный анализ | 104 |

| | |
|--|-----|
| 7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... | 106 |
| 7.3 SWOT-анализ проекта | 108 |
| 7.4 Цели и результаты проекта | 110 |
| 7.5 План проекта | 112 |
| 7.6 Бюджет научного исследования | 115 |
| 8. Социальная ответственность..... | 126 |
| 8.1 Анализ опасных и вредных факторов | 128 |
| 8.2 Микроклимат | 129 |
| 8.3 Освещение | 131 |
| 8.4 Электробезопасность..... | 134 |
| 8.5 Профилактика пожара | 135 |
| 8.6 Экологичность | 136 |
| 8.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях | 137 |
| 9. Список литературы | 139 |

Введение

Машиностроение - это одна из ведущих отраслей промышленности, благодаря которой развивается научно-технический процесс. Главная цель машиностроительного производства, это - проектирование, разработка и производство машин, механизмов и различных изделий. Для повышения качества изделий, требуется улучшение технологий механической обработки, ведь до 80% деталей должны проходить механическую обработку и занимают они 40% от общей трудоемкости изготовления деталей и механизмов. Также важно повышать скорость изготовления изделий благодаря совершенствованию проектирования и производства деталей. Для достижения наилучших результатов необходимо смоделировать и рассмотреть множество возможных вариантов и выбрать наилучший, так как в различных ситуациях могут быть получены совершенно разные решения результаты.

В зависимости от выбранного критерия эффективности понятие «наилучший» может быть выражено количественными такими показателями, как минимум затрат, минимум времени, максимум прибыли и т. д.

В настоящее время тема оптимизации технологических процессов является актуальной, так как это необходимое условие для повышения конкурентоспособности предприятия, за счет повышения производительности при минимальной себестоимости продукции.

Для исследования и нахождения наилучшего варианта в данной магистерской диссертации применяются математические модели и методы линейного и нелинейного программирования для построения оптимального технологического процесса, визуальные графические формы на базе Delphi, отображающие зависимости критериев эффективности от параметров технологического процесса.

1. Задачи исследования для выполнения литературного обзора.

Задачи обзора:

1. Составить обзор математических моделей и методов оптимизации технологических процессов.
2. Определить критерий, по которому будет производиться оптимизация технологического процесса.
3. Построение модели системы резания.
4. Математическое моделирование технологического процесса.
5. Оптимизация технологического процесса.
6. Представить оптимизированный технологический процесс.

2. Литературный обзор

2.1 Понятие оптимизации технологического процесса.

При проектировании технологического процесса решается ряд задач, которые являются многовариантными. К таким задачам относятся, такие как выбор оборудования, расчет режимов резания, выбор режущего инструмента и т.д. В проектируемом технологическом процессе, даже для простых деталей, возможно большое количество различных комбинаций переходов, схем базирования, методов обработки и компоновок операций, а в более сложных их количество в разы больше.

Разные варианты ТП изготовления одной и той же детали вследствие различий в структуре, применяемом оборудовании, инструменте, режимах резания и т.д. имеют различные выходные показатели: производительность, себестоимость, расход металла, загрузку оборудования и др. [16]

Наличие нескольких вариантов решения задачи (вариантов ТП) естественным путем приводит к задаче выбора наилучшего варианта. В нашем случае таковым будет вариант ТП, обеспечивающий выполнение в конкретных производственных условиях все требования чертежа детали и дающий наилучшее значение выходных показателей. Такой технологический процесс носит название *оптимального*. Таким образом, задача проектирования ТП по своей природе является оптимизационной.

Оптимизация (от лат. optimum — наилучший) — это процесс нахождения экстремума некоторой количественной величины (параметра) проектируемого объекта, представляемой в виде функции (функционала). Если эта функция характеризует положительное свойство объекта, то ищется максимальное ее значение, если отрицательное — то минимальное.

Широкое использование во всех сферах инженерной деятельности различных методов и приемов оптимизации, в основе которых лежит определенный

математический аппарат, позволило сформировать целое направление прикладной математики, получившее название «исследование операций».

Теория оптимизации в современном представлении включает совокупность фундаментальных математических результатов и численных методов, ориентированных на нахождение наилучших вариантов из множества альтернатив и позволяющих избежать полного перебора и сравнения возможных вариантов.

Методы оптимизации в зависимости от вида функции цели и ограничений подразделяются на классический метод дифференцирования, линейное, квадратичное, выпуклое и динамическое программирование.

С точки зрения стратегии поиска оптимума выделяют четыре группы методов оптимизации: аналитические, рекурсивные, итерационные, стохастические.

Аналитические методы находят применение при решении классических задач и задач с ограничениями в виде уравнений. Для решения задач без ограничений используют методы исследования производной функции. Путем приравнивания производной нулю отыскиваются точки экстремума, а затем исследуются точки с помощью второй производной для отыскания максимума. Таким способом решаются простые технологические задачи, например выполняется расчет режимов резания, выбор параметров режущего инструмента и др.

Рекурсивные методы относятся к методам, позволяющим определить одну переменную за одну расчетную операцию. Решение всей задачи осуществляется путем поочередного определения переменных. Наиболее распространенным среди этих методов является динамическое программирование. Этот метод можно использовать при анализе многоэтапных процессов принятия решения, например при оптимизации

маршрутных ТП. Однако метод динамического программирования эффективен при небольшом числе ограничений, вводимых в математическую модель, поэтому он пока не получил широкого распространения при решении технологических задач.

Итерационные методы объединяют наибольшую группу методов поиска оптимумов. К ним относятся способы расчета функции цели в одной или нескольких вероятностных точках для определения «лучшей» точки. Расчет выполняют до тех пор, пока не приблизятся к назначенному критерию на расстояние, меньшее некоторого заданного значения. Эти методы позволяют устанавливать только локальные оптимумы, однако они могут применяться в случаях, когда оптимизацию проводят в различных исходных точках. Оптимумы, определяемые этим способом, представляют собой достаточно точное решение относительно абсолютного оптимума.

Различают два больших класса итерационных методов: методы линейного и нелинейного программирования.

Линейное программирование применяют для решения линейных задач, когда функции цели и ограничения являются линейными, а все переменные — непрерывными функциями. В основу этого программирования положено утверждение, что точка оптимума целевой функции находится в одной из вершин выпуклого многогранника определяющего область возможных решений. Наиболее известным итерационным методом решения линейных задач является симплекс-метод.

Для методов нелинейного программирования характерно непосредственное отыскание оптимума. Эти методы разделяются на две группы: методы, базирующиеся на расчетах градиентов, и методы, при использовании которых этот расчет не требуется. К первой группе относится метод наискорейшего спуска, а ко второй — метод Фибоначчи, основанный на отыскании оптимума вдоль произвольно выбранного направления. Все

методы непосредственного поиска оптимума включают операции выбора направления поиска и длины шага. Отдельные методы имеют разные критерии выбора этих двух параметров. Большинство методов непосредственного отыскания оптимума не может быть применено к математическим моделям с ограничениями. В этом случае предварительно необходимо привести математическую модель с ограничениями к модели без ограничений. Для этой цели используются специальные математические методы: метод штрафных функций, метод множителей Лагранжа.

Стохастические методы оптимизации (методы случайного поиска решений) включают процедуры накопления и обработки информации, в которые сознательно вводится элемент случайности. Преимущества этих методов заключаются в их простоте, надежности, достаточной точности и легкости программирования. В результате методы случайного поиска стали одними из наиболее эффективных методов оптимизации. [30]

Стохастические методы оптимизации применяются для различных задач технологического проектирования процессов изготовления деталей при наличии большого числа случайных факторов, которые не представляется возможным описать в традиционной математической форме.

Из проведенного литературного обзора следует, что для постановки задачи оптимизации технологического процесса необходимо сформировать математическую модель процесса обработки детали (сборки изделия), которая должна включать следующие составляющие:

1. Критерий (критерии) оптимальности ТП.
2. Целевую функцию.
3. Систему ограничений.
4. Четко определенные входные, выходные и внутренние параметры.

5. Управляемый (варьируемый) параметр или управляемые (варьируемые) параметры, которые выделяются из числа внутренних параметров.

2.2 Выбор критериев оптимальности

При разработке оптимального технологического процесса наиболее важным является обоснование цели и оценка эффективности технологических операций или ее отдельных элементов, например, режимов резания.

В задачах, которые встречаются в условиях оптимизации ТП, критерии оптимальности могут быть различными, однако все они должны удовлетворять определенным требованиям:

- ✓ обладать достаточной полнотой описания объекта;
- ✓ иметь определенный физический смысл;
- ✓ быть количественными и выражаться однозначно некоторым числом;
- ✓ иметь простой математический вид;
- ✓ определяться с допустимой точностью.

В зависимости от вида и уровня задач оптимизации (расчет режимов резания, проектирование операции и технологического процесса или оценка работы предприятия в целом) основные используемые критерии оптимальности можно подразделить на следующие виды:

1. Экономические:

- ✓ минимальная себестоимость;
- ✓ наименьшие народнохозяйственные приведенные затраты;
- ✓ наименьшие приведенные хозрасчетные затраты;
- ✓ наибольшая прибыль;
- ✓ рентабельность;

- ✓ минимальный уровень затрат на производство (минимальные затраты на электрическую и другие виды энергии, на основные и вспомогательные материалы, на фонд заработной платы и др.).

2. Техничко-экономические:

- ✓ максимальная производительность;
- ✓ наименьшее штучное время;
- ✓ основное и вспомогательное время;
- ✓ коэффициент полезного действия оборудования;
- ✓ надежность работы системы оборудования или отдельных ее элементов;
- ✓ станкоемкость изделия;
- ✓ стабильность технологического процесса обработки.

3. Технологические:

- ✓ точность изготовления изделия,
- ✓ показатели качества поверхности изделия
- ✓ (шероховатость, волнистость, микротвердость, остаточные напряжения и др.);
- ✓ физико-химические свойства изделий;
- ✓ стойкость инструмента;

4. Эксплуатационные:

- ✓ износостойкость;
- ✓ усталостная прочность;
- ✓ контактная жесткость и другие показатели долговечности изделий.

5. Прочие: психологические; эстетические; эргономические.

Наибольшее распространение при решении задач оптимизации технологического проектирования получили экономические и технико-

экономические критерии оптимальности. Это связано с тем, что в основе разработки любого ТП или решения более частной задачи, например расчета режимов резания, лежат два принципа: технический и экономический. В соответствии с первым принципом технологический процесс должен гарантировать выполнение всех требований на изготовление изделия. Вторым принципом определяются условия, обеспечивающие минимальные затраты труда и наименьшие издержки производства. Первый принцип наиболее полно отражается минимальной себестоимостью из группы экономических критериев, а вторым — максимальной производительностью из группы технико-экономических критериев.

Технологические и эксплуатационные критерии оптимальности используются при обеспечении требуемого качества наиболее ответственных изделий (точности, качества поверхности, физико-химических свойств и др.), а также эксплуатационных свойств отдельных деталей, определяющих надежность и долговечность машин.

При решении задач оптимизации процессов механической обработки часто возникает необходимость одновременного достижения нескольких противоречащих друг другу целей. Принимая решения, улучшающие оценки одного критерия, например минимальной себестоимости операции, мы ухудшаем тем самым оценки по другим критериям, например наибольшей производительности и др. В таких случаях возникает задача оценки и сравнения различных проектных решений при так называемом векторном критерии эффективности. С этой целью используют обобщенные критерии, которые являются скалярными функциями частных критериев и учитывают степень достижения всех целей в совокупности, отражая относительную значимость каждого критерия в отдельности.

2.3 Выбор технических ограничений

Оптимизация технологических процессов зависит также от правильного выбора технических ограничений, которые определяют область существования оптимальных решений. Следует иметь в виду, что не может быть речи о каком-либо оптимальном ТП в общем смысле, поэтому поиск оптимального технологического процесса должен быть ограничен определенными технологическими условиями. Чем точнее сформулированы ограничения, вытекающие из производственных условий, тем меньше вариантов процесса, рассматриваемого в качестве основы для выбора оптимального решения. В общем виде все параметры (величины, характеризующие элементы процесса обработки), определяющие состояние объекта в произвольный момент времени, могут быть представлены в виде следующих векторов:

1) вектора входных и возмущающих параметров $V=(v_1, v_2, \dots, v_p)$. К входным параметрам относятся неуправляемые переменные, связанные с объектом обработки и состоянием оборудования.

Возмущающие параметры связаны с проявлением случайных величин, характеризуемых изменениями неконтролируемых характеристик заготовки или внешней среды;

2) вектора технологических параметров $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Компоненты этого вектора являются управляемыми переменными, позволяющими выбирать необходимые условия обработки. Обязательным условием технологических параметров является возможность их управления и контроля;

3) вектора выходных параметров $Y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$. Выходные параметры, ранее названные производными переменными, определяют основные характеристики качества продукции и технико-экономические показатели, связанные с рассматриваемым процессом.

Значение каждого из рассмотренных параметров находится в определенном интервале, задаваемом физической природой данного параметра или требованиями к технологическому процессу, поэтому группа ограничений, связанная с диапазоном варьирования параметров, может быть представлена в виде следующей совокупности неравенств:

$$v_{k \min} \leq v_k \leq v_{k \max}, k = 1, \dots, p$$

$$x_{i \min} \leq x_i \leq v_{i \max}, i = 1, \dots, n$$

$$y_{j \min} \leq y_j \leq y_{j \max}, j = 1, \dots, p$$

Решение задач технологического проектирования связано с учетом большого числа факторов, определяющих выполнение какого-либо процесса обработки. Причем в каждой задаче требуется учитывать определенную группу факторов, в наибольшей степени влияющую на принимаемые решения.

Анализ процессов механической обработки показывает, что в большинстве случаев требуется учитывать пять основных групп факторов.

Первая группа факторов характеризует объект обработки (заготовку). Ее составляют вид материала, твердость и другие механические свойства, способ получения заготовки, ее размеры, масса, точность размеров, шероховатость поверхности.

Ко второй группе факторов относятся основные параметры орудий труда (станка, приспособления, инструмента): вид, кинематика и динамика станка, жесткость, прочность и точность отдельных элементов и системы в целом.

Третью группу факторов составляют выбираемые параметры инструмента для исследуемого процесса обработки: физико-механические свойства материала режущей части инструмента, геометрические параметры его

заготовки, размеры и точность, степень изнашивания, шероховатость поверхности, зернистость и вид связки, стойкость инструмента.

Четвертая группа факторов характеризует процесс механической обработки. Сюда относятся время и глубина обработки, скорость, подача, число проходов, усилие резания, давление, вид и способ подачи технологических сред.

Пятая группа факторов — это технико-экономические показатели: расход и износ инструмента и станка, производительность и себестоимость обработки, качество изделия (точность, шероховатость поверхности и физико-химические свойства), вид и форма детали.

Вектор входных параметров V объединяет первую и вторую группы векторов. Вектор технологических параметров X формируется из третьей и четвертой групп факторов, а вектор выходных параметров Y включает пятую группу факторов.

Выбор необходимого числа параметров обработки связан с требуемой точностью описания математической модели процесса обработки и структурным уровнем отыскиваемых проектных решений. Так, при проектировании маршрута обработки в качестве технических ограничений учитываются вид и материал заготовки, вид и форма детали, ее точность, шероховатость поверхности и физико-химические свойства, вид станка, традиционная форма обработки на заводе, серийность и др.

Наиболее полно описывается математическая модель процесса обработки при выборе оптимальных режимов резания, точность получения которых во многом зависит от числа и достоверности описания технических ограничений.

2.4 Виды оптимизации технологических процессов

Задача оптимизации ТП является комплексной и требует проведения анализа и выбора технологических решений на различных уровнях проектирования. Она обеспечивает минимальные значения приведенных затрат с одновременным соблюдением ряда технических ограничений.

Различают три вида оптимизации ТП:

1) *структурную оптимизацию* — выбор оптимального технологического маршрута, операции, перехода, вида и методов изготовления заготовки, способов базирования, оборудования, приспособлений, инструмента и т. д.;

2) *параметрическую оптимизацию* — выбор оптимальных параметров: допусков на межоперационные размеры, припусков, режимов резания, геометрических размеров режущего инструмента и др.

3) *структурно – параметрическую*, которая представляет собой комбинацию двух первых.

Последний вид оптимизации отражает комплексный подход к процессу автоматизированного проектирования и является наиболее сложным. Так, при параметрической оптимизации необходимо иметь решение о выборе структуры соответствующего уровня. В то же время структурная оптимизация требует знания значений параметров, входящих в соответствующую структуру. Это противоречие может быть устранено при построении алгоритмов оптимизации технологических процессов за несколько итераций.

С точки зрения структурного описания уровней ТП различают этапы проектирования маршрута, операции и переходов. Здесь возможны два подхода к построению принципиальной схемы технологического процесса:

1) маршрут → операция → переход;

2) переход → операция → маршрут.

В первом случае производится последовательный синтез сначала вариантов принципиальных схем обработки, а затем вариантов маршрута и операции. На каждом последующем этапе решения предыдущего этапа

детализируются (как правило, в нескольких вариантах). Второй подход основан на анализе отдельных поверхностей и проектировании переходов их обработки. Далее переходы упорядочиваются в операции, а операции упорядочиваются в маршрут обработки детали.

Главной особенностью оптимизации технических решений в рассмотренных подходах является необходимость использования на всех уровнях различных критериев оптимальности. Анализ этих критериев показывает, что с точки зрения согласования оптимальных решений разных уровней предпочтительнее разработка процессов от наиболее общих вопросов к их детализации, что больше свойственно первому подходу. При этом возникает задача получения оптимального решения при проектировании ТП в целом за счет оптимизации отдельных технологических решений на всех уровнях проектирования.

Для реализации рассматриваемого процесса проектирования в САПР ТП используется итерационный многоуровневый процесс оптимизации, содержанием которого является многократное повторение процедур анализа, синтеза и оценки. Анализ исходных данных, условий и ограничений позволяет установить границы области возможных технологических решений. С помощью процедур синтеза получают технологические решения, допустимые по совокупности граничных условий. Лучшие по некоторому критерию решения отбираются процедурами оценки.

2.5 Структурная оптимизация технологических процессов

В общем виде задачу структурной оптимизации можно сформулировать как задачу выбора наилучшей структуры ТП для этого нужно, во-первых, предъявить определенные требования к совокупности выполняемых операций, и, во-вторых, ввести некоторые критерии предпочтения одной структуры другой.

При разработке ТП структурная оптимизация используется на следующих этапах процесса проектирования:

- ✓ выбор заготовки и методов ее изготовления,

последовательном переборе возможных вариантов. Чтобы выбрать один оптимальный вариант, необходимо до конца спроектировать очень большое количество допустимых техническими и технологическими ограничениями вариантов ТП.

Для реального ТП изготовления деталей даже средней сложности таких вариантов может быть огромное множество. Перебор всех вариантов даже при помощи современных быстродействующих компьютеров занимает очень большое время. Для уменьшения времени проектирования используются следующие приемы.

Прием 1. Эффективность процесса проектирования можно резко повысить, если организовать отбор рациональных вариантов проектных решений на каждом уровне проектирования. Однако при этом возникает проблема формирования критериев промежуточного отбора наиболее рациональных вариантов на различных уровнях. Например, на уровне (этапе) выбора заготовки анализ вариантов можно производить по критерию «себестоимость заготовки». Данный критерий можно достоверно рассчитать на этом этапе. Но указанный критерий не является до конца объективным. «Дешевая» заготовка (например, круглый прокат для изготовления вала) даст «дорогую» механическую обработку. А «дорогая» заготовка (например, штамповка для изготовления такого же вала) обеспечит более «дешевую» механическую обработку. Целесообразно, поэтому, использовать в качестве критерия суммарную стоимость заготовки и механической обработки. Однако стоимость механической обработки можно рассчитать только после разработки всего ТП. Следовательно, пропадает смысл «поэтапной оптимизации».

Но, все – таки, если удачно назначить критерии на каждом уровне проектирования, такой подход имеет смысл. При его применении может оказаться несколько равнозначных вариантов ТП, но среди них уже гораздо легче выбрать оптимальный вариант.

Прием 2. «Предпроектная оптимизация». Множество возможных

вариантов проектных решений может быть определено с помощью таблиц соответствий, на базе которых строятся алгоритмы, позволяющие выбирать множество допустимых решений, из которых путем последовательного перебора выбираются наилучшие решения согласно тому или иному критерию оптимальности.

Но и при локализованной структурной оптимизации перебор и анализ всех допустимых решений, выбираемых из таблиц соответствий, занимает большое время. Для сокращения времени счета при структурной оптимизации с использованием таблиц соответствий производят так называемую *предпроектную оптимизацию* на стадии разработки информационного обеспечения. Для этого из множества допустимых выделяют решения, предпочтительные по критерию себестоимости. Поиск решений в таблице соответствий сначала осуществляется по предпочтительным решениям. В случае отсутствия подходящего предпочтительного решения поиск производится по оставшимся допустимым.

Такой подход эффективен для случаев наличия экстремума целевой функции. Но в ряде случаев решение получается неопределенным: для диапазона условия применимости может иметься несколько эффективных решений.

Прием 3. Следующим шагом в развитии предпроектной оптимизации является переход от логических матриц соответствий к оценочным матрицам. В этом случае в соответствующих клетках матрицы соответствий проставляются значения себестоимости. Подобные матрицы заполняются для всех условий применимости. Алгоритм поиска оптимального решения по оценочной матрице состоит в поиске одноименной строки в оценочных матрицах для всех диапазонов условий применимости, обеспечивающей наименьшую сумму затрат для данного условия задачи. Рассмотренная процедура повторяется для каждого уровня проектирования, приводя в конечном итоге к варианту с оптимальной структурой.

2.6 Параметрическая оптимизация ТП

В условиях многоуровневого выбора решений на различных этапах проектирования ТП первоначально решается вопрос структурной оптимизации. После выбора определенной структуры маршрута обработки, операции, позиции, переходов или различных видов технологической оснастки ставится задача их параметрической оптимизации. Однако в большинстве случаев это сделать трудно из-за отсутствия математических моделей, которые связывают структурные составляющие технологических процессов с некоторой группой параметров, определяющих технико-экономические показатели этих процессов.

Параметрическая оптимизация ТП обычно выполняется после выбора структуры перехода и выражается главным образом в определении оптимальных режимов резания (скорости v , подачи s и глубины резания t) с позиций некоторого критерия.

К параметрической оптимизации могут быть также отнесены расчеты: по выбору оптимальной геометрии режущего инструмента (резцов, сверл, фрез и т. д.); по выбору точностных, силовых и прочностных параметров станочных приспособлений; по выбору физико-механических свойств режущих инструментов; по определению оптимальных значений припусков и допусков на выполняемые размеры.

Задача определения оптимальных режимов резания является одной из наиболее массовых и встречается при разработке различных видов ТП механической обработки заготовок. Из-за различных конкретных условий обработки, целей и задач оптимизации процесса резания возникают разные варианты постановки этой задачи.

При описании процесса обработки выделяют входные и выходные параметры, которые между собой связаны сложными функциональными зависимостями. Совокупность этих зависимостей принято рассматривать как математическую модель процесса обработки. В общем случае процесс обработки носит вероятностный характер. Однако из-за сложности

построения зависимостей, учитывающих случайный характер изменения целого ряда параметров, в настоящее время преимущественно используются детерминированные модели, построенные на основе усредненных характеристик процесса.

В задачах расчета режимов резания входные параметры разделяются на искомые (управляемые) и заданные (неуправляемые). Задача расчета оптимальных режимов заключается в определении таких значений, которые являются наилучшими (по некоторым показателям) по совокупности выходных параметров при заданных значениях неуправляемых параметров.

В качестве искомых параметров при расчете оптимальных режимов обычно принимают скорость резания v и подачу s , иногда используют глубину резания t . Целесообразно также в разряд искомых параметров включать стойкость и геометрические параметры режущего инструмента, которыми можно управлять непосредственно в процессе обработки. Степень влияния отдельных управляемых переменных на основные показатели оптимизируемого процесса различна, поэтому при выборе и построении критериев оптимальности необходимо учитывать наиболее существенные параметры обработки.

В частности, из теории резания известно, что при наружном точении большее влияние на повышение производительности обработки при постоянной площади срезаемого слоя ($ts = \text{const}$) оказывает увеличение глубины резания, чем подачи. С другой стороны, при постоянном периоде стойкости инструмента на повышение производительности сильнее влияет в сравнении со скоростью v увеличение подачи s . Подобный предварительный анализ позволяет в отдельных случаях упростить построение алгоритмов выбора оптимальных режимов обработки.

В общем случае постановка задачи оптимизации режимов обработки включает:

- ✓ выбор искомых параметров;
- ✓ определение множества их возможных значений;

- ✓ выбор анализируемого набора выходных параметров процесса;
- ✓ установление функциональных зависимостей между искомыми и выходными параметрами при фиксированных значениях неуправляемых параметров;

- ✓ выделение целевой функции;

- ✓ назначение диапазонов возможных значений выходных параметров.

Набор искомых параметров может быть представлен в виде некоторого множества $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Тогда задача расчета оптимальных режимов резания сводится к следующей задаче математического программирования:

$$F(x) \rightarrow \min(\max)$$

$$R_i(x) \leq R_i, \text{ где } i = 1, 2, \dots, m$$

где $F(x)$ — зависимость для принятого критерия оптимальности;

$R_i(x)$ — значение i -ой характеристики процесса резания в зависимости от значений искомых параметров x из некоторого заданного множества X ;

R_i — заданное предельное значение i -й характеристики процесса резания.

В зависимости от вида и сложности представления функций $F(x)$ и $R_i(x)$ используют различные математические модели расчета режимов резания. Эти модели могут быть классифицированы по следующим признакам:

- ✓ составу набора x оптимизируемых переменных;

- ✓ составу учитываемых показателей процесса;

- ✓ принятому критерию оптимальности;

- ✓ виду функций $F(x)$ и $R_i(x)$, аппроксимирующих основные закономерности процесса.

Использование различных математических моделей приводит к необходимости разработки разнообразных методов и алгоритмов решения рассматриваемой задачи. [31]

2.7 Постановка задачи исследования на основе литературного обзора

Из литературного обзора мы выяснили, что для постановки задачи оптимизации, необходимо наличие объекта оптимизации и цели

оптимизации. При этом формулировка каждой задачи оптимизации должна требовать экстремального значения лишь одной величины, т.е. одновременно системе не должно приписываться два и более критериев оптимизации, т.к. практически всегда экстремум одного критерия не соответствует экстремуму другого.

Задача: исследовать влияние различных параметров на эффективность технологического процесса с целью его оптимизации.

Для реализации поставленной задачи необходимо наличие ресурсов оптимизации, под которыми понимают возможность выбора значений некоторых параметров оптимизируемого объекта. Объект должен обладать определенными степенями свободы - управляющими воздействиями. Так же должна присутствовать возможность количественной оценки оптимизируемой величины, поскольку только в этом случае можно сравнивать эффекты от выбора тех или иных управляющих воздействий. Необходимо учитывать учет ограничений, так как оптимизируемая величина связана с экономичностью работы рассматриваемого объекта. Оптимизируемый вариант работы объекта должен оцениваться какой-то количественной мерой-критерием оптимальности, то есть количественной оценкой оптимизируемого качества объекта.

На основании выбранного критерия оптимальности составляется целевая функция, представляющая собой зависимость критерия оптимальности от параметров, влияющих на ее значение. Вид критерия оптимальности или целевой функции определяется конкретной задачей оптимизации.

Таким образом, задача оптимизации сводится к нахождению экстремума целевой функции. Критерий оптимальности должен иметь ясный физический смысл, отражать наиболее существенные стороны процесса, должен иметь количественную оценку.

Как правило, для конкретных задач оптимизации производств критерий оптимальности не может быть записан в виде аналитического выражения.

Итак, для решения поставленной задачи оптимизации необходимо:

- а) составить математическую модель объекта оптимизации,
- б) выбрать критерий оптимальности и составить целевую функцию,
- в) установить возможные ограничения, которые должны накладываться на переменные,
- г) выбрать метод оптимизации, который позволит найти экстремальные значения искомых величин.

3. Методика выполнения работы

3.1 методика исследования

На основании аналитического обзора математических моделей и методов оптимизации ТП разработана методика структурной и параметрической оптимизации, она заключается в следующем:

1. Выбор цели исследования.
2. Ввод исходного задания (исходных данных).
3. Формализованное представление исходных данных.
4. Построение математической модели.
5. Выбор метода решения.
6. Построение алгоритма решения.
7. Генерирование множества вариантов.
8. Многопараметрическая оптимизация целевой функции.
9. Построение визуальных форм для отображения результатов исследования.
10. Экспериментальная проверка.
11. Анализ результатов исследования.
12. Модификация исходных параметров.
13. Сравнительная оценка ТП при различных вариантах исходных данных.
14. Разработка рекомендаций.

3.2 Оптимизация проектирования маршрута технологического процесса

Изделие проходит последовательно обработку на станках различных типов. Необходимо определить такой план загрузки станков, при котором затраты на обработку изделия будут минимальными.

Исходными данными для математической модели являются: состав и типы оборудования, время обработки, стоимость единицы рабочего времени станка, план выпуска продукции, запас мощности станка (рабочее время станка).

Анализ показал, что для решения такой задачи целесообразно применить математическую модель линейного программирования и метод последовательного улучшения плана, которые включают таблицу исходных данных (Таблица 1) целевую функцию и систему ограничений.

Таблица 1

| | O_1 | | O_2 | | O_3 | | O_4 | | O_5 | | O_6 | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| $ТП_1$ | t_{11} | c_{11} | t_{12} | c_{12} | t_{13} | c_{13} | t_{14} | c_{14} | t_{15} | c_{15} | t_{16} | c_{16} | N |
| | X_1 | | X_1 | | X_1 | | X_1 | | X_1 | | X_1 | | |
| $ТП_2$ | t_{21} | c_{21} | t_{22} | c_{22} | t_{23} | c_{23} | t_{24} | c_{24} | t_{25} | c_{25} | t_{26} | c_{26} | |
| | X_2 | | X_2 | | X_2 | | X_2 | | X_2 | | X_2 | | |
| $ТП_3$ | t_{31} | c_{31} | t_{32} | c_{32} | t_{33} | c_{33} | t_{34} | c_{34} | t_{35} | c_{35} | t_{36} | c_{36} | |
| | X_3 | | X_3 | | X_3 | | X_3 | | X_3 | | X_3 | | |
| | T_1 | | T_2 | | T_3 | | T_4 | | T_5 | | T_6 | | |

Где: O_i – оборудование(станки);

$ТП_i$ – технологический процесс;

t_{ij} – время обработки;

c_{ij} – стоимость единицы рабочего времени станка;

x_i – количество обрабатываемых деталей по $ТП_i$ технологии;

N-план выпуска продукции;

T_i –рабочее время станка.

Целевая функция:

$$L = X_1 (t_{11}c_{11} + t_{12}c_{12} + t_{13}c_{13} + t_{14}c_{14} + t_{15}c_{15} + t_{16}c_{16}) + X_2 (t_{21}c_{21} + t_{22}c_{22} + t_{23}c_{23} + t_{24}c_{24} + t_{25}c_{25} + t_{26}c_{26}) + X_3 (t_{31}c_{31} + t_{32}c_{32} + t_{33}c_{33} + t_{34}c_{34} + t_{35}c_{35} + t_{36}c_{36}) \rightarrow \min$$

Ограничения:

$$X_1 + X_2 + X_3 \geq N;$$

$$X_1 t_{11} + X_2 t_{21} + X_3 t_{31} \leq T_1;$$

$$X_1 t_{12} + X_2 t_{22} + X_3 t_{32} \leq T_2;$$

$$X_1 t_{13} + X_2 t_{23} + X_3 t_{33} \leq T_3;$$

$$X_1 t_{14} + X_2 t_{24} + X_3 t_{34} \leq T_4;$$

$$X_1 t_{15} + X_2 t_{25} + X_3 t_{35} \leq T_5;$$

$$X_1 t_{16} + X_2 t_{26} + X_3 t_{36} \leq T_6;$$

3.2.1 Расчет данных для таблицы

Расчет основного времени

Основное время – время, затрачиваемое на движение инструмента на рабочей подаче.

Расчет основного времени производят на основании следующей зависимости [8]:

$$t_o = \frac{L * i}{S * n}, \text{ мин};$$

где L – расчётная длина обработки, мм;

i - число рабочих ходов;

n – частота вращения шпинделя, об/мин;

S – подача, мм/об (мм/мин).

Расчетную длину обработки определяют как:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3, \text{ мм};$$

здесь l – размер детали на данном переходе, мм;

l_1 - величина подвода инструмента, мм;

l_2 – величина врезания инструмента, мм.

l_3 – величина перебега инструмента, мм.

Величины подвода и перебега для токарной, сверлильной и фрезерной принимаем равной 1мм, для шлифовальной операции данный параметр принимаем равным 0.

Величина врезания инструмента в каждом конкретном случае определяется как:

$$l_2 = \frac{t}{\operatorname{tg}\varphi};$$

где t – глубина резания, мм;

φ - угол в плане.

Время обработки детали на станке 16к20ф3:

1. Для подрезки торца 1.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(21 + 1 + 1) \cdot 1}{0,04 \cdot 1270} = 0,45 \text{ мин};$$

1. Наружное точение до $\varnothing 38 \pm 0,065$ мм.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(86,6 + 1 + 1) \cdot 1}{0,5 \cdot 1636} = 0,11 \text{ мин}$$

2. Точение канавки.

$$1) \quad t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(8,2 + 1 + 1) \cdot 1}{0,06 \cdot 2000} = 0,085 \text{ мин}$$

$$2) \quad t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(11 + 1 + 1) \cdot 1}{0,06 \cdot 2000} = 0,108 \text{ мин}$$

3. Нарезание резьбы М24х1,5.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(14 + 1 + 1) \cdot 5}{1,5 \cdot 2000} = 0,026 \text{ мин}$$

4. Сверление центрального отверстия $\varnothing 3$ мм.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(5 + 1 + 1) \cdot 1}{0,9 \cdot 2000} = 0,03 \text{ мин}$$

Время обработки детали на станке бд92 (бр81ш)

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(28 + 1 + 1) \cdot 5}{0,06 \cdot 1660} \cdot 2 = 3 \text{ мин}$$

Время обработки детали на станке 3М150 (Me1332a)

$$t_o = \frac{Z_{max}}{t} = \frac{1,5}{0,01} = 0,015 \text{ мин}$$

Расчет вспомогательного времени

Вспомогательное время для операции будет складываться из времени на установку и снятие детали, управление станком, измерение детали [8].

$$t_v = t_{уст} + t_{упр} + t_{изм}; \quad (10)$$

Где $t_{уст}$ - время на установку и снятие детали;

$t_{упр}$ - время на управление станком;

$t_{изм}$ - время измерения детали.

1. Токарная операция с ЧПУ.

На станке с ЧПУ время измерений перекрывается временем управления станком.

Из справочника 3.

Первый установ.

$$t_v = t_{уст} + t_{упр} = 0,41 + 0,12 = 0,53 \text{ мин,}$$

Второй установ.

$$t_v = t_{уст} + t_{упр} = 0,41 + 0,23 = 0,64 \text{ мин,}$$

2. Фрезерная операция.

$$t_v = t_{уст} + t_{упр} + t_{изм} = 0,4 + 0,6 + 0,23 = 1,23 \text{ мин;}$$

3. Круглошлифовальная операция

$$t_v = t_{уст} + t_{упр} + t_{изм} = 0,3 + 0,6 + 0,38 = 1,28 \text{ мин;}$$

Расчет оперативного времени

$$t_{оп} = t_{осн} + t_v \quad (11)$$

1. Токарная операция с ЧПУ.

Установ А.

$$t_{оп} = t_{осн} + t_v = 1,66 + 0,53 = 2,19 \text{ мин}$$

Установ Б.

$$t_{оп} = t_{осн} + t_v = 1,56 + 0,64 = 2,2 \text{ мин}$$

2. Фрезерная операция.

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} = 3 + 1,23 = 4,23 \text{ мин}$$

3. Круглошлифовальная операция.

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} = 0,03 + 1,28 = 1,31 \text{ мин}$$

Итоговое время:

16К20Ф3 - 6,36 мин

6Д92 (6р81ш) – 8,46 мин

3М150 (ме1332а) – 2,65 мин

Стоимость единицы рабочего времени станка

Стоимость станков:

- | | |
|---|-----------------|
| 1. станок токарный с ЧПУ 16К20Ф3 | цена 1,2млн. р. |
| 2. станок вертикально-фрезерный 6Д92 | цена 700тыс. р. |
| 3. кругло шлифовальный станок 3М150 | цена 900тыс. р. |
| 4. фрезерный станок 6р81ш | цена 800тыс. р. |
| 5. станок многоцелевой MAZAK INTEGREX 100-IV ST | цена 14млн.р. |
| 6. шлифовальный станок ME1332а | цена 1,1млн.р. |

Срок окупаемости всех станков принят 5 лет.

Себестоимость машинного часа рассчитывается по формуле:

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B$$

где C - сметная ставка за один машино-час работы оборудования, руб/час;

A_p – амортизационные отчисления на полное восстановление (реновацию) оборудования, руб/час.;

P - затраты на ремонт и техническое обслуживание, руб/час.;

Э –затраты на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб/час.;

M_B - затраты на вспомогательные материалы, используемые при эксплуатации оборудования, руб/час.

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{P_{ст} * H_a}{F_d * 100\%}, \text{ руб/час,}$$

где $P_{ст}$ - первоначальная (балансовая) стоимость оборудования, руб.

H_a - годовая норма амортизации на реновацию, %; для станков с ЧПУ $H_a=6,7\%$, для остального металлорежущего оборудования $H_a=5\%$.

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_{п} * H_{м} * R_{м} + H_{э} * R_{э}}{F_d} \text{ руб/час,}$$

где $K_{п}$ - коэффициент, характеризующий тип производства;

Принимаем $K_{п}=1$;

$H_{м}$ - норматив годовых затрат на ремонт механической части оборудования при продолжительности ремонтного цикла 5 лет, руб/е.р.с.

$R_{м}$ - ремонтная сложность механической части оборудования, е.р.с.

$H_{э}$ - норматив годовых затрат на ремонт электрической части оборудования при продолжительности ремонтного цикла 5 лет, руб/е.р.с.

$R_{э}$ - ремонтная сложность электрической части оборудования, е.р.с.

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{C}_{э} * \frac{N_y * K_{вр} * K_n * K_w}{\eta}, \text{ руб/час}$$

где N_y - установленная мощность электродвигателей оборудования, кВт;

$K_{вр}$ - коэффициент загрузки электродвигателей по времени

K_n - коэффициент загрузки электродвигателей по мощности

K_w - коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в сети предприятия, $K_w = 1,06$

η - коэффициент полезного действия электродвигателя оборудования (из паспорта оборудования 0,8...0,9);

$\text{Ц}_э$ - стоимость 1 кВт-часа электроэнергии, руб/кВт-час.

$\text{Ц}_э = 2,45 \text{ руб/кВт-час}$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_B = \frac{(A_p + P + \text{Э}) * 100\%}{90\%} \text{ руб/час}$$

станок токарный с ЧПУ 16К20Ф3

Себестоимость машинного часа:

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B$$

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{P_{\text{ст}} * H_a}{F_d * 100\%} = A_p = \frac{1200000 * 6,7\%}{4055 * 100\%} = 19,8 \text{ руб/час,}$$

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_n * H_m * R_m + H_э * R_э}{F_d} = \frac{1 * 395 * 10 + 98 * 11}{4055} = 1,23 \text{ руб/час,}$$

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\text{Э} = \text{Ц}_э * \frac{N_y * K_{\text{вр}} * K_n * K_w}{\eta} = 2,45 * \frac{10 * 0,5 * 0,6 * 1,06}{0,9} = 8,66 \text{ руб/час}$$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_B = \frac{(A_p + P + \text{Э}) * 100\%}{90\%} = \frac{(19,8 + 1,23 + 8,66) * 10\%}{90\%} = 3,29 \text{ руб/час}$$

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B = 19,8 + 1,23 + 8,66 + 3,29 = 32,98 \text{ руб/час}$$

станок вертикально-фрезерный 6Д92

Себестоимость машинного часа:

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B$$

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{P_{\text{ст}} * H_a}{F_d * 100\%} = A_p = \frac{700000 * 5\%}{4055 * 100\%} = 8,63 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_{\text{п}} * H_{\text{м}} * R_{\text{м}} + H_{\text{э}} * R_{\text{э}}}{F_d} = \frac{1 * 395 * 10 + 98 * 11}{4055} = 1,23 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\text{Э} = \text{Ц}_{\text{э}} * \frac{N_y * K_{\text{вп}} * K_{\text{п}} * K_{\text{w}}}{\eta} = 2,45 * \frac{10 * 0,5 * 0,6 * 1,06}{0,9} = 8,66 \text{ руб/час}$$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_B = \frac{(A_p + P + \text{Э}) * 100\%}{90\%} = \frac{(8,63 + 1,23 + 8,66) * 10\%}{90\%} = 2,05 \text{ руб/час}$$

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B = 8,63 + 1,23 + 8,66 + 2,05 = 20,57 \text{ руб/час}$$

круглошлифовальный станок 3М150

Себестоимость машинного часа:

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B$$

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{P_{\text{ст}} * H_a}{F_d * 100\%} = A_p = \frac{900000 * 5\%}{4055 * 100\%} = 11,09 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_{\text{п}} * H_{\text{м}} * R_{\text{м}} + H_{\text{э}} * R_{\text{э}}}{F_d} = \frac{1 * 395 * 10 + 98 * 11}{4055} = 1,23 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\text{Э} = \Pi_{\text{э}} * \frac{N_y * K_{\text{вр}} * K_{\text{н}} * K_{\text{w}}}{\eta} = 2,45 * \frac{10 * 0,5 * 0,6 * 1,06}{0,9} = 8,66 \text{ руб/час}$$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_B = \frac{(A_p + P + \text{Э}) * 100\%}{90\%} = \frac{(11,09 + 1,23 + 8,66) * 10\%}{90\%} = 2,33 \text{ руб/час}$$

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B = 11,09 + 1,23 + 8,66 + 2,33 = 23,31 \text{ руб/час}$$

фрезерный станок бр81ш

Себестоимость машинного часа:

$$C = A_p + P + \text{Э} + M_B$$

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{\Pi_{\text{ст}} * H_a}{F_d * 100\%} = A_p = \frac{800000 * 5\%}{4055 * 100\%} = 9,86 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_{\text{п}} * H_{\text{м}} * R_{\text{м}} + H_{\text{э}} * R_{\text{э}}}{F_d} = \frac{1 * 395 * 10 + 98 * 11}{4055} = 1,23 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\Xi = \Pi_{\text{э}} * \frac{N_y * K_{\text{вп}} * K_{\text{н}} * K_{\text{w}}}{\eta} = 2,45 * \frac{10 * 0,5 * 0,6 * 1,06}{0,9} = 8,66 \text{ руб/час}$$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_{\text{в}} = \frac{(A_p + P + \Xi) * 100\%}{90\%} = \frac{(9,86 + 1,23 + 8,66) * 10\%}{90\%} = 2,19 \text{ руб/час}$$

$$C = A_p + P + \Xi + M_{\text{в}} = 9,86 + 1,23 + 8,66 + 2,19 = 21,94 \text{ руб/час}$$

станок многоцелевой MAZAK INTEGREX 100-IV ST

Себестоимость машинного часа:

$$C = A_p + P + \Xi + M_{\text{в}}$$

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{\Pi_{\text{ст}} * H_a}{F_d * 100\%} = A_p = \frac{14000000 * 6,7\%}{4055 * 100\%} = 231,32 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_{\text{п}} * H_{\text{м}} * R_{\text{м}} + H_{\text{э}} * R_{\text{э}}}{F_d} = \frac{1 * 395 * 10 + 98 * 11}{4055} = 1,23 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{U}_{\mathcal{E}} * \frac{N_y * K_{\text{вп}} * K_n * K_w}{\eta} = 2,45 * \frac{10 * 0,5 * 0,6 * 1,06}{0,9} = 8,66 \text{ руб/час}$$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_B = \frac{(A_p + P + \mathcal{E}) * 100\%}{90\%} = \frac{(231,32 + 1,23 + 8,66) * 10\%}{90\%} = 26,81 \text{ руб/час}$$

$$C = A_p + P + \mathcal{E} + M_B = 231,32 + 1,23 + 8,66 + 26,81 = 268,02 \text{ руб/час}$$

шлифовальный станок ME1332a

Себестоимость машинного часа:

$$C = A_p + P + \mathcal{E} + M_B$$

Расчеты амортизационных отчислений на реновацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$A_p = \frac{\mathcal{P}_{\text{ст}} * H_a}{F_d * 100\%} = A_p = \frac{1100000 * 5\%}{4055 * 100\%} = 13,56 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на ремонт и техническое обслуживание оборудования рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{K_n * H_m * R_m + H_{\mathcal{E}} * R_{\mathcal{E}}}{F_d} = \frac{1 * 395 * 10 + 98 * 11}{4055} = 1,23 \text{ руб/час},$$

Расчёт затрат на силовую электроэнергию, потребляемую оборудованием рассчитывают по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{U}_{\mathcal{E}} * \frac{N_y * K_{\text{вп}} * K_n * K_w}{\eta} = 2,45 * \frac{10 * 0,5 * 0,6 * 1,06}{0,9} = 8,66 \text{ руб/час}$$

Расчёты затрат на вспомогательные материалы при эксплуатации оборудования рассчитываются по формуле:

$$M_B = \frac{(A_p + P + \mathcal{E}) * 100\%}{90\%} = \frac{(13,56 + 1,23 + 8,66) * 10\%}{90\%} = 2,61 \text{ руб/час}$$

$$C = A_p + P + Э + M_B = 13,56 + 1,23 + 8,66 + 2,61 = 26,06 \text{ руб/час}$$

Конкретные числовые данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные решения задачи структурной оптимизации ТП

| | O ₁ | | O ₂ | | O ₃ | | O ₄ | | O ₅ | | O ₆ | | N |
|-----------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|-------|-----|
| ТП ₁ | 6,36 | 32,98 | 8,46 | 20,57 | 2,65 | 23,31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 250 |
| | X ₁ | | X ₁ | | X ₁ | | X ₁ | | X ₁ | | X ₁ | | |
| ТП ₂ | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,65 | 23,31 | 0 | 0 | 10,59 | 268,02 | 0 | 0 | |
| | X ₂ | | X ₂ | | X ₂ | | X ₂ | | X ₂ | | X ₂ | | |
| ТП ₃ | 6,36 | 32,98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8,46 | 21,94 | 0 | 0 | 2,605 | 26,06 | |
| | X ₃ | | X ₃ | | X ₃ | | X ₃ | | X ₃ | | X ₃ | | |
| | 1600 | | 1000 | | 184 | | 1200 | | 600 | | 400 | | |

Целевая функция:

$$L = X_1 (6,36 \cdot 32,98 + 8,46 \cdot 20,57 + 2,65 \cdot 23,31) +$$

$$X_2 (2,65 \cdot 23,31 + 10,59 \cdot 268,02) +$$

$$X_3 (6,36 \cdot 32,98 + 8,46 \cdot 21,94 + 2,605 \cdot 26,06) \rightarrow \min$$

Ограничения:

$$X_1 + X_2 + X_3 \geq 250;$$

$$X_1 \cdot 6,36 + X_3 \cdot 6,36 \leq 1600;$$

$$X_1 \cdot 8,46 \leq 1000;$$

$$X_1 \cdot 2,605 + X_2 \cdot 2,605 \leq 400;$$

$$X_3 \cdot 8,46 \leq 1200;$$

$$X_2 \cdot 10,59 \leq 600;$$

$$X_3 \cdot 2,65 \leq 400;$$

Решение представлено в табл.3

Результаты решения

| Книга1 | | | | | | | | | |
|--------|-------------------------|---|---------------|-------|----------|----------|----|------|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | Таблица исходных данных | | | | | | | | |
| 3 | Целевая функция | | 444 | 2899 | 464 | 113635,9 | | | |
| 4 | Ограничение 1 | | 1 | 1 | 1 | 250 | >= | 250 | |
| 5 | Ограничение 2 | | 6,36 | 0 | 6,36 | 1590 | <= | 1600 | |
| 6 | Ограничение 3 | | 8,46 | 0 | 0 | 1000 | <= | 1000 | |
| 7 | Ограничение 4 | | 2,65 | 2,65 | 0 | 313,2388 | <= | 400 | |
| 8 | Ограничение 5 | | 0 | 0 | 8,46 | 1115 | <= | 1200 | |
| 9 | Ограничение 6 | | 0 | 10,59 | 0 | 0 | <= | 600 | |
| 10 | Ограничение 7 | | 0 | 0 | 2,605 | 343,3304 | <= | 400 | |
| 11 | | | | | | | | | |
| 12 | Решение | | | | | | | | |
| 13 | | | X1 | X2 | X3 | | | | |
| 14 | | | 118,2033 | 0 | 131,7967 | | | | |
| 15 | | | Lmin=113635,9 | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | |

Результаты решения $L_{min} = 113636$ р. $X_1=118,3$, $X_2=0$, $X_3= 131,8$

показывают, что при данных значениях t_i , c_i и ограничениях на ресурсы станков, получены различные значения обрабатываемых деталей на ТП1, ТП2 и ТП3, максимальное значение $X_3=131,8$ принадлежит ТП3.

Таким образом, сравнительный анализ техпроцессов с различным составом оборудования показал, что по критерию минимальной стоимости обработки изделия оптимальным является техпроцесс ТП3, включающий станки O_1 , O_4 , O_6 .

3.3 Параметрическая оптимизация

При параметрической оптимизации решается обычно одно из следующих технико-экономических задач выбора параметров режима резания, обеспечивающих: 1) минимум затрат, связанных с процессом обработки (характерна для условий обработки на универсальных станках в серийном производстве); 2) максимум производительности (характерна для лимитирующих позиций станочных систем); 3) минимум затрат при заданной производительности (характерна для условий обработки на станках и автоматических линиях в массовом производстве). В основе решения всех

описанных оптимизационных задач лежит модель процесса резания, которая отражает зависимость стойкости режущего инструмента от параметров режима обработки.

В современном машиностроении производство невозможно без информационного обеспечения. Для повышения эффективности и конкурентоспособности необходимо оптимизировать параметры обработки резанием. Одним из путей повышения эффективности производства является применение оптимальных режимов обработки, полученных имитационным моделированием.

С позиции оптимизации производства имитационное моделирование является более универсальным и менее трудоемким по сравнению с физическим экспериментом.

Постановка задачи: задачей исследования является определение параметров режимов резания, оптимизирующих основные показатели эффективности производства, такие как, производительность, себестоимость. Стойкость инструмента, шероховатость обработанной поверхности.

В качестве обрабатываемой детали принят вал, изготовленный из стали 45, ГОСТ 1050-88.

Методика исследования заключается в математическом моделировании, разработке программно-математического обеспечения ЭВМ, использовании численных методов решения оптимизационной задачи обработки деталей и экспериментальной проверке.

Разработка математической модели.

Разработаны математические модели и алгоритмы оптимизации, отражающие взаимосвязь параметров режимов резания с критериями качества: производительностью (P), себестоимостью (C), стойкостью инструмента (T) и шероховатостью обработки (Rz).

Зависимость критериев P , T , C , Rz от параметров режимов резания приняты в соответствии с формулами (1), (2) [16] и представлены в следующем виде:

$$Rz = \frac{\sqrt[0.4]{\left(\frac{8.25r^{0.15}}{t^{0.3} \sin \varphi^{0.4}}\right)^2}}{v \cdot 8r} \quad (1)$$

где r – радиус при вершине токарного резца, мм; v – скорость резания, м/мин; t – глубина резания, мм; φ – главный угол в плане, град.

$$P = \frac{\pi \cdot D \cdot n \cdot t \cdot S}{1 + \frac{\tau_{cm}}{T}} \times 10^{-6} [\text{м}^3/\text{мин}], \quad (2)$$

где D – диаметр заготовки, мм; n – частота вращения, об/мин; S – подача, мм/об; τ_{cm} T – стойкость токарных резцов, мин.

$$T = \frac{C_v k_v}{v t^x S^y} [\text{мин}], \quad (3)$$

где C_v – коэффициент, зависящий от группы обрабатываемого и инструментального материалов; k_v – коэффициент, зависящий от прочности и химического состава, обрабатываемого и инструментального материалов, от геометрии режущего инструмента, использования смазочно-охлаждающей жидкости; x, y – показатели степени, зависящие от марки обрабатываемого и инструментального материалов, условий резания.

Подставляя (3) в (2) и принимая за возмущающее воздействие изменение величины припуска при постоянной t , получим следующую функцию для P :

$$P = \frac{\pi \cdot D \cdot n \cdot t \cdot S}{1 + \frac{v \tau_{cm} t^x S^y}{C_v k_v}} [\text{м}^3/\text{мин}], \quad (4)$$

Математические модели представлены в виде набора параметрических нелинейных функций. Эти функции хранятся в базе данных и используются для формирования модели оптимизации и представления в требуемом формате.

Для нахождения оптимального значения критериев эффективности используется «метод координатного спуска» для много мерных функций [23]. Ограничениями являются допустимые значения исходных данных.

Оптимизация осуществляется за счет варьирования исходных параметров в заданных граничных диапазонах.

Оптимальное решение выдается в виде уточненных значений параметров, при которых целевая функция принимает экстремальное значение F_{\min} (или F_{\max}) для заданного критерия эффективности.

Программное обеспечение для решения поставленных задач разработано в среде программирования Delphi.

Одно из главных требований данной оптимизации - обеспечение качества изделия (R_z), в соответствии с этим требованием, разработано программное обеспечение которое осуществляет определение шероховатости в заданном диапазоне для 7 квалитета.

На рис. 2 представлена графическая форма программы оптимизации режимов резания. Которая включает следующие компоненты: ввод исходных данных, определяемых диапазоном параметров, которые были взяты из справочников, в соответствии с выбранным квалитетом и режимом резания. В разделе формы графическая зависимость осуществляются построения следующих зависимостей $R_z(V)$, $R_z(r)$, $R_z(t)$, $R_z(\phi)$, которые наглядно отражают характер влияния каждой составляющей. Из графиков видно, что большее влияние на шероховатость оказывает скорость резания.

В нашей работе оптимизация R_z осуществляется за счет скорости резания.

В результате вычисления шероховатости по значениям, выбранным из справочника не всегда получается требуемое значение R_z . На следующем шаге выполняем оптимизацию R_z за счет изменения $V_{\text{рез}}$. Получив требуемое качество обработки, пересчитываются другие экономические показатели (P, T, C). Результаты расчета зависимостей приведены на рис.2

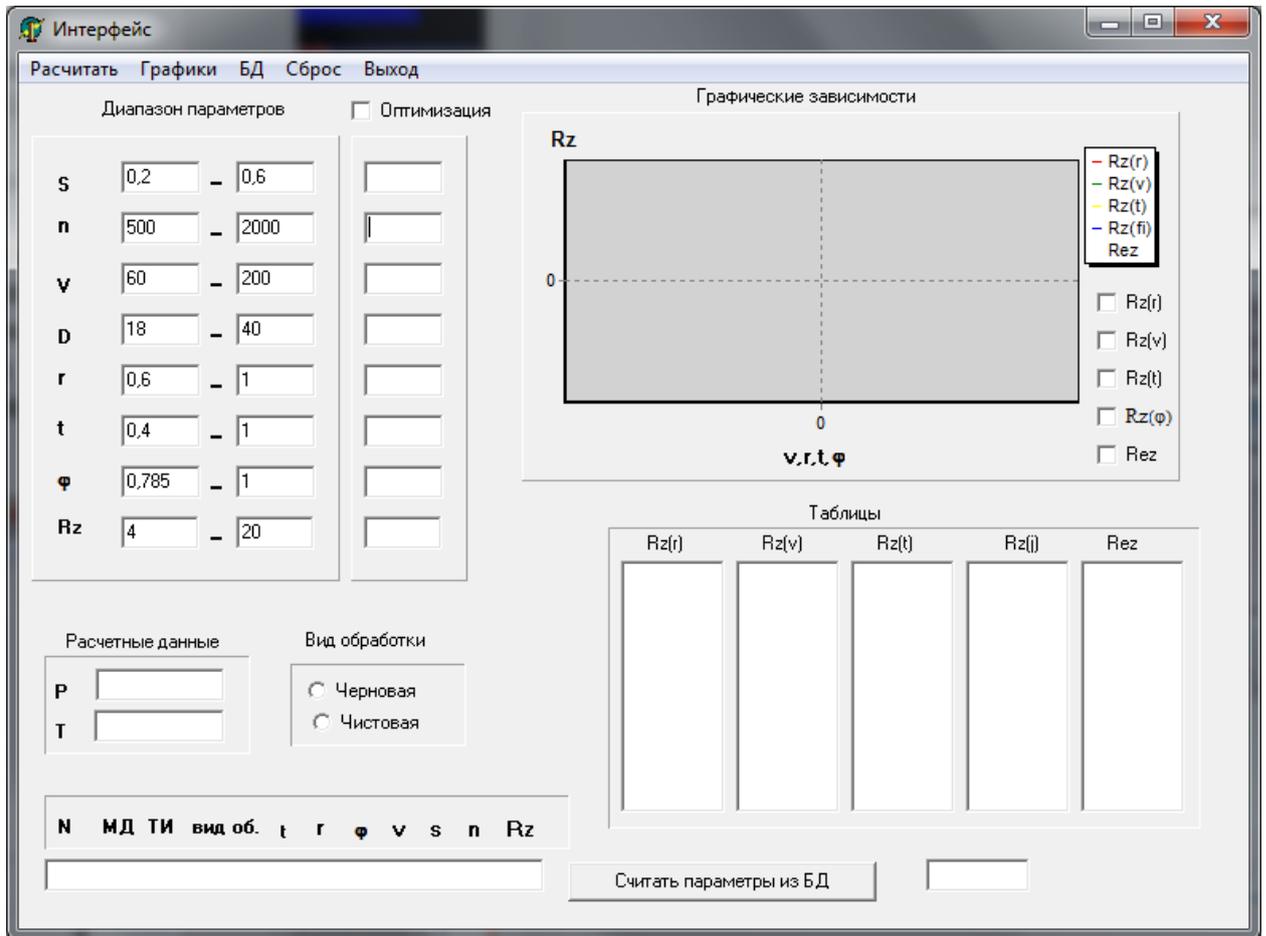


Рис.2 Исходная форма

На рис.3 представлена база данных, составленная из справочников по режимам резания, учитывая различные исходные данные.

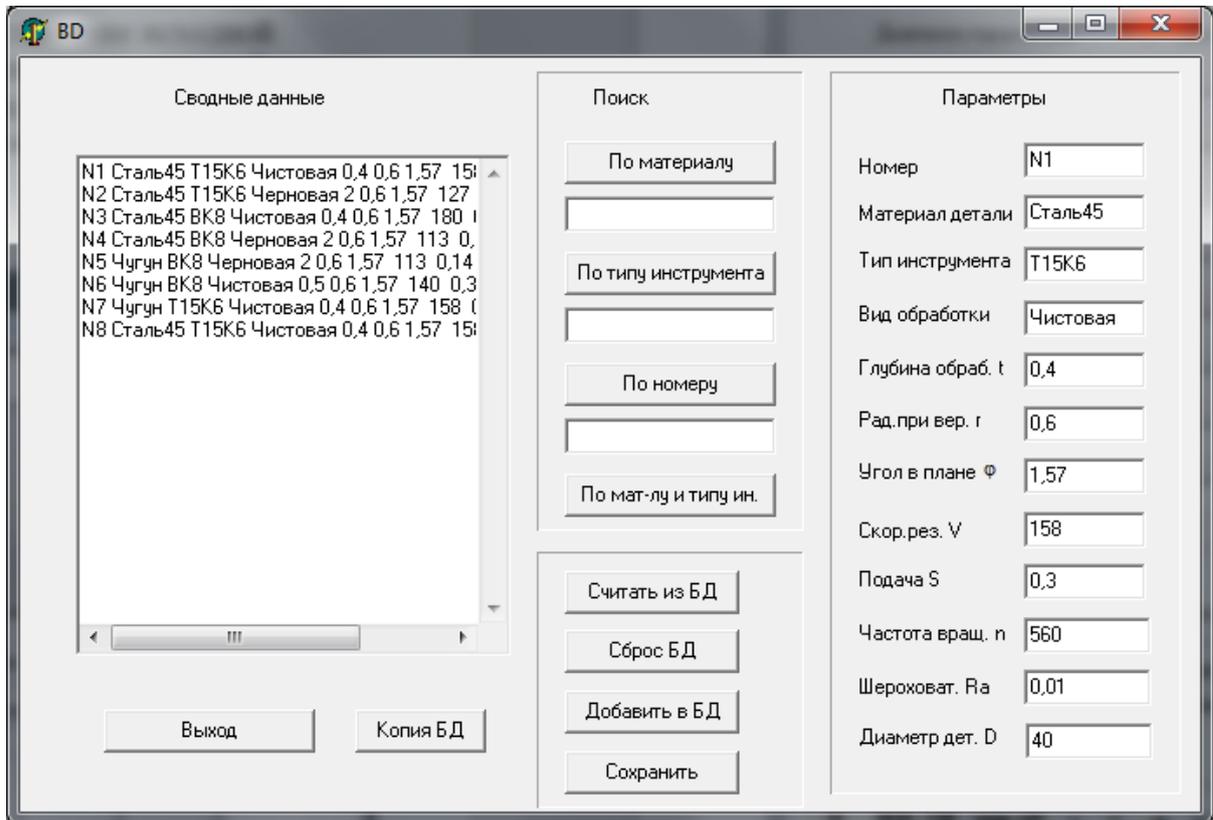


Рис. 3 База данных

После ввода исходных данных производим расчет, и получаем следующие результаты, результаты для черновой обработки отображены на рис.4, для чистовой обработки на рис.5

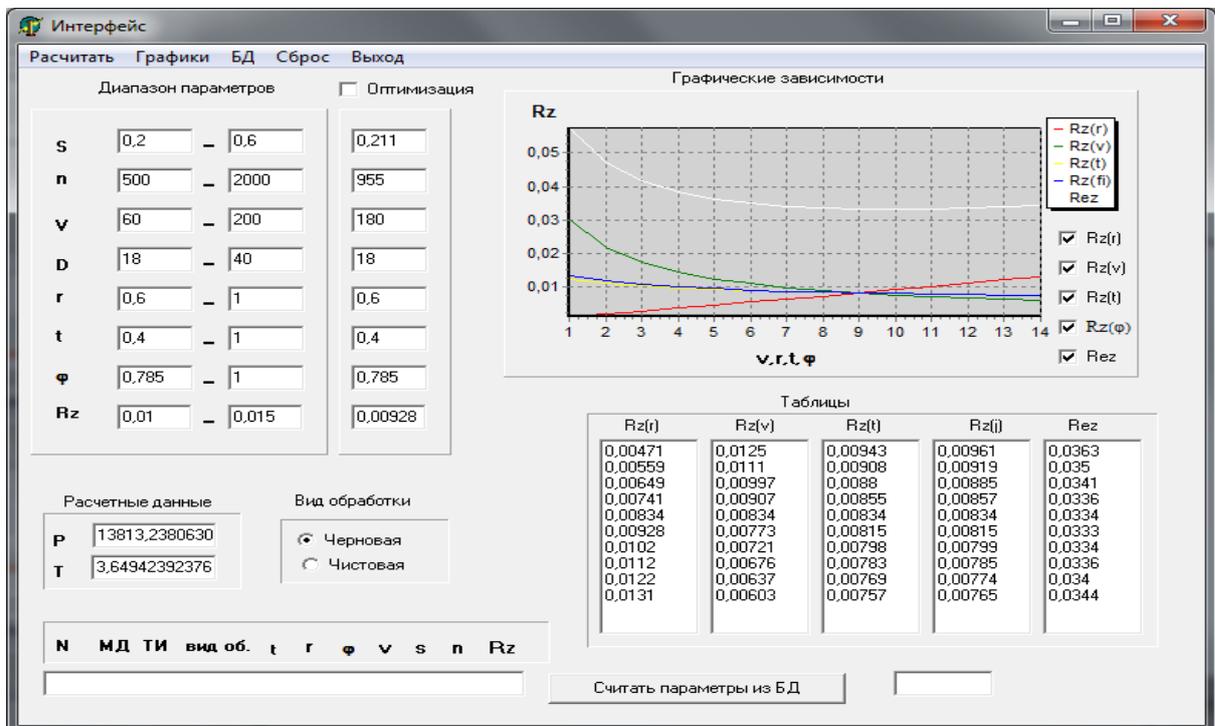


Рис.4. Расчет для черновой обработки

Цель параметрической оптимизации – обеспечение качества получаемой поверхности Rz, путем определения параметров режимов резания. Из справочников взяты диапазоны допустимых значений по основным параметрам резания, в результате расчета по средним значениям получаем некоторые отклонения от заданного Rz, чтобы получить требуемое значение шероховатости, необходимо исследовать влияние параметров на шероховатость. Нами проведены исследования и разработана модель и программа для оптимизации Rz.

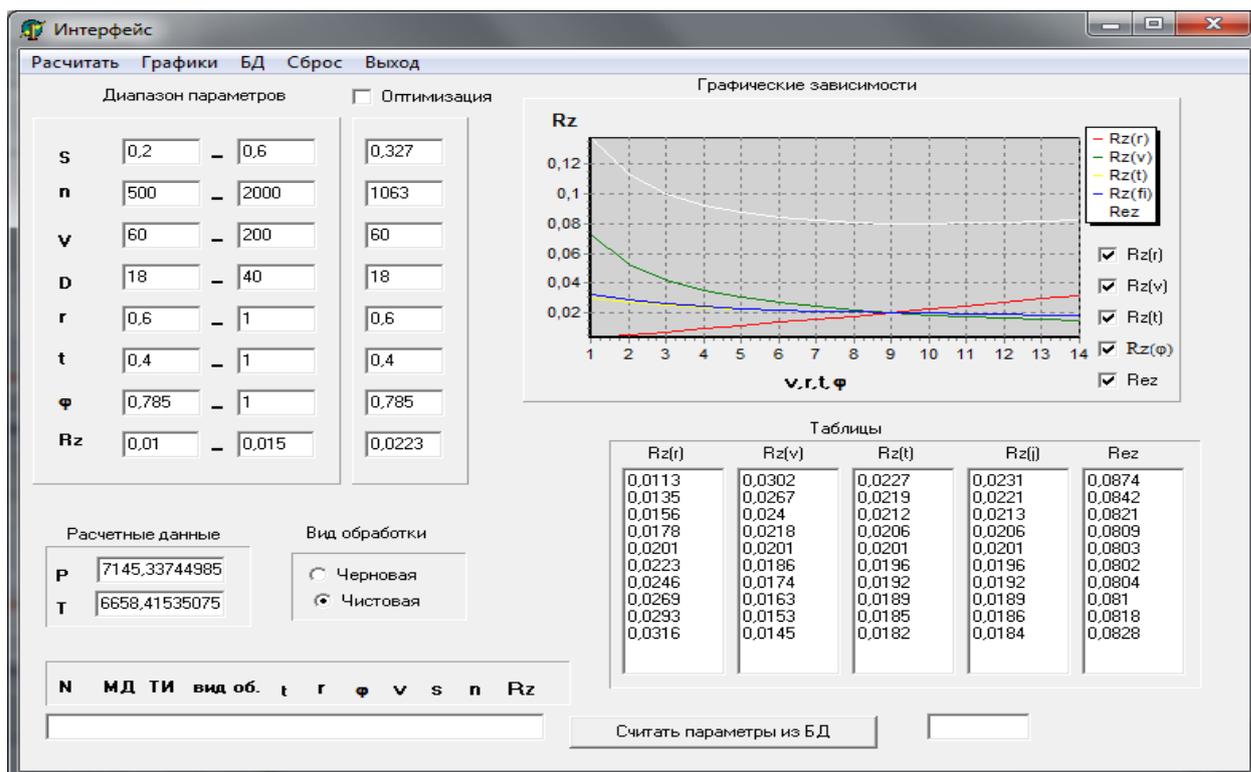


Рис. 5. Расчет для чистовой обработки

Далее используем «оптимизацию», и получаем следующие параметры, данные отображены на рис.6 – для черновой обработки, на рис.7 – для чистовой обработки.

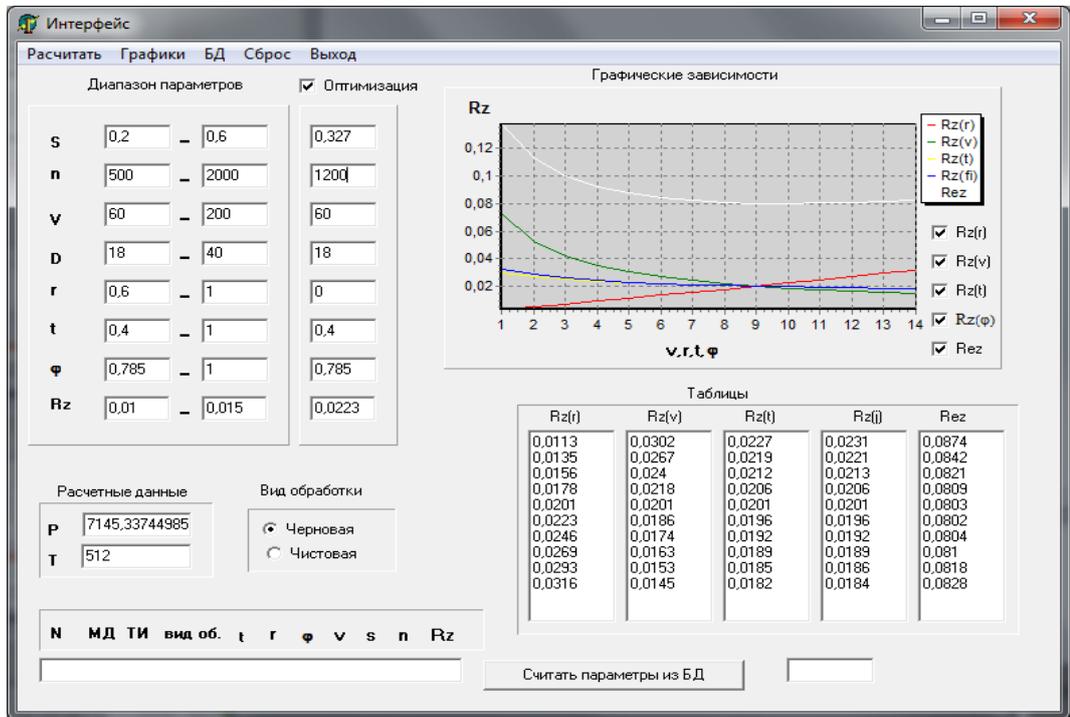


Рис.6 Результаты оптимизации для черновой обработки

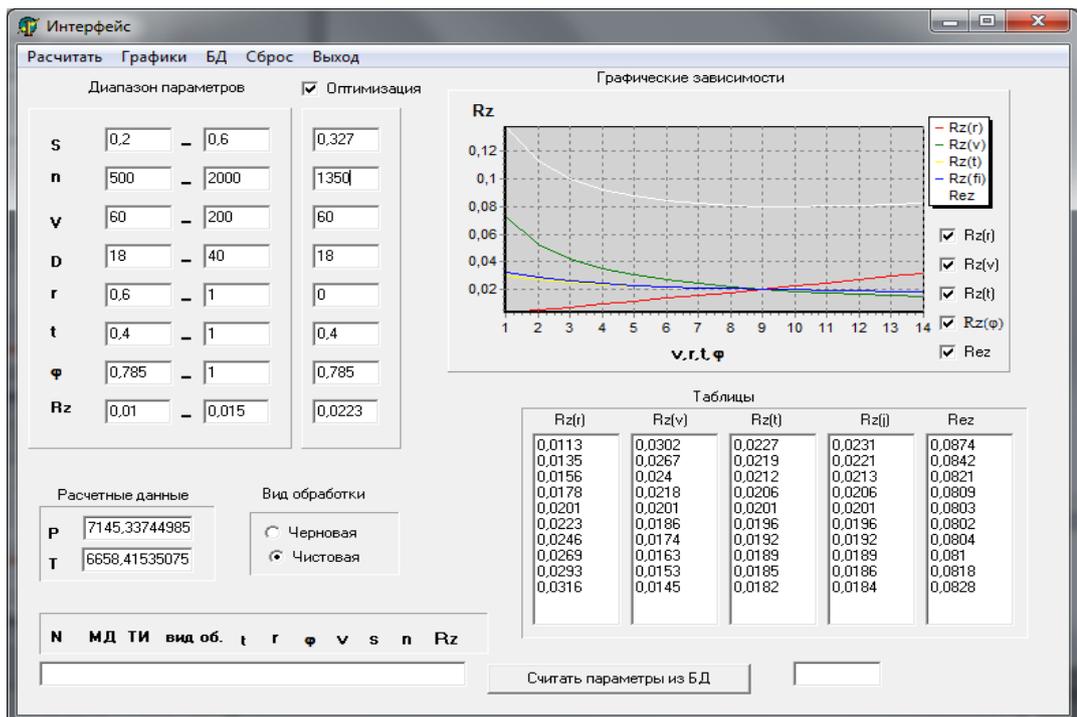


Рис7. Результаты оптимизации для чистовой обработки

Выходные данные включают результаты расчета критериев P , T , C , Rz , представленных в виде зависимостей $P=f(v)$, $T=f(v)$, $C=f(v)$, $Rz=f(v)$.

Результаты для расчета выполнены для среднего значения $S=0,57$ мм/об. Единица измерения P на графике приведена в м^3 . Данные для других значений S в пределах заданного диапазона подач вычисляется аналогично по соответствующей методике. По графикам можно определить текущие значения критериев P , T , C , Rz , при изменении скорости резания v в пределах от 19 до 195 м/с.

Получив оптимальное значение Rz мы пересчитываем исходные параметры таблицы 2. В соответствии с этими значениями вычисляем экономические показатели производительность, себестоимость.

4. Технологическая часть.

4.1. Чертёж детали и годовая программа выпуска.

Чертёж детали представлен на рис.4.1. Годовая программа выпуска: 3000 шт.

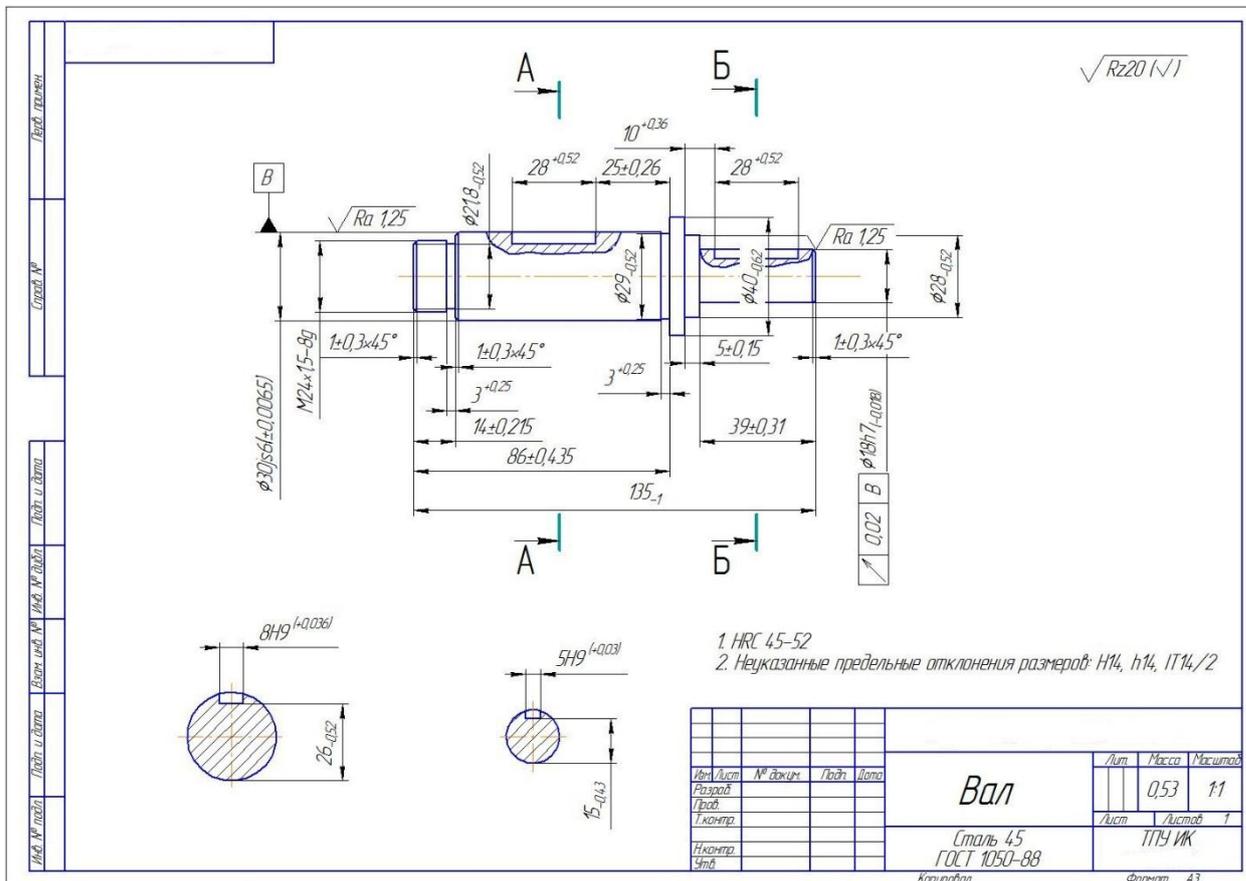


Рис. 4.1 Чертеж детали

4.2 Анализ чертежа и технологичности детали.

Чертёж детали содержит все необходимые виды и разрезы, дающие однозначное представление о форме и размерах детали. Размеры и требования чертежа охватывают все формообразующие поверхности с указанием допусков на изготовление. Обозначения посадок и шероховатостей выполнены в соответствии с требованиями по оформлению чертежей по ЕСКД. Чертёж удовлетворяет всем предъявляемым требованиям и может быть принят к производству.

Анализируя параметры точности размеров детали, можно заметить, что почти на все поверхности назначены относительно грубые допуски, что

позволяет использовать не точное оборудование и простой измерительный инструмент. Наличие точной поверхности $\varnothing 30 \pm 0,0065$ подразумевает использование операции, обеспечивающей высокую точность размера, например – шлифования.

Что касается точности формы и расположения поверхностей, то в данном случае предъявлены жесткие требования к радиальному биению поверхности $\varnothing 18_{-0,018}$, в связи с этим не обходима шлифовальная операция.

Относительно качества поверхностного слоя не было предъявлено жестких требований по обеспечению низкого параметра шероховатости. Параметры шероховатости Rz 20 мкм для всех поверхностей, а также Ra1,25 для поверхностей $\varnothing 30$ и $\varnothing 18$ могут быть выдержаны непосредственно при токарной и шлифовальной обработке, т.е. без необходимости применения доводочных операций.

В качестве заготовки берем прокат $\varnothing 42$. Программа выпуска деталей составляет 3000 штук.

4.2.1 Определение типа производства

Для определения типа производства на этапе проектирования технологического процесса необходимо рассчитать коэффициент закрепления операций:

$$K_{з.о} = \frac{t_в}{T_{cp}}, \quad (1)$$

где $t_в$ – такт выпуска детали, мин.;

T_{cp} – среднее штучно–калькуляционное время на выполнение операций технологического процесса, мин.

Такт выпуска детали определяем по формуле:

$$t_в = \frac{F_r}{N_r},$$

где F_r – годовой фонд времени работы оборудования, мин.;

N_r – годовая программа выпуска деталей.

Годовой фонд времени работы оборудования определяем по таблице 2.1 [5,стр.22] при односменном режиме работы: $F_T = 2030$ ч.

Тогда

$$t_6 = \frac{F_2}{N_2} = \frac{2030 \times 60}{3000} = 40,6 \text{ мин};$$

Среднее штучно – калькуляционное время на выполнение операций технологического процесса:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ш.к i}}{n}, \quad (2)$$

где – $T_{ш.к i}$ – штучно – калькуляционное время i - ой основной операции, мин.;

n – количество основных операций.

В качестве основных операций выберем 3 операции ($n=3$).

Штучно – калькуляционное время i - ой основной операции определяем по рекомендациям приложения 1 [5,стр.147]:

$$T_{ш.к i} = \varphi_{к i} \cdot T_{oi} \quad (3)$$

где $\varphi_{к i}$ – коэффициент i - ой основной операции, зависящий от вида станка и типа предполагаемого производства;

T_{oi} – основное технологическое время i - ой операции, мин.

Для первой операции (токарная с ЧПУ): $\varphi_{к.1} = 2,14$;

Для второй операции (токарная с ЧПУ): $\varphi_{к.2} = 2,14$;

Для третьей операции (фрезерной): $\varphi_{к.3} = 1,84$;

Для пятой операции (шлифовальной): $\varphi_{к.4} = 2,10$.

Основное технологическое время определяем по рекомендациям приложения 1 [5], где время зависит от длины и диаметра обрабатываемой поверхности, а также от вида обработки.

Основное технологическое время первой операции определяем только для наиболее продолжительных по времени переходов: черновая подрезка торца и продольное точение.

$$T_{01} = ((0,052(D^2 - d^2) + 0,17dl) \cdot 10^{-3})$$

где d – диаметр, мм;

l – длина обрабатываемой поверхности, мм.

Значения вышеперечисленных переменных определяем приближенно, по чертежу детали.

Тогда:

$$T_{01} = ((0,052 \cdot (42^2 - 0^2) + 0,17 \cdot 38,5 \cdot 84,9) \cdot 10^{-3}) = 0,64 \text{ мин};$$

Штучно – калькуляционное время данной операции определяем по формуле (3):

$$T_{\text{шт.к1}} = \phi_{\text{к.1}} \cdot T_{\text{o.1}} = 2,14 \cdot 0,64 = 1,36 \text{ мин.}$$

Основное технологическое время второй операции (см. чертеж детали)

$$T_{02} = ((0,052(D^2 - d^2) + 0,17dl) \cdot 10^{-3})$$

где d – диаметр, мм;

l – длина обрабатываемой поверхности, мм.

Тогда

$$T_{02} = ((0,052(42^2 - 0^2) + 0,17 \cdot 21,8 \cdot 49,2) \cdot 10^{-3}) = 0,274 \text{ мин}$$

Штучно – калькуляционное время данной операции рассчитываем по формуле (3):

$$T_{\text{шт.к2}} = \phi_{\text{к.2}} \cdot T_{\text{o.2}} = 2,14 \cdot 0,274 = 0,58 \text{ мин.}$$

Основное технологическое время для третьей, фрезерной операции (см. чертеж детали):

$$T_{03} = 4l \cdot 10^{-3}$$

тогда

$$T_{03} = 4 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 0,11 \text{ мин},$$

Штучно – калькуляционное время данной операции так же определяем по формуле (3):

$$T_{ш.к.3} = \phi_{к.3} \cdot T_{о.3} = 1,84 \cdot 0,11 = 0,206 \text{ мин.}$$

Основное технологическое время для четвертой, шлифовальной операции (см. чертеж детали):

$$T_{о4} = 0,1dl \cdot 10^{-3}$$

тогда

$$T_{о4} = 0,1 \cdot 30 \cdot 83 \cdot 10^{-3} = 0,249 \text{ мин,}$$

Штучно – калькуляционное время данной операции так же определяем по формуле (3):

$$T_{ш.к.4} = \phi_{к.4} \cdot T_{о.4} = 2,1 \cdot 0,249 = 0,52 \text{ мин.}$$

Среднее штучно – калькуляционное время на выполнение операций технологического процесса определяем по формуле (2):

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ш.к.i}}{n} = \frac{T_{ш.к.1} + T_{ш.к.2} + T_{ш.к.3} + T_{ш.к.4}}{4} = \frac{1,36 + 0,58 + 0,206 + 0,249}{4} = 0,59$$

мин.

Коэффициент закрепления операция определяем по формуле (1):

$$K_{з.о} = \frac{t_B}{T_{cp}} = \frac{24,36}{0,59} = 38,28 \text{ мин.}$$

Так как $K_{з.о} = 38,28 \geq 20$, то тип производства мелкосерийный.

4.3 Технологический процесс (операционные эскизы и содержание операций).

Маршрут технологии изготовления детали типа «вал» представлен в таблице 1.1 Предварительный маршрут включает в себя схемы базирования заготовки, выдерживаемые технологические размеры, а также тексты переходов и их эскизы.

Маршрут обработки

| Номер | | Наименование операций и содержание переходов | Операционный эскиз |
|----------|----------|---|--------------------|
| операции | перехода | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0 | 1 | <p>Отрезная</p> <p>Отрезать заготовку, выдержать размер $135,8_{-1}$</p> | |
| 1 | | <p>Установ А</p> <p>Токарная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 Подрезать торец 1, выдержать размер $135,7_{-1}$; 2 Точить поверхность 2, выдержать размер $86,6 \pm 0,435$ и $\phi 38 \pm 0,065$; 3 Точить поверхность 3, выдержать размер $14,65 \pm 0,215$ и $\phi 24,25 \pm 0,065$; 4 Подрезать торец 1, выдержать размер $135,4_{-1}$; 5 Точить поверхность 4, выдержать размер A_{14}^* и $\phi 40_{-0,062}$; 6 Точить поверхность 2, выдержать размер $86 \pm 0,435$ и $\phi 30 \pm 0,065$; 7 Точить поверхность 3, выдержать размер $14 \pm 0,215$ и $\phi 24_{-0,040}^{-0,007}$; 8 Точить канавку, выдерживая размер $3^{+0,25}$ и $\phi 218_{-0,52}$; 9 Точить канавку, выдерживая размер $3^{+0,25}$ и $\phi 29_{-0,52}$; 10 Нарезать резьбу М24, выдержать размер $14 \pm 0,125$; 11 Точить фаску $1 \pm 0,3 \times 45^\circ$; 12 Точить фаску $1 \pm 0,3 \times 45^\circ$; 13 С드릴ить центральное отверстие | |

| | | |
|----------|---|---|
| <p>2</p> | <p>Установ Б</p> <p>Токарная</p> <p>1 Подрезать торец 5, выдержав размер 135,3₋₁;</p> <p>2 Точить поверхность 6, выдержав размер 48,7±0,31 и φ28,25±0,065;</p> <p>3 Точить поверхность 7 выдержав размер 43,56±0,31 и φ18,48±0,065</p> <p>4 Подрезать торец 5, выдержав размер 135₋₁;</p> <p>5 Точить поверхность 6, выдержав размер 44,06±0,06 и φ28_{-0,52};</p> <p>6 Точить поверхность 7 выдержав размер 39±0,1 и φ18,23_{-0,018}</p> <p>7 Точить фаску 1±0,3×45°;</p> <p>8 Расточить центральное отверстие</p> | <p>Technical drawings of a shaft. The top drawing shows a shaft with a total length of 135,3₋₁. It has a diameter of φ18,48±0,065 for a section of length 39,8±0,31 and φ28,25±0,065 for a section of length 36,56±0,31. The bottom drawing shows a shaft with a total length of 135₋₁. It has a diameter of φ28_{-0,52} for a section of length 44,06±0,31 and φ18,23_{-0,018} for a section of length 39±0,31. A chamfer of 1±0,3×45° is shown at the end. Surface finish requirements are indicated as √Rz20 and √Ra 1,25.</p> |
| <p>3</p> | <p>Фрезерная</p> <p>1 Фрезеровать шпоночный паз, выдержав размеры 28^{+0,52} и 25±0,26</p> <p>2 Фрезеровать шпоночный паз, выдержав размеры 28^{+0,52} и 10^{+0,36}</p> | <p>Technical drawings of a shaft with keyways. The main drawing shows a shaft with a diameter of φ28^{+0,52} and a keyway width of 25±0,26. The distance between keyways is 10^{+0,36}. Two circular cross-sections are shown below, with diameters of 8H9^(+0,036) and 5H9^(+0,03), and a diameter of φ26_{-0,52} for the shaft. A diameter of φ15_{-0,43} is also indicated.</p> |
| <p>4</p> | <p>Термическая</p> <p>1 Закалить, отпустить HRC 45..52</p> | |
| <p>5</p> | <p>Круглошлифовальная</p> <p>1 Шлифовать поверхность 7, с подшлифовкой торца 8, выдержав размер 5±0,15 и φ18_{-0,018}</p> <p>2 Шлифовать поверхность 2, выдержав φ30±0,0065</p> | <p>Technical drawing of a shaft with a diameter of φ30±0,0065 and a length of 5±0,15. The end diameter is φ18_{-0,018}. Surface finish requirements are indicated as √Rz20.</p> |
| <p>6</p> | <p>Контрольная</p> | |

4.4 Размерный анализ.

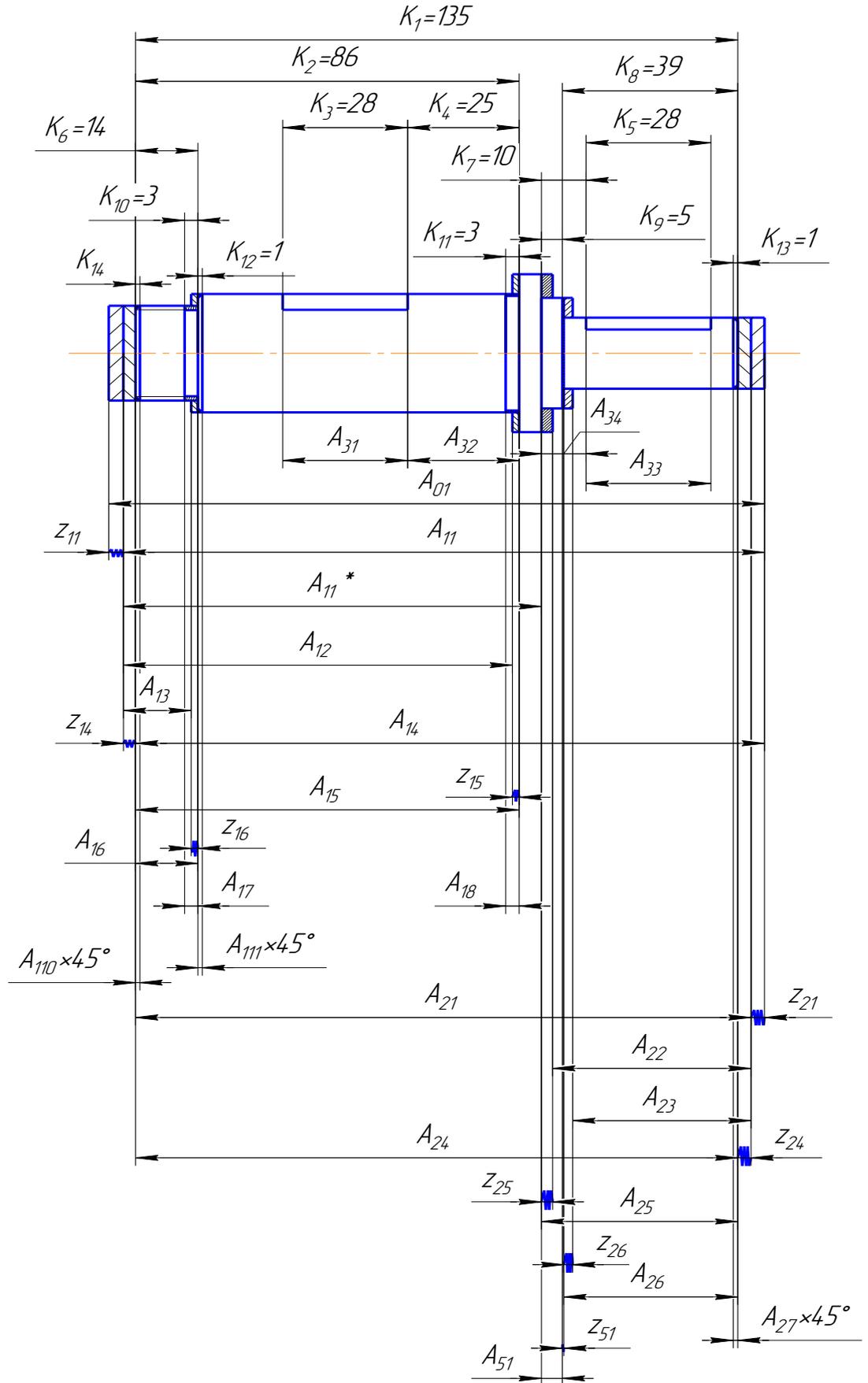


Рис. 4.4 Размерная схема

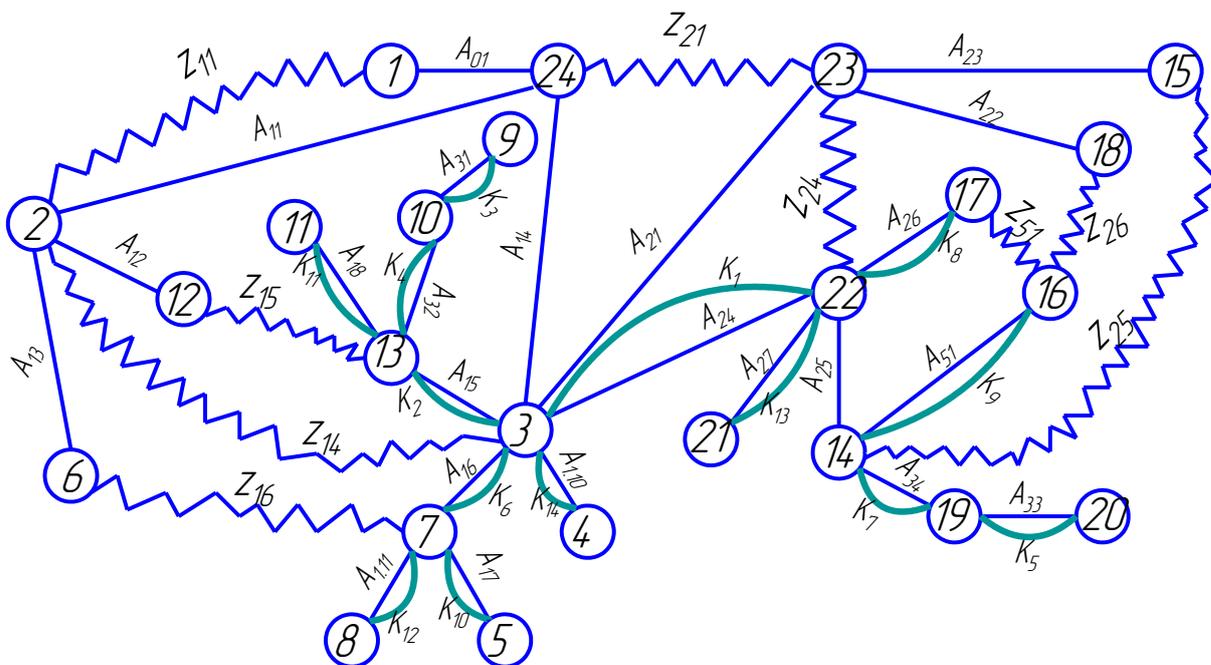


Рис. 4.5 Граф технологических размерных цепей

4.4.1 Определение допусков на технологические размеры

Допуски размеров исходной заготовки находятся по соответствующим стандартам и справочным материалам. Допуски размеров, получаемых на операциях механической обработки, определяются с использованием таблиц точности. Эти таблицы включают в себя статистические данные по погрешностям размерам заготовок, обрабатываемых на различных металлорежущих станках. Величина допуска непосредственно зависит от вида и метода обработки, используемого оборудования, числа рабочих ходов и размера обрабатываемой поверхности.

Допуски

на осевые размеры, мм.

$$TA_{01} = 0,8$$

$$TA_{11} = \omega_i + \rho_i = 0,25 + 0,37 = 0,62$$

Допуски

на диаметральные размеры, мм.

$$TD_{01} = 0,8$$

$$TD_{12} = \omega_i = 0,13$$

$$TD_{13} = \omega_i = 0,13$$

$$TA_{12} = \omega_i = 0.25$$

$$TD_{14*} = \omega_i = 0,1$$

$$TA_{13} = \omega_i = 0.2$$

$$TD_{15} = \omega_i = 0,084$$

$$TA_{14} = \omega_i = 0.17$$

$$TA_{15} = \pm 0,435$$

$$TD_{16} = \begin{matrix} -0,007 \\ -0,040 \end{matrix}$$

$$TA_{16} = \pm 0,215$$

$$TD_{17} = -0,52$$

$$TA_{17} = 0,25$$

$$TD_{18} = -0,52$$

$$TA_{18} = 0,25$$

$$TD_{22} = \omega_i = 0,13$$

$$TA_{19} = \omega_i = 0,12$$

$$TD_{23} = 0,13$$

$$TA_{1.10} = \pm 0,3$$

$$TD_{25} = -0,52$$

$$TD_{26} = 0,084$$

$$TA_{1.11} = \pm 0,3$$

$$TD_{51} = -0,018$$

$$TD_{52} = \pm 0,065$$

$$TA_{21} = \omega_i + \rho_i = 0,25 + 0,37 = 0,62$$

$$TA_{22} = \omega_i = 0,2$$

$$TA_{23} = \omega_i = 0,2$$

$$TA_{24} = -1$$

$$TA_{25} = \omega_i = 0,12$$

$$TA_{26} = \pm 0,31$$

$$TA_{27} = \pm 0,3$$

$$TA_{31} = 0,52$$

$$TA_{32} = \pm 0,26$$

$$TA_{33} = 0,52$$

$$TA_{34} = 0,36$$

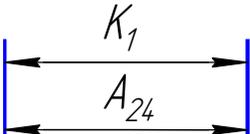
$$TA_{51} = 0,05$$

4.4.2 Проверка обеспечения точности конструкторских размеров

Для проверки обеспечения точности конструкторских размеров необходимо построить размерную схему отдельно в осевом и радиальном направлениях. На данную схему наносят все технологические размеры, припуски на обработку, а также конструкторские размеры. На основании построенной размерной схемы выделяют размерные цепи, замыкающими звеньями в которых являются конструкторские размеры и припуски на обработку.

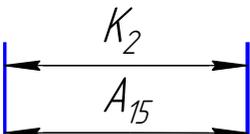
Конструкторские размеры, выдерживаемые непосредственно:

1. $K_1 = A_{24}$



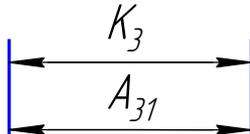
A dimension line with arrows at both ends, labeled with K_1 above and A_{24} below.

2. $K_2 = A_{15}$



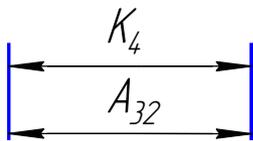
A dimension line with arrows at both ends, labeled with K_2 above and A_{15} below.

3. $K_3 = A_{31}$

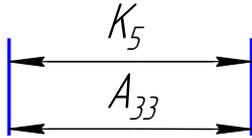


A dimension line with arrows at both ends, labeled with K_3 above and A_{31} below.

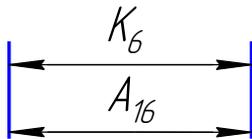
4. $K_4 = A_{32}$



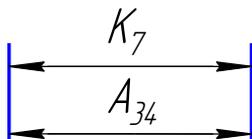
5. $K_5 = A_{33}$



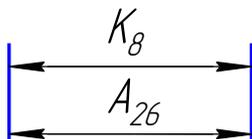
6. $K_6 = A_{16}$



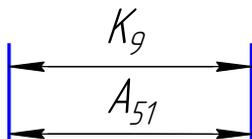
7. $K_7 = A_{34}$



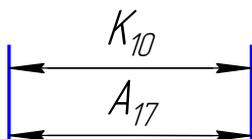
8. $K_8 = A_{26}$



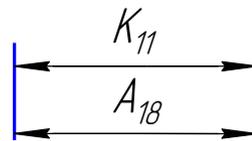
9. $K_9 = A_{51}$



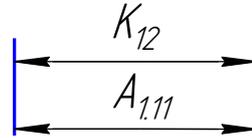
10. $K_{10} = A_{17}$



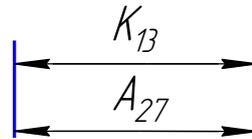
11. $K_{11} = A_{18}$



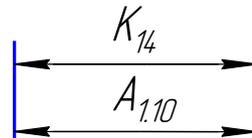
12. $K_{12} = A_{1.11}$



13. $K_{13} = A_{27}$



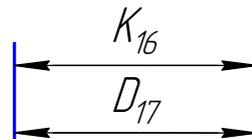
14. $K_{14} = A_{1.10}$



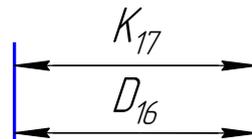
15. $K_{15} = D_{51}$



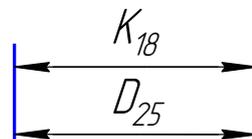
16. $K_{16} = D_{17}$



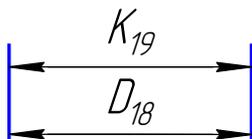
17. $K_{17} = D_{16}$



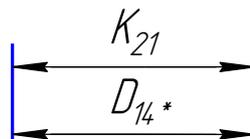
18. $K_{18} = D_{25}$



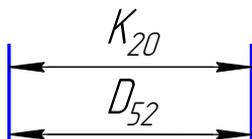
$$19. K_{19} = D_{18}$$



$$21. K_{21} = D_{14^*}$$



$$20. K_{20} = D_{52}$$



Данная технология обеспечивает получение всех конструкторских размеров.

4.4.3 Определение минимальных припусков на обработку и технологических размеров

Расчет минимальных припусков

Существует два метода определения минимальных припусков на обработку: нормативный и расчетно-аналитический [7].

При нормативном методе значения $z_{i \min}$ находят непосредственно по таблицам, которые составлены путем обобщения и систематизации производственных данных.

При расчетно-аналитическом методе $z_{i \min}$ находят путем суммирования отдельных составляющих, что позволяет наиболее полно учесть конкретные условия обработки.

Расчет минимальных значений для диаметральных припусков производим, пользуясь формулой:

$$z_i^D \min = 2 \cdot \left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (4)$$

где: $z_{\min i}^D$ – минимальный припуск на диаметр для рассматриваемой обработки, мкм;

$R_{z_{i-1}}$ – шероховатость поверхности после предыдущей обработки, мкм;

h_{i-1} - толщина дефектного слоя после предыдущей обработки, мкм;
 ρ_{i-1} – суммарное пространственное отклонение формы и расположение поверхности, полученное на предыдущем переходе, мкм;
 ε_i – погрешность установки и закрепления перед рассматриваемой обработкой (во время рассматриваемой обработки).

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\phi i-1}^2 + \rho_{p i-1}^2}, \quad (5)$$

где: $\rho_{\phi i-1}$ – погрешность формы поверхности, полученная на предыдущем переходе.

$\rho_{p i-1}$ – погрешность расположения поверхности, полученная на предыдущем переходе.

$$z_i^{D \min} = 2 \cdot \left(0,11 + 0,07 + \sqrt{0,082^2 + 0,37^2} \right) = 1,18 \text{ мм}, \quad (\text{черновая обработка})$$

$$z_i^{D \min} = 2 \cdot \left(0,02 + 0,0253 + \sqrt{0,0492^2} \right) = 0,1884 \approx 0,19 \text{ мм}, \quad (\text{чистовая обработка})$$

Расчет минимальных значений для осевых припусков производим, пользуясь формулой:

$$z_i^{\min} = R_{z i-1} + h_{i-1} + \rho_{i-1}, \quad (6)$$

где: $z_{\min i}$ – минимальный припуск на размер для рассматриваемой обработки, мкм;

$R_{z i-1}$ – шероховатость поверхности после предыдущей обработки, мкм;

h_{i-1} - толщина дефектного слоя после предыдущей обработки, мкм;

ρ_{i-1} – суммарное пространственное отклонение формы и расположение поверхности, полученное на предыдущем переходе, мкм;

$$\rho_{i-1} = \rho_{\phi i-1}^2 + \rho_{p i-1}^2, \quad (7)$$

где: $\rho_{\phi i-1}$ – погрешность формы поверхности, полученная на предыдущем переходе.

$\rho_{p i-1}$ – погрешность расположения поверхности, полученная на предыдущем переходе.

$$z_{11}^{\min} = z_{21}^{\min} = 0,11 + 0,07 + 0,26 = 0,44 \text{ мм},$$

$$z_{14}^{\min} = z_{24}^{\min} = 0,02 + 0,025 + 0,0156 = 0,06 \text{ мм},$$

$$z_{15}^{\min} = z_{25}^{\min} = z_{26}^{\min} = 0,02 + 0,025 + 0,093 = 0,12 \text{ мм},$$

$$z_{16}^{\min} = 0,02 + 0,025 + 0,082 = 0,13 \text{ мм},$$

$$z_{51}^{\min} = 0,02 + 0,025 + 0,0024 = 0,05 \text{ мм},$$

4.4.4 Расчет диаметральных технологических размеров

$$D_{14}^* = 40_{-0,62}$$

$$D_{16} = 24_{-0,040}^{-0,007} \text{ мм},$$

$$D_{17} = 21,8_{-0,52} \text{ мм},$$

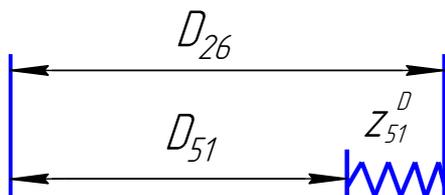
$$D_{18} = 29_{-0,52} \text{ мм},$$

$$D_{25} = 28_{-0,52} \text{ мм},$$

$$D_{51} = 18_{-0,018} \text{ мм},$$

$$D_{52} = 30 \pm 0,065 \text{ мм},$$

1. Найдем технологический размер D_{26} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера D_{26} .

$$z_{51}^D \text{ ср} = D_{26}^{\text{ср}} - D_{51}^{\text{ср}}$$

$$D_{26}^{\text{ср}} = z_{51}^D \text{ ср} + D_{51}^{\text{ср}}$$

$$D_{51}^{\text{ср}} = K_{15}^{\text{ср}} = 17,991 \text{ мм},$$

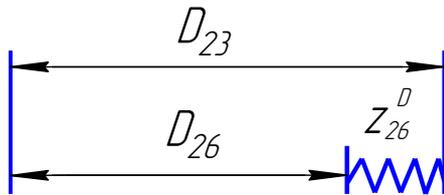
$$z_{51}^{D \text{ cp}} = \frac{z_{51}^{D \text{ min}} + (z_{51}^{D \text{ min}} + TD_{51} + TD_{26})}{2} = \frac{0,19 + (0,19 + 0,084 + 0,018)}{2}$$

$$= 0,24 \text{ мм},$$

$$D_{26}^{\text{cp}} = z_{51}^{D \text{ cp}} + D_{51}^{\text{cp}} = 17,991 + 0,24 = 18,23 \text{ мм}.$$

Принимаем $D_{26} = 18,23 \pm 0,065 \text{ мм}$.

2. Найдем технологический размер D_{23} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера D_{23} .

$$z_{26}^{D \text{ cp}} = D_{23}^{\text{cp}} - D_{26}^{\text{cp}}$$

$$D_{23}^{\text{cp}} = D_{26}^{\text{cp}} + z_{26}^{D \text{ cp}}$$

$$D_{26}^{\text{cp}} = 18,19 \text{ мм},$$

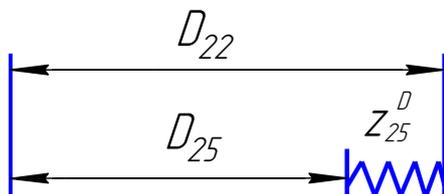
$$z_{26}^{D \text{ cp}} = \frac{z_{26}^{D \text{ min}} + (z_{26}^{D \text{ min}} + TD_{23} + TD_{26})}{2} = \frac{0,19 + (0,19 + 0,13 + 0,084)}{2}$$

$$= 0,29 \text{ мм},$$

$$D_{23}^{\text{cp}} = D_{26}^{\text{cp}} + z_{26}^{D \text{ cp}} = 18,19 + 0,29 = 18,48 \text{ мм}.$$

Принимаем $D_{23} = 18,48 \pm 0,065 \text{ мм}$.

3. Найдем технологический размер D_{22} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера D_{22} .

$$z_{25}^{D \text{ cp}} = D_{22}^{\text{cp}} - D_{25}^{\text{cp}}$$

$$D_{22}^{\text{cp}} = D_{25}^{\text{cp}} + z_{25}^{D \text{ cp}}$$

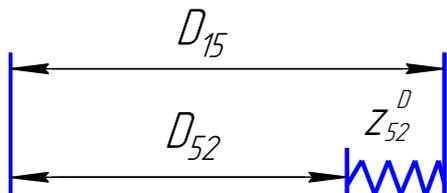
$$D_{25}^{cp} = K_{15}^{cp} = 27,75 \text{ мм},$$

$$z_{25}^{D \text{ cp}} = \frac{z_{25}^{D \text{ min}} + (z_{25}^{D \text{ min}} + TD_{22} + TD_{25})}{2} = \frac{0,19 + (0,19 + 0,13 + 0,52)}{2} = 0,5 \text{ мм},$$

$$D_{22}^{cp} = D_{25}^{cp} + z_{25}^{D \text{ cp}} = 27,75 + 0,5 = 28,25 \text{ мм}.$$

Принимаем $D_{22} = 28,25 \pm 0,065 \text{ мм}$.

4. Найдем технологический размер D_{15} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера D_{15} .

$$z_{52}^{D \text{ cp}} = D_{15}^{cp} - D_{52}^{cp}$$

$$D_{15}^{cp} = D_{52}^{cp} + z_{52}^{D \text{ cp}}$$

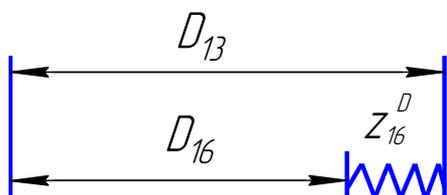
$$D_{52}^{cp} = K_{20}^{cp} = 29,96 \text{ мм},$$

$$z_{52}^{D \text{ cp}} = \frac{z_{52}^{D \text{ min}} + (z_{52}^{D \text{ min}} + TD_{15} + TD_{52})}{2} = \frac{0,19 + (0,19 + 0,084 + 0,065)}{2} = 0,26 \text{ мм},$$

$$D_{15}^{cp} = D_{52}^{cp} + z_{52}^{D \text{ cp}} = 29,96 + 0,26 = 30,22 \text{ мм}.$$

Принимаем $D_{15} = 30,22 \pm 0,065 \text{ мм}$.

5. Найдем технологический размер D_{13} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера D_{13} .

$$z_{16}^{D \text{ cp}} = D_{13}^{cp} - D_{16}^{cp}$$

$$D_{13}^{cp} = D_{16}^{cp} + z_{16}^{D \text{ cp}}$$

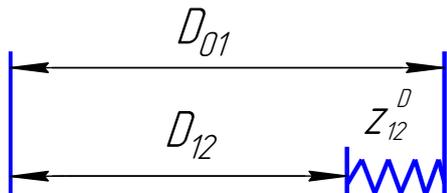
$$D_{16}^{cp} = K_{17}^{cp} = 23,98 \text{ мм},$$

$$z_{16}^{D \text{ cp}} = \frac{z_{16}^{D \text{ min}} + (z_{16}^{D \text{ min}} + TD_{16} + TD_{13})}{2} = \frac{0,19 + (0,19 + 0,13 + 0,04)}{2} = 0,275 \text{ мм},$$

$$D_{13}^{cp} = D_{16}^{cp} + z_{16}^{D \text{ cp}} = 23,98 + 0,275 = 24,255 \text{ мм}.$$

Принимаем $D_{13} = 24,25 \pm 0,065 \text{ мм}$.

6. Найдем технологический размер D_{12} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера D_{12} .

$$z_{12}^{D \text{ cp}} = D_{01}^{cp} - D_{12}^{cp}$$

$$D_{12}^{cp} = D_{01}^{cp} - z_{12}^{D \text{ cp}}$$

$$D_{01}^{cp} = 39,6 \text{ мм},$$

$$z_{12}^{D \text{ cp}} = \frac{z_{12}^{D \text{ min}} + (z_{12}^{D \text{ min}} + TD_{12} + TD_{01})}{2} = \frac{1,18 + (1,18 + 0,13 + 0,8)}{2} = 1,6 \text{ мм},$$

$$D_{12}^{cp} = D_{01}^{cp} - z_{12}^{D \text{ cp}} = 39,6 - 1,6 = 38 \text{ мм}.$$

Принимаем $D_{12} = 38 \pm 0,065 \text{ мм}$.

4.4.5 Расчет осевых технологических размеров

$$A_{15} = 86 \pm 0,435 \text{ мм},$$

$$A_{16} = 14 \pm 0,215 \text{ мм},$$

$$A_{17} = 3^{+0,25} \text{ мм},$$

$$A_{18} = 3^{+0,25} \text{ мм},$$

$$A_{1.10} = 1 \pm 0,3 \times 45^\circ \text{ мм},$$

$$A_{1.11} = 1 \pm 0,3 \times 45^\circ \text{ мм},$$

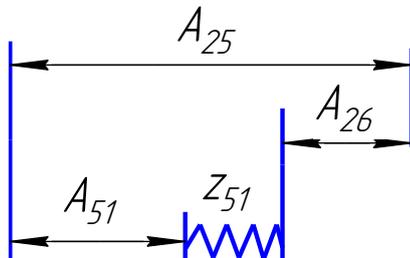
$$A_{24} = 135_{-1} \text{ мм},$$

$$A_{26} = 39 \pm 0,31 \text{ мм},$$

$$A_{27} = 1 \pm 0,3 \times 45^\circ \text{ мм},$$

$$A_{51} = 5 \pm 0,15 \text{ мм},$$

1. Найдем технологический размер A_{25} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{25} .

$$z_{51}^{\text{cp}} = A_{25}^{\text{cp}} - A_{51}^{\text{cp}} - A_{26}^{\text{cp}}$$

$$A_{25}^{\text{cp}} = z_{51}^{\text{cp}} + A_{51}^{\text{cp}} + A_{26}^{\text{cp}}$$

$$A_{51}^{\text{cp}} = K_9^{\text{cp}} = 4,925 \text{ мм},$$

$$A_{26}^{\text{cp}} = K_9^{\text{cp}} = 38,845 \text{ мм},$$

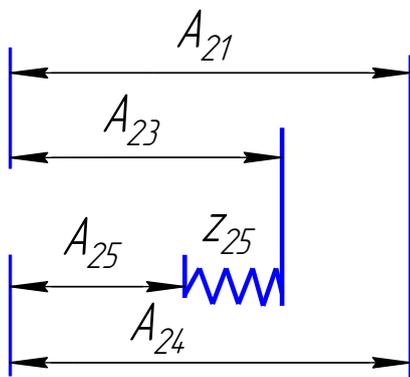
$$z_{51}^{\text{cp}} = \frac{z_{51}^{\text{min}} + (z_{51}^{\text{min}} + TA_{51} + TA_{26} + TA_{25})}{2}$$

$$= \frac{0,05 + (0,05 + 0,05 + 0,31 + 0,12)}{2} = 0,29 \text{ мм},$$

$$A_{25}^{\text{cp}} = z_{51}^{\text{cp}} + A_{51}^{\text{cp}} + A_{26}^{\text{cp}} = 0,29 + 4,925 + 38,845 = 44,06 \text{ мм}.$$

Принимаем $A_{25} = 44,06 \pm 0,31 \text{ мм}$.

2. Найдем технологический размер A_{23} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{23} .

$$z_{25}^{cp} = A_{21}^{cp} + A_{25}^{cp} - A_{24}^{cp} - A_{23}^{cp}$$

$$A_{23}^{cp} = A_{21}^{cp} + A_{25}^{cp} - A_{24}^{cp} + z_{25}^{cp}$$

$$A_{21}^{cp} = 133,945 \text{ мм},$$

$$A_{24}^{cp} = K_1^{cp} = 134,5 \text{ мм},$$

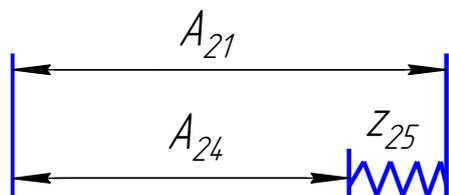
$$A_{25}^{cp} = 43,905 \text{ мм},$$

$$z_{25}^{cp} = \frac{z_{25}^{\min} + (z_{25}^{\min} + TA_{21} + TA_{25} + TA_{24} + TA_{23})}{2} = \frac{0,12 + (0,12 + 0,62 + 0,12 - 1 + 0,2)}{2} = 0,09 \text{ мм},$$

$$A_{23}^{cp} = A_{21}^{cp} + A_{25}^{cp} - A_{24}^{cp} + z_{25}^{cp} = 133,945 + 43,905 - 134,5 + 0,09 = 43,56 \text{ мм}.$$

Принимаем $A_{23} = 36,56 \pm 0,31 \text{ мм}$.

3. Найдем технологический размер A_{21} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{21} .

$$z_{24}^{cp} = A_{21}^{cp} - A_{24}^{cp}$$

$$A_{21}^{cp} = A_{24}^{cp} + z_{24}^{cp}$$

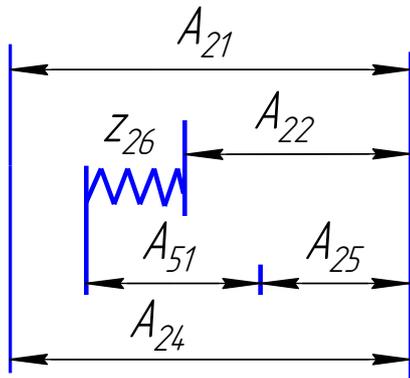
$$A_{24}^{cp} = K_1^{cp} = 134,5 \text{ мм},$$

$$z_{24}^{cp} = \frac{z_{24}^{\min} + (z_{24}^{\min} + TA_{21} + TA_{24})}{2} = \frac{0,06 + (0,06 + 0,62 - 1)}{2} = 0,13 \text{ мм},$$

$$A_{21}^{cp} = A_{24}^{cp} + z_{24}^{cp} = 134,5 + 0,13 = 134,63 \text{ мм}.$$

Принимаем $A_{21} = 134,63 \pm 0,85 \text{ мм}$.

4. Найдем технологический размер A_{22} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{22} .

$$z_{26}^{cp} = A_{21}^{cp} + A_{51}^{cp} + A_{25}^{cp} - A_{24}^{cp} - A_{22}^{cp}$$

$$A_{22}^{cp} = A_{21}^{cp} + A_{25}^{cp} - A_{51}^{cp} - A_{24}^{cp} + z_{26}^{cp}$$

$$A_{21}^{cp} = 134,205 \text{ мм},$$

$$A_{24}^{cp} = K_1^{cp} = 134,5 \text{ мм},$$

$$A_{25}^{cp} = 43,905 \text{ мм},$$

$$A_{51}^{cp} = K_9^{cp} = 4,925 \text{ мм},$$

$$z_{26}^{cp} = \frac{z_{26}^{\min} + (z_{26}^{\min} + TA_{21} + TA_{51} + TA_{25} + TA_{24} + TA_{22})}{2}$$

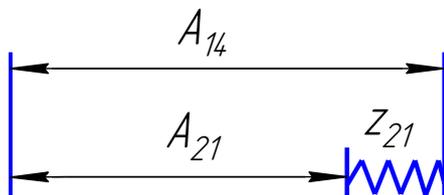
$$= \frac{0,12 + (0,12 + 0,62 + 0,05 + 0,12 - 1 + 0,2)}{2} = 0,115 \text{ мм},$$

$$A_{22}^{cp} = A_{21}^{cp} + A_{25}^{cp} - A_{51}^{cp} - A_{24}^{cp} + z_{26}^{cp}$$

$$= 134,205 + 43,905 - 4,925 - 134,5 + 0,115 = 39,8 \text{ мм}.$$

Принимаем $A_{22} = 39,8 \pm 0,31 \text{ мм}$.

5. Найдем технологический размер A_{14} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{14} .

$$z_{21}^{cp} = A_{14}^{cp} - A_{21}^{cp}$$

$$A_{14}^{cp} = A_{21}^{cp} - z_{21}^{cp}$$

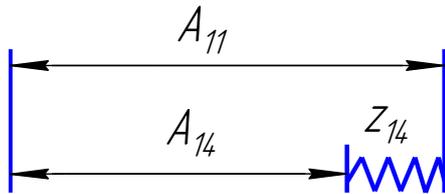
$$A_{21}^{cp} = 134,205 \text{ мм},$$

$$z_{21}^{cp} = \frac{z_{21}^{min} + (z_{21}^{min} + TA_{14} + TA_{21})}{2} = \frac{0,44 + (0,44 + 0,17 + 0,62)}{2} = 0,835 \text{ мм},$$

$$A_{14}^{cp} = A_{21}^{cp} + z_{21}^{cp} = 134,205 + 0,835 = 135,04 \text{ мм}.$$

Принимаем $A_{14} = 135,04 \pm 0,085 \text{ мм}$.

6. Найдем технологический размер A_{11} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{11} .

$$z_{14}^{cp} = A_{11}^{cp} - A_{14}^{cp}$$

$$A_{11}^{cp} = A_{14}^{cp} + z_{14}^{cp}$$

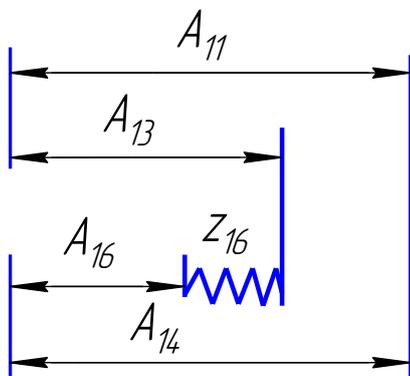
$$A_{14}^{cp} = 134,615 \text{ мм},$$

$$z_{14}^{cp} = \frac{z_{14}^{min} + (z_{14}^{min} + TA_{14} + TA_{11})}{2} = \frac{0,06 + (0,06 + 0,17 + 0,62)}{2} = 0,46 \text{ мм},$$

$$A_{11}^{cp} = A_{14}^{cp} + z_{14}^{cp} = 134,615 + 0,46 = 135,075 \text{ мм}$$

Принимаем $A_{11} = 135,075 \pm 0,085 \text{ мм}$.

7. Найдем технологический размер A_{13} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{19} .

$$z_{16}^{cp} = A_{14}^{cp} + A_{13}^{cp} - A_{11}^{cp} - A_{16}^{cp}$$

$$A_{13}^{cp} = A_{11}^{cp} + A_{16}^{cp} + z_{16}^{cp} - A_{14}^{cp}$$

$$A_{11}^{cp} = 134,65 \text{ мм},$$

$$A_{16}^{cp} = K_6^{cp} = 13,892 \text{ мм},$$

$$A_{14}^{cp} = 134,615 \text{ мм},$$

$$z_{16}^{cp} = \frac{z_{16}^{\min} + (z_{16}^{\min} + TA_{13} + TA_{11} + TA_{16} + TA_{14})}{2} =$$

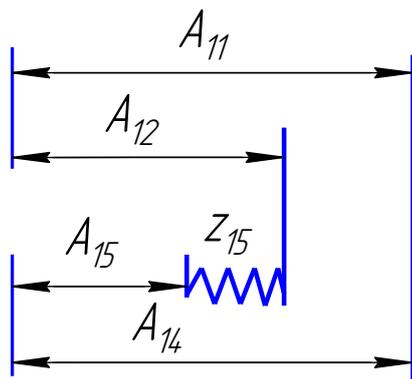
$$= \frac{0,13 + (0,13 + 0,2 + 0,62 + 0,215 + 0,17)}{2} = 0,73 \text{ мм},$$

$$A_{13}^{cp} = A_{11}^{cp} + A_{16}^{cp} + z_{16}^{cp} - A_{14}^{cp} = 134,65 + 13,892 + 0,73 - 134,615$$

$$= 14,657 \text{ мм}.$$

Принимаем $A_{13} = 14,657 \pm 0,215 \text{ мм}$.

8. Найдем технологический размер A_{12} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{12} .

$$z_{15}^{cp} = A_{14}^{cp} + A_{12}^{cp} - A_{15}^{cp} - A_{11}^{cp}$$

$$A_{12}^{cp} = A_{14}^{cp} + A_{15}^{cp} + z_{15}^{cp} - A_{11}^{cp}$$

$$A_{11}^{cp} = 134,65 \text{ мм},$$

$$A_{15}^{cp} = K_2^{cp} = 85,782 \text{ мм},$$

$$A_{14}^{cp} = 134,615 \text{ мм},$$

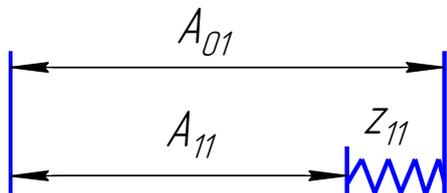
$$z_{15}^{cp} = \frac{z_{15}^{\min} + (z_{15}^{\min} + TA_{14} + TA_{12} + TA_{15} + TA_{11})}{2} = \frac{0,12 + (0,12 + 0,17 + 0,25 + 0,435 + 0,62)}{2} =$$

0,857 мм.

$$A_{12}^{cp} = A_{14}^{cp} + A_{15}^{cp} + z_{15}^{cp} - A_{11}^{cp} = 134,615 + 85,782 + 0,857 - 134,65 = 86,604 \text{ мм.}$$

Принимаем $A_{12} = 86,604 \pm 0,435 \text{ мм.}$

9. Найдем технологический размер A_{01} .



Из цепи составляем уравнение для замыкающего звена. Далее находим среднее значение размера A_{01} .

$$z_{11}^{cp} = A_{01}^{cp} - A_{11}^{cp}$$

$$A_{01}^{cp} = A_{11}^{cp} + z_{11}^{cp}$$

$$A_{11}^{cp} = 134,65 \text{ мм,}$$

$$z_{11}^{cp} = \frac{z_{11}^{\min} + (z_{11}^{\min} + TA_{11} + TA_{01})}{2} = \frac{0,44 + (0,44 + 0,62 + 0,8)}{2} = 1,15 \text{ мм,}$$

$$A_{01}^{cp} = A_{11}^{cp} + z_{11}^{cp} = 134,65 + 1,15 = 135,8$$

Принимаем $A_{01} = 135,8_{-1} \text{ мм.}$

4.5 Расчёт режимов резания, выбор оборудования.

При назначении режимов резания следует учитывать вид обработки, тип и размеры инструмента, материал его режущей части, материал заготовки, тип и состояние станка [6].

Выполняется на токарно-винторезном станке с ЧПУ 16К20Ф3 со следующими характеристиками:

- Частота вращения шпинделя 12,5 - 2000 об/мин;
- Мощность электродвигателя главного привода, кВт: 11.

1. Подрезка торца 1.

Инструмент:

Резец с пластинами из твердого сплава Т15К6.

Геометрия инструмента: $\varphi=90^0$; $\gamma=10$; $\lambda=0^0$; $R=1 \text{ мм.}$

Глубина резания: $t=Z_{\max}=1,5$ мм.

Подача: $S=0,4$ мм/об.

Скорость резания:

При наружном продольном точении скорость резания рассчитывается по формуле

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V$$

где K_V - общий поправочный коэффициент на скорость резания учитывающий фактические условия резания. $K_V=K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{pv}$, где K_{mv} - коэффициент учитывающий влияние материала заготовки.

$$K_{mv}=K_r \cdot (750/\sigma_B)^{n_v}, n_v=1, K_r=1, \sigma_B=650 \text{ МПа}, K_{mv}=1 \cdot (750/650)^1=1,15;$$

K_{pv} - коэффициент учитывающий состояние поверхности, $K_{pv}=0,9$;

K_{uv} - коэффициент учитывающий материал инструмента, $K_{uv}=1$

$$K_V=1,15 \cdot 0,9 \cdot 1=1,035$$

$C_V=290$, $x=0,15$, $y=0,35$, $m=0,2$

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V = \frac{290}{60^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} \cdot 1,035 = 171,51 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{171,51 \cdot 1000}{3,14 \cdot 43} = 1270 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Расчет сил резания:

Силы резания рассчитываются по формуле:

$$P_{zxy} = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P$$

где K_P - поправочный коэффициент, представляющий собой произведение ряда коэффициентов, учитывающих фактические условия резания.

$$K_P=K_{mp}K_{\varphi p}K_{\gamma p}K_{\lambda p}K_{rp}; \quad K_{mp}=(\sigma_B/750)^n \quad n=0,75, \quad \sigma_B=650 \text{ МПа},$$

$$K_{mp}=(650/750)^{0,75}=0,89$$

$$K_P = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$$

$C_P=300$, $x=1$, $y=0,75$, $n=-0,15$

$$P_z = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P = 10 \cdot 300 \cdot 1,5^1 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 171,51^{-0,15} \cdot 0,778 \\ = 808,1 \text{ Н}$$

$$1) K_P = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,89 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,778$$

$$P_y = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P = 10 \cdot 243 \cdot 1,5^{0,9} \cdot 0,4^{0,6} \cdot 171,51^{-0,3} \cdot 0,56$$

$$= 246,62 \text{ Н}$$

$$2) K_P = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,89 \cdot 0,77 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,82 = 0,56$$

$$P_x = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P = 10 \cdot 339 \cdot 1,5^1 \cdot 0,4^{0,5} \cdot 171,51^{-0,4} \cdot 0,98$$

$$= 401,85$$

$$3) K_P = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,89 \cdot 1,11 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,98$$

2. Наружное точение до $\varnothing 38 \pm 0,065$ ($D_{1,2}$).

Инструмент:

Резец с пластинами из твердого сплава Т15К6

Геометрия инструмента: $\varphi=90^0$; $\gamma=10$; $\lambda=0^0$; $R=1$ мм

Глубина резания:

За два прохода $t=Z_{\max}=1,5$ мм,

Подача: $S=0,5$ мм/об.

Скорость резания:

При наружном продольном точении скорость резания рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V$$

$$K_V = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,035$$

$$C_V = 350, x = 0,15, y = 0,35, m = 0,2$$

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} \cdot 1,035 = 194,75 \frac{\text{М}}{\text{МИН}}$$

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{194,75 \cdot 1000}{3,14 \cdot 38} = 1636,55 \text{ об/мин}$$

Расчет сил резания:

Силы резания рассчитываются по формуле:

$$P_{z x y} = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P$$

$$1) K_P = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,82$$

$$C_p = 300, x = 1, y = 0.75, n = -0.15$$

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 1,5^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 194,75^{-0,15} \cdot 0,82 \\ = 979,6 \text{ Н}$$

$$2) K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,82 = 0,72$$

$$C_p = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3$$

$$P_y = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 1,2^{0,9} \cdot 0,5^{0,6} \cdot 194,75^{-0,3} \cdot 0,72 \\ = 378,84 \text{ Н}$$

$$3) K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,89$$

$$C_p = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4$$

$$P_x = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 1,2^1 \cdot 0,5^{0,5} \cdot 194,75^{-0,4} \cdot 0,89 \\ = 309,72 \text{ Н}$$

3. Точение канавки

Инструмент:

Резец Т15К6

Глубина резания: $t=2,2$ мм,

Подача: $S=0,06$ мм/об.

Скорость резания:

При наружном продольном точении скорость резания рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v$$

$$K_v = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,035$$

$$C_v = 350, x = 0,15, y = 0,35, m = 0,2$$

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 2,2^{0,15} \cdot 0,06^{0,35}} \cdot 1,035 = 385,4 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{385,4 \cdot 1000}{3,14 \cdot 21,8} = 5634,5 \text{ об/мин}$$

Принимаем $n_{\phi} = 2000$ об/мин,

тогда

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 21,8 \cdot 2000}{1000} = 136,9 \text{ М/мин.}$$

4. Нарезание резьбы М24×1,5

Инструмент:

Резьбонарезной резец с пластиной из твердого сплава Т15К6.

Параметры:

Подача: $S=P=1,5$ мм/ об.

Число рабочих ходов: черновых -3, чистовых - 2

Скорость резания:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot S_z^x \cdot S^y} \cdot K_V$$

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{CV} = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,$$

где K_{MV} – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала.

K_{IV} – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента.

K_{CV} – коэффициент, учитывающий способ нарезания резьбы.

$C_v = 244$, $x = 0,23$, $y = 0,3$, $m = 0,2$, $T = 70$ мин.

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V = \frac{244 \cdot 5^{0,23}}{70^{0,2} \cdot 1,5^{0,3}} \cdot 1 = 133,8 \text{ М/мин}$$

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{133,8 \cdot 1000}{3,14 \cdot 22} = 1937 \text{ об/мин}$$

Тангенциальная составляющая сил резания при нарезании резьбы резцами, Н:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot P^y}{i^u} \cdot K_p,$$

где P – шаг резьбы, i – число рабочих ходов, $K_p = K_{mp}$

$C_p = 148$, $y = 1,7$, $u = 0,71$, $i = 5$

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot P^y}{i^u} \cdot K_p = \frac{10 \cdot 148 \cdot 1,5^{1,7}}{5^{0,71}} \cdot 0,89 = 837,4 \text{ Н.}$$

Мощность при нарезании резьбы резцами:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{837,4 \cdot 133,8}{1020 \cdot 60} = 1,83 \approx 2 \text{ кВт.}$$

5. Сверление центрального отверстия

Инструмент:

Спиральное сверло из быстрорежущей стали $\varnothing 3$ мм.

Глубина резания:

$$t = 0,5D = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ мм.}$$

Подача: $S=0,9$ мм/ об.

Скорость резания:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^y} \cdot K_V$$

$$K_V = K_{mv} K_{uv} K_{lv} = 1,15 \cdot 1 \cdot 1 = 1,15$$

$$C_V = 16,2 \quad q = 0,4, \quad y = 0,5, \quad m = 0,2 \quad T = 15 \text{ мин.}$$

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^y} \cdot K_V = \frac{16,2 \cdot 3^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,9^{0,5}} \cdot 1,15 = 18,04 \text{ м/мин}$$

Расчет крутящего момента:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p$$

$$C_M = 0,0345, \quad y = 0,8, \quad q = 2, \quad K_p = K_{MP} = 0,75$$

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 0,0345 \cdot 3^2 \cdot 0,9^{0,8} \cdot 0,75 = 2,14 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Расчет осевой силы:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p$$

$$C_p = 68, \quad y = 0,7, \quad q = 1, \quad K_p = K_{MP} = 0,75$$

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 68 \cdot 3^1 \cdot 0,9^{0,7} \cdot 0,75 = 1419,84 \text{ Н}$$

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{18,04 \cdot 1000}{3,14 \cdot 3} = 1915 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Принимаем $n_\phi = 2000$ об/мин,

тогда

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 3 \cdot 2000}{1000} = 18,84 \text{ м/мин.}$$

6. Фрезерная операция.

Выполняется на фрезерном станке бр81ш со следующими характеристиками:

- Мощность электродвигателя главного привода, кВт: 2,2

Инструмент:

Фреза шпоночная двухперая, из быстрорежущей стали Р6М5

Глубина резания:

$$t = 0,3 \text{ мм.}$$

Подача: $S=0,06$ мм/об.

Скорость резания:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^y} \cdot K_V$$

$$K_V = K_{mv} K_{uv} K_{lv} = 1,15 \cdot 1 \cdot 0,9 = 1,035$$

$$C_V = 12 \quad q = 0,3, \quad x = 0,3 \quad y = 0,25, \quad u = 0, \quad p = 0, \quad m = 0,26 \quad T = 15 \text{ мин.}$$

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot D^u \cdot z^p} \cdot K_V = \frac{12 \cdot 5^{0,3}}{15^{0,26} \cdot 0,3^{0,3} \cdot 0,06^{0,25} \cdot 5^0 \cdot 1} \cdot 1,035$$
$$= 26,13 \text{ м/мин}$$

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{26,13 \cdot 1000}{3,14 \cdot 5} = 1664 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

7. Круглошлифовальная операция.

Выполняется на универсальном круглошлифовальном станке 3Е1332а со следующими характеристиками:

- Частота вращения шпинделя шлифовального круга, об/мин: 2350.
- Мощность электродвигателя главного привода, кВт: 4

1) Наружное шлифование до $\varnothing 30 \pm 0,065$ мм.

Инструмент: Шлифовальный круг.

Материал: белый электрокорунд.

Тип: прямого профиля.

Параметры: Ширина(B) = 40 мм.

Основные параметры резания при шлифовании:

Скорость круга: $V_K=30$ м/с,

Скорость заготовки: $V_3 = 20$ м/мин,

Глубина шлифования: $t=0,01$ мм,

Продольная подача: $S=(0,3-0,7)B=0,3 \cdot 40=12$ мм/об.

Расчет эффективной мощности:

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot t^x \cdot s^y \cdot d^q$$

где d – диаметр шлифования.

$C_N=2,65$, $r=0,5$, $x=0,5$, $y=0,55$, q –

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot t^x \cdot s^y \cdot d^q = 2,65 \cdot 20^{0,5} \cdot 0,01^{0,5} \cdot 12^{0,55} = 4,6 \text{ кВт.}$$

2) Наружное шлифование до $\emptyset 18_{-0,018}$ мм.

Инструмент: Шлифовальный круг.

Материал: белый электрокорунд.

Тип: прямого профиля.

Параметры: Ширина(B) = 40 мм.

Скорость круга: $V_K=30$ м/с,

Скорость заготовки: $V_3 = 15$ м/мин,

Глубина шлифования: $t=0,01$ мм,

Продольная подача: $S=(0,3-0,7)B=0,3 \cdot 40=12$ мм/об.

Расчет эффективной мощности:

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot S_p^y \cdot d^q \cdot b^2$$

где d – диаметр шлифования, b – ширина шлифование, мм, равная длине шлифуемого участка при круглом врезном шлифовании.

$C_N=2,65$, $r=0,5$, $x=0,5$, $y=0,55$, q –

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot S_p^y \cdot d^q \cdot b^2 = 2,65 \cdot 15^{0,5} \cdot 12^{0,55} \cdot 0,01^{0,5} = 3,9 \text{ кВт.}$$

4.6 Нормирование операций.

4.6.1 Расчет основного времени

Основное время – время, затрачиваемое на движение инструмента на рабочей подаче.

Расчет основного времени производят на основании следующей зависимости [8]:

$$t_o = \frac{L * i}{S * n}, \text{ мин};$$

где L – расчётная длина обработки, мм;

i - число рабочих ходов;

n – частота вращения шпинделя, об/мин;

S – подача, мм/об (мм/мин).

Расчетную длину обработки определяют как:

$$L = l + l_1 + l_2 + l_3, \text{ мм};$$

здесь l – размер детали на данном переходе, мм;

l_1 - величина подвода инструмента, мм;

l_2 – величина врезания инструмента, мм.

l_3 – величина перебега инструмента, мм.

Величины подвода и перебега для токарной, сверлильной и фрезерной принимаем равной 1мм, для шлифовальной операции данный параметр принимаем равным 0.

Величина врезания инструмента в каждом конкретном случае определяется как:

$$l_2 = \frac{t}{\text{tg}\varphi};$$

где t – глубина резания, мм;

φ - угол в плане.

1. Для подрезки торца 1.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(21 + 1 + 1) \cdot 1}{0,04 \cdot 1270} = 0,45 \text{ мин};$$

5. Наружное точение до $\varnothing 38 \pm 0,065$ мм.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(86,6 + 1 + 1) \cdot 1}{0,5 \cdot 1636} = 0,11 \text{ мин}$$

6. Точение канавки.

$$3) t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(8,2 + 1 + 1) \cdot 1}{0,06 \cdot 2000} = 0,085 \text{ мин}$$

$$4) t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(11 + 1 + 1) \cdot 1}{0,06 \cdot 2000} = 0,108 \text{ мин}$$

7. Нарезание резьбы М24х1,5.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(14 + 1 + 1) \cdot 5}{1,5 \cdot 2000} = 0,026 \text{ мин}$$

8. Сверление центрального отверстия $\varnothing 3$ мм.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(5 + 1 + 1) \cdot 1}{0,9 \cdot 2000} = 0,03 \text{ мин}$$

9. Фрезерная операция.

$$t_o = \frac{L \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(l + l_1 + l_3) \cdot i}{S \cdot n} = \frac{(28 + 1 + 1) \cdot 5}{0,06 \cdot 1660} \cdot 2 = 3 \text{ мин}$$

7. Круглошлифовальная операция.

$$t_o = \frac{Z_{max}}{t} = \frac{1,5}{0,01} = 0,015 \text{ мин}$$

4.6.2 Расчет вспомогательного времени

Вспомогательное время для операции будет складываться из времени на установку и снятие детали, управление станком, измерение детали [8].

$$t_v = t_{уст} + t_{упр} + t_{изм}; \quad (10)$$

Где $t_{уст}$ - время на установку и снятие детали;

$t_{упр}$ - время на управление станком;

$t_{изм}$ - время измерения детали.

4. Токарная операция с ЧПУ.

На станке с ЧПУ время измерений перекрывается временем управления станком.

Из справочника 3.

Первый установ.

$$t_{\text{в}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{упр}} = 0,41 + 0,12 = 0,53 \text{ мин,}$$

Второй установ.

$$t_{\text{в}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{упр}} = 0,41 + 0,23 = 0,64 \text{ мин,}$$

5. Фрезерная операция.

$$t_{\text{в}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{изм}} = 0,4 + 0,6 + 0,23 = 1,23 \text{ мин;}$$

6. Круглошлифовальная операция

$$t_{\text{в}} = t_{\text{уст}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{изм}} = 0,3 + 0,6 + 0,38 = 1,28 \text{ мин;}$$

4.6.3 Расчет оперативного времени

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} \quad (11)$$

4. Токарная операция с ЧПУ.

Установ А.

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} = 1,66 + 0,53 = 2,19 \text{ мин}$$

Установ Б.

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} = 1,56 + 0,64 = 2,2 \text{ мин}$$

5. Фрезерная операция.

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} = 3 + 1,23 = 4,23 \text{ мин}$$

6. Круглошлифовальная операция.

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{осн}} + t_{\text{в}} = 0,03 + 1,28 = 1,31 \text{ мин}$$

4.6.4 Расчет времени на обслуживание рабочего места

$$t_{\text{обс}} = \alpha * t_{\text{оп}} \quad (12)$$

1. Токарная операция с ЧПУ.

Установ А.

$$t_{\text{обс}} = \alpha * t_{\text{оп}} = 0,03 * 2,19 = 0,065 \text{ мин}$$

Установ Б.

$$t_{\text{обс}} = \alpha * t_{\text{оп}} = 0,03 * 2,2 = 0,066 \text{ мин};$$

2. Фрезерная операция.

$$t_{\text{обс}} = \alpha * t_{\text{оп}} = 0,02 * 4,23 = 0,085 \text{ мин};$$

3. Круглошлифовальная операция.

$$t_{\text{обс}} = \alpha * t_{\text{оп}} = 0,06 * 1,31 = 0,08 \text{ мин};$$

1.6.5 Расчет времени на отдых

$$t_{\text{отд}} = \beta * t_{\text{оп}} \quad (13)$$

1. Токарная операция с ЧПУ.

Установ А.

$$t_{\text{отд}} = \beta * t_{\text{оп}} = 0,04 * 2,19 = 0,087 \text{ мин};$$

Установ Б.

$$t_{\text{отд}} = \beta * t_{\text{оп}} = 0,04 * 2,2 = 0,088 \text{ мин};$$

2. Фрезерная операция.

$$t_{\text{отд}} = \beta * t_{\text{оп}} = 0,04 * 4,23 = 0,169 \text{ мин};$$

3. Круглошлифовальная операция.

$$t_{\text{отд}} = \beta * t_{\text{оп}} = 0,04 * 1,31 = 0,052 \text{ мин};$$

4.6.5 Определение подготовительно-заключительного времени.

5 Токарная операция с ЧПУ.

Установ А.

$$t_{пз} = 12 \text{ мин}$$

Установ Б.

$$t_{пз} = 12 \text{ мин}$$

6 Фрезерная операция.

$$t_{пз} = 9 \text{ мин}$$

7 Круглошлифовальная операция.

$$t_{пз} = 6 \text{ мин}$$

1.6.7 Расчет штучного времени

$$t_{шт} = t_{осн} + t_{в} + t_{обс} + t_{отд} \quad (14)$$

1. Токарная операция с ЧПУ.

Установ А.

$$t_{шт} = t_{осн} + t_{в} + t_{обс} + t_{отд} = 1,66 + 0,53 + 0,065 + 0,087 = 2,342 \text{ мин};$$

Установ Б.

$$t_{шт} = t_{осн} + t_{в} + t_{обс} + t_{отд} = 1,56 + 0,64 + 0,066 + 0,088 = 2,354 \text{ мин};$$

2. Фрезерная операция.

$$t_{шт} = t_{осн} + t_{в} + t_{обс} + t_{отд} = 3 + 1,23 + 0,085 + 0,169 = 4,484 \text{ мин};$$

3. круглошлифовальная операция.

$$t_{шт} = t_{осн} + t_{в} + t_{обс} + t_{отд} = 0,03 + 1,28 + 0,08 + 0,052 = 1,442 \text{ мин};$$

4.6.6 Расчет штучно-калькуляционного времени

$$t_{шт.к} = \sum t_{шт} + \frac{\sum t_{пз}}{N}, \quad (15)$$

где N – объем партии деталей.

$$t_{шт.к} = 10,625 + \frac{39}{3000} = 10,638 \text{ мин.}$$

5. Выводы

Научная новизна: разработаны теоретические положения для создания автоматизированной системы функционально-технологической оптимизации процессов изготовления деталей, позволяющие на стадии технологической подготовки производства разработать оптимальный операционный маршрут и рассчитать оптимальные режимы резания.

Практические ценности: разработаны методика, алгоритмы и программное обеспечение для использования результатов исследования данной работы в системе технологической подготовки производства деталей типа вал.

1. Выполнен аналитический обзор методов оптимизации проектирования технологического процесса
2. Разработана математическая модель оптимизации структуры ТП и режимов резания
3. Разработана методика проектирования технологического процесса по выполнению структурной и параметрической оптимизации.
4. Определено влияние параметров резания на качество обрабатываемой поверхности
5. Разработана база данных для ввода, хранения и считывания данных для использования при параметрической оптимизации.

Приложение Г

Раздел 1 Обзор литературы

Студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 8ЛМ51 | Тютчева Ксения Дмитриевна | | |

Консультант кафедры ТМСПР :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|------------------|---------------------------|---------|------|
| доцент | Боголюбова М. Н. | к.т.н. | | |

Консультант – лингвист кафедры ИЯФВТ :

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Шепетовский Д.В. | | | |

Literature review.

6. Introduction

Every person from time to time finds himself in a situation where his achievement can not be fully implement. In such cases, you have to look for the best way. However, in different situations, completely different solutions may be best. It all depends on the selected or given criterion. In practice, it turns out that in most cases the term "best" can be expressed by quantitative criteria - minimum costs, minimum time, maximum profit, etc.

Therefore, it is possible to set up mathematical problems of finding the optimal (optimum - best) result, since there are no principled differences in the search for the smallest or largest value. The tasks for finding the optimal solution are called optimization problems. The optimal result, as a rule, is not immediately, but as a result of a process called the optimization process. The methods used in the optimization process are called optimization methods. To solve a practical problem, it is necessary to translate it into a mathematical language, that is, to compile its mathematical model.

The mathematical model is a collection of knowledge about mathematical models with their own problems, with their own development paths, conditioned by internal and external causes and tasks.

Mathematics provides convenient ways of describing the most diverse phenomena of the real world and thereby fulfills the function of language in this sense. This role of mathematics was well understood by Galileo, who said: "Philosophy is written in a grandiose book - the universe, which is open to our gaze. But to understand this book can only one who has learned to understand its languages and signs with which it is spelled out. It is written in the language of mathematics. "

So, mathematics is a field of human knowledge, in which mathematical models are studied.

Often in a mathematical model, it is required to find the maximum or smallest value of some function on a certain set, that is, to solve the optimization problem. There are a lot of methods for solving optimization problems. Some of them were

considered in the search for extreme values of one and many real variables. In addition to exact methods, approximate methods are also used.

Knowledge of methods for finding the optimal solution allows the engineer to choose the most efficient and most economical ways of operating and repairing machines, to find optimal solutions in the production.

In work on optimization methods, two problems are proposed: the linear programming problem and the general optimization problem solved by the analytical method.

When solving a specific optimization problem, the researcher must first choose a mathematical method that would lead to final results with the least computational cost or would give the opportunity to obtain the largest amount of information about the desired solution. The choice of method is largely determined by the formulation of the optimal problem, and also used mathematical model of the object of optimization.

At the present time for solution of optimization tasks is used mainly the following methods:

- methods for studying the features of classical analysis;
- method of Lagrange multipliers;
- calculus of variations;
- dynamic programming;
- the maximum principle;
- linear programming;
- nonlinear programming.

Recently, it has been developed and successfully applied to solve a certain class of problems of geometric programming.

As a rule, you can not recommend any one method that can be used to solve all problems that arise in practice without exception. Some methods are more general in this respect, others are less general. Finally, a whole group of methods (methods for investigating the functions of classical analysis, the method of Lagrange multipliers, methods of nonlinear programming) can be used in combination with

other methods, for example, dynamic programming or the maximum principle, at certain stages of the solution of the optimal task.

We also note that some methods are specially developed or are best suited for solving optimal problems with mathematical models of a certain kind.

Thus, the mathematical apparatus of linear programming, specially created for solving problems with linear optimality criteria and linear constraints on variables, allows one to solve most of the problems formulated in such a formulation.

Similarly, geometric programming is intended for solving optimal problems in which the optimality criterion and constraints are represented by special functions.

Dynamic programming is well suited for solving the problems of optimization of multi-stage processes, especially those in which the state of each stage is characterized by a relatively small number of state variables. However, in the presence of a significant number of these variables, that is, with the high dimensionality of each stage, the application of the dynamic programming method is difficult because of the limited speed and memory capacity of computers.

Perhaps the best way to choose the optimization method that is most suitable for solving the corresponding problem is to recognize the study of the possibilities and experience of applying various optimization methods. Below is a brief review of mathematical methods for solving optimal problems and examples of their use. Here we give only a brief description of these methods and areas of their application, which to some extent can facilitate the choice of a method for solving a particular optimal problem.

STATEMENT OF OPTIMIZATION PROBLEMS

Throughout his evolution, a person, performing some or other deeds, sought to behave in such a way that the result achieved as a consequence of some act was the best. Moving from one point to another, he sought to find the shortest path. When building a dwelling, he searched for his geometry, which, with the smallest fuel consumption, provided reasonably comfortable conditions of existence. While engaged in the construction of ships, he tried to give them a form in which water would have the least resistance. It is easy to continue the list of similar examples.

The best solutions of problems in a certain sense are called optimal. Without the use of optimization principles, no more or less complex problem is being solved. When posing and solving optimization problems, two questions arise: what and how to optimize?

The answer to the first question is obtained as a result of an in-depth study of the problem to be solved. The parameter that determines the degree of perfection of the solution to the problem arises. This parameter is usually called the objective function or quality criterion. Next, a set of values that determine the objective function is established. Finally, all constraints that must be taken into account when solving the problem are formulated.

After this, a mathematical model is constructed, which consists in establishing the analytic dependence of the objective function on all arguments and on the analytic formulation of the constraints that accompany the problem. Then they begin to search for the answer to the second question.

So, let as a result of the formalization of the applied problem it is established that the objective function, where the set X - is a generalization of constraints, is called the set of admissible solutions. The essence of the optimization problem lies in the search on the set X - the set of admissible solutions of such a solution:

$$x^0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$$

At which the target function f reaches the smallest or largest value:

$$f(x^0) = \min(\max)_{x \in X} f(x)$$

Linear programming is an integral part of optimization methods.

THE PROBLEM OF LINEAR PROGRAMMING

For the first time the formulation of linear programming problems in the form of a proposal for an optimal transport plan was given in the work of the Soviet economist A.N. Tolstoy in the 1930s.

Systematic studies of linear programming problems and development of general methods for their solution have been further developed in the works of Russian

mathematicians L.V. Kantorovich, V.S. Nemchinov and other mathematicians and economists. A lot of works of foreign and, above all, American scientists are devoted to methods of linear programming. The task of linear programming is to maximize (minimize) a linear function:

$$\boxed{f(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n}$$

with restrictions:

$$(*) \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n} \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n} \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn} \leq b_m \end{cases}$$

Remark. Inequalities can have opposite meanings. By multiplying the corresponding inequalities by (-1) we can always obtain a system of the form (*). If the number of variables of the constraint system and the objective function in the mathematical model of the problem is 2, then it can be solved graphically. So, we need to maximize the function:

$$\boxed{f(x_1, x_2) = c_1x_1 + c_2x_2}$$

And satisfying the system of constraints.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n} \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n} \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn} \leq b_m \\ x_1 \geq 0, x_2 \geq 0 \end{cases}$$

We turn to one of the inequalities of the constraint system:

$$\boxed{a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 \leq b_i \quad (i = \overline{1, m})}$$

From a geometric point of view, all points that satisfy this inequality must either lie on a line or belong to one of the half-planes into which the plane of this line is divided. In order to find out, we need to check which of them contains the point (x1, x2). Remark 2. If b1 is not 0, then it is simpler to use the point (0,0).

Conditions of non-negativity also define half-planes, respectively, with boundary lines. We assume that the system of inequalities is compatible, then the half-planes, intersecting, form a common part, which is a convex set and represents a collection of points whose coordinates are the solution of the given system-this is the set of admissible solutions. The set of these points (solutions) is called the polygon of solutions. It can be a point, a ray, a polygon, or an unlimited polygonal region. Thus, the linear programming problem consists in finding points of the decision polygon in which the objective function takes a maximum (minimum) value.

This point exists when the decision polygon is not empty, and on it the object function is bounded from above (from below). In the presence of conditions in one of the vertices of the decision polygon, the objective function takes the maximum value. To define this vertex, we construct a straight line (where h - is some constant). Most often use a straight line. It remains to determine the direction of motion of this line. This direction is determined by the gradient (anti-gradient) of the objective function:

$$\text{grad } f = \frac{\partial f}{\partial x_1} \bar{i} + \frac{\partial f}{\partial x_2} \bar{j} = c_1 \bar{i} + c_2 \bar{j}$$

The vector at each point of the perpendicular line:

$$c_1 x_1 + c_2 x_2 = 0$$

Therefore, the value of f will increase when moving directly in the gradient direction (decrease in the anti-gradient direction). For this, a straight line is planned, moving in the direction of the gradient (anti-gradient).

These constructions will continue until the straight line passes through the last vertex of the decision polygon. This point determines the optimal value.

So, finding the solution of the linear programming problem by the geometric method includes the following steps:

1. Straight lines are constructed, the equations of which are obtained as a result of replacing the signs of inequalities in the restrictions on the signs of exact equalities;

2. Find the half-planes defined by each of the constraints of the problem;
3. Find a polygon of solutions;
4. Build vector: $\boxed{\text{grad } f = (c_1, c_2)}$
5. Build a straight line: $\boxed{c_1x_1 + c_2x_2 = 0}$
6. Build parallel lines in the direction of the gradient or anti-gradient, resulting in finding a point at which the function takes a maximum or minimum value, or set unboundedness from above (from below) functions on an admissible set:
7. Determine the coordinates of the maximum (minimum) point of the function and calculate the value of the objective function at this point.

NONLINEAR PROGRAMMING

In mathematics, nonlinear programming is the process of solving an optimization problem defined by a system of equalities and inequalities, collectively termed constraints, over a set of unknown real variables, along with an objective function to be maximized or minimized, where some of the constraints or the objective function are nonlinear. It is the sub-field of mathematical optimization that deals with problems that are not linear.

Applicability

A typical non-convex problem is that of optimizing transportation costs by selection from a set of transportation methods, one or more of which exhibit economies of scale, with various connectivities and capacity constraints. An example would be petroleum product transport given a selection or combination of pipeline, rail tanker, road tanker, river barge, or coastal tankship. Owing to economic batch size the cost functions may have discontinuities in addition to smooth changes.

In experimental science, some simple data analysis (such as fitting a spectrum with a sum of peaks of known location and shape but unknown magnitude) can be done with linear methods, but in general these problems, also, are nonlinear. Typically,

one has a theoretical model of the system under study with variable parameters in it and a model the experiment or experiments, which may also have unknown parameters. One tries to find a best fit numerically. In this case one often wants a measure of the precision of the result, as well as the best fit itself.

Possible types of constraint set

There are several possibilities for the nature of the constraint set, also known as the feasible set or feasible region.

An infeasible problem is one for which no set of values for the choice variables satisfies all the constraints. That is, the constraints are mutually contradictory, and no solution exists; the feasible set is the empty set.

A feasible problem is one for which there exists at least one set of values for the choice variables satisfying all the constraints.

An unbounded problem is a feasible problem for which the objective function can be made to be better than any given finite value. Thus, there is no optimal solution, because there is always a feasible solution that gives a better objective function value than does any given proposed solution.

Methods for solving the problem

If the objective function f is linear and the constrained space is a polytope, the problem is a linear programming problem, which may be solved using well-known linear programming techniques such as the simplex method.

If the objective function is concave (maximization problem), or convex (minimization problem) and the constraint set is convex, then the program is called convex and general methods from convex optimization can be used in most cases.

If the objective function is quadratic and the constraints are linear, quadratic programming techniques are used.

If the objective function is a ratio of a concave and a convex function (in the maximization case) and the constraints are convex, then the problem can be transformed to a convex optimization problem using fractional programming techniques.

Several methods are available for solving nonconvex problems. One approach is to use special formulations of linear programming problems. Another method involves the use of branch and bound techniques, where the program is divided into subclasses to be solved with convex (minimization problem) or linear approximations that form a lower bound on the overall cost within the subdivision. With subsequent divisions, at some point an actual solution will be obtained whose cost is equal to the best lower bound obtained for any of the approximate solutions. This solution is optimal, although possibly not unique. The algorithm may also be stopped early, with the assurance that the best possible solution is within a tolerance from the best point found; such points are called ε -optimal. Terminating to ε -optimal points is typically necessary to ensure finite termination. This is especially useful for large, difficult problems and problems with uncertain costs or values where the uncertainty can be estimated with an appropriate reliability estimation.

Under differentiability and constraint qualifications, the Karush–Kuhn–Tucker (KKT) conditions provide necessary conditions for a solution to be optimal. Under convexity, these conditions are also sufficient. If some of the functions are non-differentiable, subdifferential versions of Karush–Kuhn–Tucker (KKT) conditions are available.

Optimization of cutting processes.

General Provisions

Determination of the optimal operating conditions of the tool is an important technical and economic practice in the field of mechanical engineering. The significance of this task is especially increasing in connection with the extensive automation of machine-building production, the use of numerical control

machines, automatic machine lines and multi-operation machines, as well as the wide use of new materials, generally having low machinability cutting. Optimization of cutting processes covers issues of productivity, economy and accuracy of processing, surface layer quality and operational reliability and durability of machine parts [18,39]. Optimization of machining processes on metal cutting machines can be carried out only on the basis of studying the physical nature of phenomena accompanying the cutting process and the basic laws of tool wear as the main factor affecting the accuracy of processing.

CHARACTERISTICS OF THE DIMENSIONAL RESISTANCE OF THE TOOL

To analyze the issues related to the work of the tool in automated production, dimensional stability is important, by which is meant the ability of the tool to provide parts within a part of the tolerance field allocated to variable systematic size errors associated with wear of the cutting edges. The dimensional stability of cutting tools can be characterized by the time of their operation without adjustment or replacement, the number of machined parts, the length of the cutting path, the area of the machined surface and the linear relative wear. All the marked dimensional stability characteristics (T , N , l , Π , $h_{оп}$) are particular and in general not suitable for solving problems of optimal handling of automatic processes of metal cutting, comparative evaluation of cutting mode options, evaluation of tool material marks and other cutting conditions. For example, in terms of the period of durability, one can not judge the dimensional stability of the instruments being compared if the latter worked at different cutting speeds and feeds and were brought to different degrees of blunting. More comprehensive are the new characteristics of dimensional stability: rate of dimensional wear, relative surface wear and specific dimensional stability [39-41].

The rate of dimensional wear is understood as the speed of tool shortening in a direction perpendicular to the treated surface in the period of normal (steady-state) wear

$$v_h = \frac{dh_r}{dT} = \frac{h_r - h_n}{T - T_n} = \frac{vh_{оп}}{1000} = \frac{vsh_{оп}}{100} \text{ МКМ/МИН.} \quad (41)$$

The rate of dimensional wear is the reciprocal of the period of durability and, unlike it, does not depend on the accepted criterion of blunting.

The relative surface wear is the radial wear of the tool, referred to 1000 cm² of the treated surface:

$$h_{\text{оп}} = \frac{dh_r}{d\Pi} = \frac{(h_r - h_{\text{н}}) 100}{(l - l_{\text{н}}) s} \text{MKM}/10^3 \text{ cm}^2. \quad (42)$$

The relative surface wear is inversely proportional to the area of the treated surface and, unlike the latter, does not depend on the accepted blunting criterion.

Specific dimensional stability is called the surface area that the tool can process for 1 mkm of normal radial wear:

$$T_{\text{yp}} = \frac{d\Pi}{dh_r} = \frac{1}{h_{\text{оп}}} = \frac{(l - l_{\text{н}}) s}{(h_r - h_{\text{н}}) 100} 10^3 \text{ cm}^2/\text{MKM}. \quad (43)$$

Relative surface wear and specific dimensional stability are universal characteristics of dimensional stability, as they allow objectively to compare the cutting properties of various tool materials in any combination of feeds and cutting speeds and different blunting criteria.

The evaluation of various characteristics of dimensional stability is given in table 7th. For example, in terms of the area of the treated surface, one can not conclude on the advantages of one of the incisors, if they were brought to different degrees of blunting.

...

In formula (42), instead of the values of radial wear $h_{\text{н}}$ and h_r the value of the width of the chamfer of wear on the back surface at the tip of the cutter h_{3BH} and h_{3B} :

$$h_{\text{оп3}} = \frac{(h_{\text{3B}} - h_{\text{3BH}}) 100}{(l - l_{\text{н}}) s} \text{MKM}/10^3 \text{ cm}^2. \quad (44)$$

Such a replacement is entirely permissible, but in this case the characteristic is difficult to relate to the accuracy of processing since between h_r and $h_{\text{оп3}}$ there is often no strict proportionality due to plastic deformation (lowering) of the tip of the tool.

For the analysis of tool wear in the knowledge of the time of instantaneous dimensional wear, $h_{\text{м}}$, which is the thickness of the wear at each time. The value of

instantaneous dimensional wear is numerically equal to the ratio of the rate of dimensional wear to the cutting speed:

$$h_m = \frac{v_h}{v} = \frac{\frac{vh_{0\pi}}{1000}}{v} = \frac{h_{0\pi}}{1000} \text{ MKM.} \quad (45)$$

DEPENDENCE OF THE CHARACTERISTICS OF THE DIMENSIONAL STABILITY OF THE TOOL FROM THE SPEED AND TEMPERATURE OF CUTTING

To select the metal cutting mode, you need to determine the feed rate and cutting speed, taking into account tool life [11]. The choice of cutting depth is due to the allowance for machining or adjustment of the tool and does not represent particular difficulties. The effect of the cutting speed on the tool life period is usually

expressed by power-law formulas: $v = \frac{C}{T^m}$. (46)

Such formulas are valid only for a narrow range of cutting speeds. When the cutting speed varies over a wide range for various cutting processes, when machining parts from various materials with tools made of high-speed steels and hard alloys, the dependence of the cutting path length on speed [$l = vT = f(v)$] is extreme [7, 19, 39].

The position of the maximum points on the curves $l = f(v)$ depends on the physic-mechanical properties of the materials of the parts and tools, the section of the cut and other cutting conditions. With an increase in the cutting properties of tool materials, an increase in the optimum cutting speeds is observed, corresponding to the maximum of the passed cutting level or the minimum wear of the tool.

The optimum cutting speed for the processing of various materials ranges from 10-30 m / min when machining parts from hardened steels and high-temperature alloys with a hard alloy tool up to 300-350 m / min when machining carbon steel parts with a mineral ceramics tool. When the dependence of the dimensional stability of the tool on the cutting speed is extreme, the dependence of the period of stability on the cutting speed can also be monotonically decreasing (Figure 33).

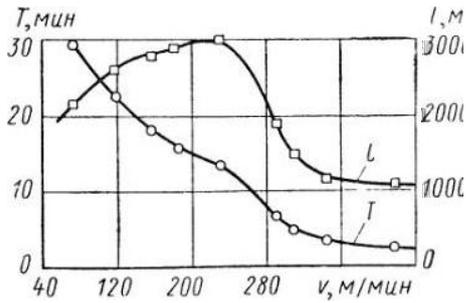


Fig. 33. Influence of the cutting speed on the durability period and the cutting path in the course of the cutting of the parts from 18X2H4BA steel. Cutter made of T15Kb alloy; $t = 1$ mm; $S = 0.21$ mm/rev;

To determine the optimal cutting speed, which corresponds to the maximum cutting path, the first derivative path L must be equated to zero in terms of the cutting speed:

$$l = vT;$$

$$(l)'_v = T + (T)'_v v = 0,$$

Whence:

$$v = v_0 = - \frac{T}{(T)'_v}. \quad (47)$$

Since V_0 and T are positive quantities, equation (47) can be observed only for a negative value of $(T)'_v$, which is possible only for the descending curve. Consequently, the optimal cutting speed corresponds to the right (falling) branch of the curve $T = f(v)$. Therefore, the inequality is fair:

$$v_m < v_0, \quad (48)$$

where V_m - is the cutting speed corresponding to the maximum of the durability period. Even in those cases when the period of resistance T_m observed at the cutting speed V_m is higher than the period of resistance T_0 observed at higher optimality of the cutting speed V_0 , work at a speed V_m , as compared to the speed V_0 , is irrational, since this would lead to a decrease productivity of processing, dimensional stability of the tool and deterioration of quality of the processed surface.

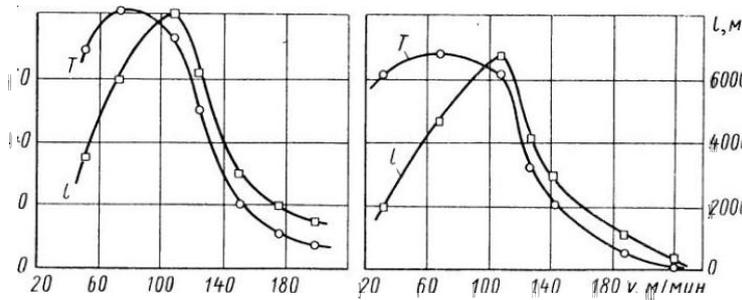


Fig. 34. Influence of the cutting speed on the period of tool life of the T 15K6 alloy and the cutting path when turning the parts from various materials: A - steel 37X12N8Γ8MFB; - - 1 mm; S 0.21 mm / rev; H 0.30 mm; B) steel 11X11H2B2MF; 2 mm; S = 0.43 mm / rev; H 0.30 mm.

Optimum cutting speeds can be determined on the basis of the usual stability tests on the curves $T = f(v)$, in studying the intensity of dimensional wear along the curves $h_{ol} = f(v)$ and $h_{op} = f(v)$, and also in studying the wear rate with the help of radioactive of isotopes [23]. The method of radioactive isotopes compared with the micrometric method of studying the intensity of dimensional wear does not allow to determine the absolute values of relative wear that you need to know when designing and adjusting equipment and calculating the accuracy of technological processes. According to the graph $T = f(v)$ in the double logarithmic grid of coordinates, the optimal cutting speed can be determined by making a tangent to the curve T-v, passing at an angle of 45° to the axes T and v [39].

The cutting speed corresponding to the point of contact will be optimal. The tangential line passing at an angle of 45° to the axes T and v can be called a line of constant dimensional stability, since the path of cutting $l = vT$ at each point of this curve is a constant value. The main factor explaining the extreme nature of the dependencies $l = f(v)$, and $h_{on} = f(v)$, is an increase in the temperature of the contact surfaces and a change in the nature of wear. The analysis of data on the effect of the cutting speed and preheating temperature of blanks on the physical parameters of the cutting process and the wear rate of the tool leads to this conclusion, in particular [7, 8, 19, 38].

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8ЛМ51 | Тютчева Ксения Дмитриевна |

| | | | |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|------------------|
| Институт | Кибернетики | Кафедра | ТМСПР |
| Уровень образования | Магистр | Направление/специальность | «Машиностроение» |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|---|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Расчет стоимости материалов Расчет заработной платы Отчисления на социальные нужды Накладные расходы</i> |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов и отчислений</i> | <i>Отчисления во внебюджетные фонды 30%</i> |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i> | <i>Анализ конкурентных технических решений</i> |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i> | <i>Цели и результаты проекта Организационная структура проекта Ограничения и допущения проекта</i> |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | <i>План проекта Бюджет проекта Риски проекта</i> |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i> | <i>Оценка сравнительной эффективности исследования</i> |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|--|
| 1. <i>«Портрет» потребителя результатов НТИ</i> |
| 2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i> |
| 3. <i>Матрица SWOT</i> |
| 4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i> |
| 5. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</i> |
| 6. <i>Потенциальные риски</i> |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 02.12.2016 |
|---|------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| доцент | Спицын Владислав Владимирович | к. э. н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 8ЛМ51 | Тютчева Ксения Дмитриевна | | |

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективы научных исследований зависят не от масштаба открытия, а от затратности разработки. В первую очередь нужно найти источники финансирования для проведения необходимых экспериментов и исследований, а все это несет затраты, поэтому разработчикам важно оценить ценность своей работы в самом начале разработки. После этой оценки ученый может найти спонсора для дальнейшего проведения научных исследований, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса. Коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и востребованностью продукта на рынке, его стоимости, потребительского спроса, сколько потребуется средств для реализации научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д. Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

7.1 Предпроектный анализ

На стадии предпроектного анализа будут определены основные показатели заинтересованности инвесторов и участников проекта. Данная часть не является обязательной, с точки зрения законодательства, однако позволяет выполнить предварительный анализ рисков. Для осуществления предпроектного анализа, воспользуемся упрощенной схемой, рассмотрев только потенциальных потребителей результатов исследования, проанализировав конкурентные технические решения с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также произведем оценку

готовности проекта к коммерциализации и выберем методы коммерциализации результатов.

Целью данной научно-исследовательской работы является исследование влияния различных параметров на эффективность технологического процесса с целью его оптимизации. Одной из актуальных проблем современного машиностроения является сокращение сроков создания новых изделий высокого качества. Проблема оптимизации осложняется тем, что на практике необходимо обеспечение, как правил, многих требований и ограничений и учет особенностей каждой технологической системы.

Оптимизация - это процесс нахождения наилучших (оптимальных) решений различных задач с использованием математических моделей. Задачей оптимизации является минимизация или максимизация каких-либо необходимых показателей в процессе организации производства и принятия решений, таких как общее затраченное время, фактическая продолжительность, стоимость и т.д.

Для того чтобы развитие промышленного производства любых изделий в условиях рыночной экономики имело успех, оно должно удовлетворять одновременно различным, часто противоречивым, требованиям: высокая динамичность производства, соответствие запросам рынка, низкая себестоимость.

Действующие производства также требуется постоянно модернизировать согласно тем же требованиям. В обоих случаях требуется анализировать и оптимизировать технологию изготовления продукции. Это следует делать по каким-то однажды разработанным методикам и рекомендациям.

Оптимизация технологических процессов является одним из наиболее эффективных способов снижения затрат предприятия, производящего какое-либо изделие. Суть данной услуги заключается в подборе и практической реализации наиболее подходящих способов и методов изготовления этого

изделия в рамках возможностей данного производства. Таким образом достигается не только экономия ресурсов, но и обеспечивается повышение эффективности и, в ряде случаев, качества конечной продукции.

Конкурентоспособность современного технологического оборудования, которая является одной из его главных характеристик, обеспечивается качеством изделий, сокращением сроков их проектирования и изготовления.

Конечными потребителями данного проекта являются машиностроительные предприятия, осуществляющие изготовление валов для редукторов.

7.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл.1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации [14].

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Конкурент 1 – технологический процесс с предприятия «ООО Промышленная механика».

Преимущество: данный ТП составлял инженер, с большим опытом работы; недостаток: данная технология производства устарела, т.к. в результате прогресса появились новые методы обработки изделий и произошло усовершенствование оборудования.

Конкурент 2 – технологический процесс, разработанный на 4 курсе, в бакалаврской работе.

Преимущество: в данном ТП используется новое оборудование, с более высокой производительностью; недостаток: данный ТП написан студентом на 4 курсе обучения, данная технология не проверялась на оборудовании, а только теоретически, то есть данный процесс обработки детали может оказаться нетехнологичным.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя

Таблица 7.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|------------|----------|----------|-----------------------|----------|----------|
| | | B_{ϕ} | B_{K1} | B_{K2} | K_{ϕ} | K_{K1} | K_{K2} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Повышение производительности труда пользователя | 0,05 | 4 | 5 | 3 | 0,2 | 0,25 | 0,15 |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,05 | 4 | 4 | 3 | 0,2 | 0,2 | 0,15 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,04 | 5 | 5 | 5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 4. Энергоэкономичность | 0,05 | 4 | 4 | 3 | 0,2 | 0,2 | 0,15 |
| 5. Надежность | 0,07 | 3 | 4 | 4 | 0,21 | 0,28 | 0,28 |
| 6. Уровень шума | 0,04 | 5 | 4 | 4 | 0,2 | 0,16 | 0,16 |
| 7. Безопасность | 0,04 | 4 | 4 | 4 | 0,16 | 0,16 | 0,16 |
| 8. Потребность в ресурсах памяти | 0,04 | 5 | 5 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,16 |
| 9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности) | 0,05 | 5 | 5 | 4 | 0,25 | 0,25 | 0,2 |
| 10. Простота эксплуатации | 0,05 | 5 | 4 | 3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 |
| 11. Качество интеллектуального интерфейса | 0,04 | 5 | 5 | 3 | 0,2 | 0,2 | 0,12 |
| 12. Возможность подключения в сеть | 0,07 | 5 | 5 | 3 | 0,35 | 0,35 | 0,21 |

| | | | | | | | |
|--|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| ЭВМ | | | | | | | |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Конкурентоспособность продукта | 0,06 | 4 | 5 | 4 | 0,24 | 0,3 | 0,24 |
| 2. Уровень проникновения на рынок | 0,05 | 4 | 5 | 4 | 0,2 | 0,25 | 0,2 |
| 3. Цена | 0,05 | 4 | 4 | 5 | 0,2 | 0,2 | 0,25 |
| 4. Предполагаемый срок эксплуатации | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 5. Послепродажное обслуживание | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 6. Финансирование научной разработки | 0,05 | 4 | 4 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 7. Срок выхода на рынок | 0,05 | 4 | 4 | 3 | 0,2 | 0,2 | 0,15 |
| 8. Наличие сертификации разработки | 0,05 | 3 | 5 | 4 | 0,15 | 0,25 | 0,2 |
| Итого | 1 | 87 | 91 | 74 | 4,31 | 4,55 | 3,83 |

Из таблицы 7.1 видно, что мой проект занимает второе место среди конкурентов, и уступает только разработке с предприятия, значит проект нужно развивать дальше, а именно улучшить: улучшить надежность, проникновение на рынок, повысить производительность труда и оформить сертификацию разработки. И тогда разработка будет конкурентоспособной и её можно будет коммерциализовать.

7.3 SWOT-анализ проекта

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта. Первый этап проведения SWOT-анализа представлен в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Матрица SWOT

| | |
|--|--|
| <p>Strengths (сильные стороны) С1. Высокая технологичность и производительность обработки деталей типа вал С2. Получение готовых деталей с минимальными затратами С3. Повышение точности и снижение шероховатости поверхности. С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями в массовом производстве.</p> | <p>Weaknesses (слабые стороны) Сл1. Для осуществления обработки деталей по новому ТП требуется смена оборудования Сл2. Необходимо повышение квалификации персонала Сл3. Отсутствие возможности проверки новой технологии на оборудовании (имеется в виду отсутствие оборудования на кафедре) Сл4. Ограниченная область применения нового ТП</p> |
| <p>Opportunities (возможности) В1. Заинтересованность исследователей, в данном методе оптимизации ТП</p> | <p>Threats (угрозы) У1. Появление новых более технологичных способов обработки деталей типа вал.</p> |

| | |
|--|---|
| В2.Возможность внедрения результатов проведенного исследования в производство. | У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства. |
|--|---|

После того как сформированы четыре области, переходим ко второму этапу, на котором необходимо выявить соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в рамках данного этапа строится интерактивная матрица, при этом каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблице 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3 и 7.2.4.

Таблица 7.2.1 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

| Сильные стороны проекта | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | | С1 | С2 | С3 | С4 |
| | В1 | + | - | + | + |
| | В2 | - | - | + | + |

Таблица 7.2.2 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

| Слабые стороны проекта | | | | | |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| | В1 | - | + | - | - |
| | В2 | + | - | + | + |

Таблица 7.2.3 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

| Сильные стороны проекта | | | | | |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Угрозы | | С1 | С2 | С3 | С4 |
| | У1 | + | + | - | + |
| | У2 | - | - | + | - |

Таблица 7.2.4 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

| Слабые стороны проекта | | | | | |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
| Угрозы | | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
| | У1 | + | + | + | - |
| | У2 | + | - | - | - |

На третьем этапе составляется итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 7.2.5.

Таблица 7.2.5 – Итоговая матрица SWOT

| | | |
|--|--|--|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокая технологичность и производительность обработки деталей типа вал С2. Получение готовых деталей с минимальными затратами С3. Повышение точности и снижение шероховатости поверхности. С4. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями в массовом производстве</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Для осуществления обработки деталей по новому ТП требуется смена оборудования Сл2. Необходимо повышение квалификации персонала Сл3. Отсутствие возможности проверки новой технологии на оборудовании Сл4. Ограниченная область применения нового ТП</p> |
| <p>Возможности: В1. Заинтересованность исследователей, в данном методе оптимизации ТП В2. Возможность внедрения результатов проведенного исследования в производство.</p> | <p>В1В2С3С4 В1С1С3С4 В2С3С4</p> | <p>В2Сл1Сл3Сл4</p> |
| <p>Угрозы: У1. Появление новых более технологичных способов обработки деталей типа вал. У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> | <p>У1С1С2С4</p> | <p>У1Сл1Сл2Сл3 У1У2Сл1</p> |

7.4 Цели и результат проекта

В данном разделе приведена информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в табл. 7.3

Таблица 7.3 – Заинтересованные стороны проекта

| | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| Заинтересованные | стороны | Ожидания | заинтересованных |
|-------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|

| | |
|-----------------------------|---|
| проекта | сторон |
| Магистрант | Магистерская диссертация |
| ООО «Промышленная механика» | Получение нового ТП с оптимальными режимами резания |

В табл. 7.3.1 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 7.3.1 – Цели и результаты проекта

| | |
|---|--|
| Цели проекта: | Оптимизировать технологический процесс обработки детали типа «вал» |
| Ожидаемые результаты проекта: | Получение оптимизированного техпроцесса, обеспечивающего максимальную производительность при минимальных затратах. |
| Требования к результату проекта: | Требование: |
| | Получение оптимальных режимов обработки детали «вал» |
| | Подбор необходимого оборудования |
| | Оформленная магистерская диссертация |

7.4.1 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Рабочая группа проекта

| № п/п | ФИО, основное место работы, должность | Роль в проекте | Функции | Трудо-затраты, час. |
|-------|---|---------------------|--|---------------------|
| 1. | Тютчева К. Д. НИ ТПУ (магистрант) | Исполнитель проекта | Выполнение отдельных работ по проекту, выполнение расчетов, проведение экспериментов | 2232 |
| 2. | Боголюбова М. | Руководитель | Координирует | 124 |

| | | | | |
|--------|------------------------|---------|------------------------------------|------|
| | Н. НИ ТПУ доцент | проекта | деятельность участников проекта | |
| ИТОГО: | | | | 2356 |

7.4.2. Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 7.5 – Ограничения проекта

| Фактор | Ограничения/ допущения |
|---|------------------------|
| 3.1. Бюджет проекта | 560000 |
| 3.1.1. Источник финансирования | НИ ТПУ |
| 3.2. Сроки проекта: | 22.01.2016-06.06.2017 |
| 3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом | 18.02.2017 |
| 3.2.2. Дата завершения проекта | 20.06.2017 |
| 3.3. Прочие ограничения и допущения* | - |

7.5. План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Календарный план проекта

| Код работы (из ИСР) | Название | Длительность, дни | Дата начала работ | Дата окончания работ | Состав участников (ФИО ответственных исполнителей) |
|---------------------|--|-------------------|-------------------|----------------------|--|
| 1 | Составления технологического задания | 2 | 22.01.2016 | 24.01.2016 | Боголюбова М. Н. |
| 2 | Выбор направления исследования | 2 | 22.01.2016 | 24.01.2016 | Боголюбова М. Н. |
| 3 | Изучение литературы | 42 | 26.01.2016 | 14.03.2016 | Тютчева К. Д. |
| 4 | Обзор математических моделей и методов | 48 | 16.03.2016 | 11.05.2016 | Тютчева К. Д. |

| | | | | | |
|-------|---|-----|------------|------------|------------------|
| | оптимизации ТП | | | | |
| 5 | Построение модели системы резания | 26 | 14.05.2016 | 13.06.2016 | Тютчева К. Д. |
| 6 | Математическое моделирование технологического процесса | 24 | 15.06.2016 | 13.07.2016 | Тютчева К. Д. |
| 7 | Подбор оборудования | 14 | 14.07.2016 | 29.07.2016 | Тютчева К. Д. |
| 8 | Проектирования специального приспособления | 60 | 31.08.2016 | 13.02.2017 | Тютчева К. Д. |
| 9 | Консультирование | 62 | 22.01.2016 | 06.06.2017 | Боголюбова М. Н. |
| 10 | Разработка технологического процесса с оптимальными параметрами | 71 | 15.02.2017 | 23.04.2017 | Тютчева К. Д. |
| 11 | Оформление магистерской диссертации | 37 | 25.04.2017 | 06.06.2017 | Тютчева К. Д. |
| 12 | Итоговая проверка работы | 3 | 03.06.2017 | 06.06.2017 | Боголюбова М. Н. |
| Итого | | 391 | 22.01.2016 | 06.06.2017 | |

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы, табл.7.7 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 7.7 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме Математическое моделирование и оптимизация технологического процесса обработки детали типа «Вал»

| Код работ ы | Вид работы | Исполнит ель | Т _к , кал, дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|--------------------|---------------------------|------------------------------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|---|
| | | | | янв . | фев. | март | апр. | май | июнь | июль | сен. | окт. | нояб. | дек. | янв. | фев. | март | апр. | май | июнь | |
| 1 | Составление тех-го задания | Боголюбо ва М. Н. | 2 | ▨ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Выбор направления исследования | Боголюбо ва М. Н.. | 2 | ▨ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Изучение литературы | Тютчева К. Д. | 42 | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Обзор математических моделей и методов оптимизации ТП | Тютчева К. Д. | 48 | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Построение модели системы резания | Тютчева К. Д. | 26 | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Математическое моделирование технологического процесса | Тютчева К. Д. | 24 | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Подбор оборудования | Тютчева К. Д. | 14 | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | |
| 8 | Проектирования спец. прisp. | Тютчева К. Д. | 60 | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 9 | Консультирование | Боголюбо ва М. Н. | 62 | ▨ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Разработка технологического процесса с оптимальными параметрами | Тютчева К. Д. | 71 | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 11 | Оформление магистерской диссертации | Тютчева К. Д. | 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 12 | Итоговая проверка работы | Боголюбо ва М. Н. | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | ▨ |



- руководитель



- инженер

7.6. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

7.6.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 7.8.

Таблица 7.8 - Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов | Цена за ед., руб. | Кол-во | Сумма, руб. |
|---|-------------------|---------|-------------|
| Фотобумага для принтера 170 гр 127*8*50,8 | 270 | 1 ролик | 270 |
| Бумага для принтера формата А4 | 190 | 1 уп. | 250 |
| Картридж для принтера | 1550 | 1 шт. | 1550 |
| Итого: | | | 2070 |

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны $C_{\text{мат}} = 2070 * 1,05 = 3105$ руб.

7.6.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя и инженера (магистранта) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}},$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. $F_{д} = 1790$ раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{м} = Z_{б} \cdot (k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р},$$

где $Z_{б}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, (определяется Положением об оплате труда);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: определяется Положением об оплате труда);

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в табл. 7.1.

Таблица 7.8 – Расчет основной заработной платы

| Исполнители | З _б , руб. | k _{пр} | k _д | k _р | З _м , руб | З _{дн} , руб. | T _р , раб. дн. | З _{осн} , руб. |
|--------------|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Руководитель | 23264 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 69559,36 | 404,14 | 62 | 25056,2 |
| Инженер | 19000 | 1,2 | 1,1 | 1,3 | 56810 | 330,1 | 372 | 122797,2 |

7.6.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 10.9 – Заработная плата исполнителей НТИ

| Заработная плата | Руководитель | Инженер |
|---------------------------------|---------------------|----------------|
| Основная зарплата | 25056,2 | 122797,2 |
| Дополнительная зарплата | 2505,61 | 12279,72 |
| Итого по статье $C_{\text{зп}}$ | 162639,03 | |

7.6.4 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 162639,03 = 48791,7 \text{ руб.}$$

7.6.5 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{Э}} \quad (3.7)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{\text{Э}}$ – тариф на 1 кВт·час; $t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_{\text{Э}} = 5,257 \text{ руб./кВт·час}$ (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 5.2 для инженера ($T_{\text{рд}}$) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (3.8)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{\text{рд}}$.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{ном.}} * K_c \quad (3.9)$$

где $P_{\text{ном.}}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_c \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_c = 1$.

Таблица 7.10 Затраты на электроэнергию

| Наименование оборудования | Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час | Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт | Затраты $Э_{\text{об}}$, руб. |
|---------------------------|---|---|--------------------------------|
| Персональный компьютер | 443,6*0,6 | 0,3 | 419,76 |
| Струйный принтер | 30 | 0,1 | 15,77 |
| Итого: | | | 435,53 |

7.6.6 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{AM} = \frac{N_A * Ц_{ОБ} * t_{рф} * n}{F_D}, \quad (3.10)$$

где N_A – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{ОБ}$ – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР.

F_D – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. Для ПК (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) принимаем $F_D = 298 * 8 = 2384$ часа;

$t_{рф}$ – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта;

n – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Примем для ПК срок амортизации – 2,5 года, тогда $N_A = 1:2,5=0,4$. Стоимость ПК 25000 руб., время использования 443,6 часа, тогда:

$$C_{AM}(ПК) = (0,4 * 25000 * 443,6 * 1) / 2384 = 1860,7 \text{ руб.}$$

Для принтера срок амортизации – 2 года, тогда $N_A = 1:2=0,5$. Стоимость принтера 8000 руб., $F_D = 500$ час, тогда

$$C_{AM}(Пр) = (0,5 * 8000 * 30 * 1) / 500 = 240 \text{ руб.}$$

Итого начислено амортизации:

$$C_{AM} = C_{AM}(ПК) + C_{AM}(Пр) = 1860,7 + 240 = 2100,7 \text{ руб.}$$

7.6.7 Расчет расходов, учитываемых непосредственно на основе платежных (расчетных) документов (кроме суточных)

Сюда относятся:

- командировочные расходы, в т.ч. расходы по оплате суточных, транспортные расходы, компенсация стоимости жилья;
- арендная плата за пользование имуществом;

- оплата услуг связи;
- услуги сторонних организаций.

Норма оплаты суточных – 100 руб./день.

В нашем в случае данный вид расходов отсутствует.

7.6.8 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

$C_{\text{проч.}} = (2070 + 162639,03 + 48791,7 + 435,53 + 2100,7) \cdot 0,1 = 21603,7$ руб.

7.6.9 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Разработка технологического процесса изготовления детали типа вал».

Таблица 7.11 Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Материалы и покупные изделия | $C_{\text{мат}}$ | 2070 |
| Основная заработная плата | $C_{\text{зп}}$ | 162639,03 |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$ | 48791,7 |
| Расходы на электроэнергию | $C_{\text{эл.}}$ | 435,53 |
| Амортизационные отчисления | $C_{\text{ам}}$ | 2100,7 |
| Прочие расходы | $C_{\text{проч}}$ | 21603,7 |
| Итого: | | 237640,66 |

Таким образом, затраты на разработку составили $C = 237640,66$ руб.

Финансирование обеспечивает ТПУ: выплачивает заработную плату научному руководителю и стипендию студенту, оборудование и материалы для исследования предоставляет кафедра ТМСР.

7.6.10 Расчет прибыли

Размер прибыли принимаем в размере 20% от полной себестоимости проекта. Прибыль составляет 47528,1 руб.

7.6.11 Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли.

$$(237640,66 + 47528,1) * 0,18 = 604028,8 * 0,18 = 51330,38 \text{ руб.}$$

7.6.12 Цена разработки ТД

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 237640,66 + 47528,1 + 51330,38 = 336499,1 \text{ руб.}$$

7.6.13 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности (табл. 10.12).

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Таблица 7.12 – Матрица ответственности

| Этапы проекта | Инженер (магистрант) | Руководитель проекта |
|--|-------------------------|-------------------------|
| 1. Составление технологического задания | И | О |
| 2. Выбор направления исследования | И | О |
| 3. Изучение литературы | И | У |
| 4. Обзор математических моделей и методов оптимизации ТП | И | У |
| 5. Построение модели системы резания | И | У |
| 6. Математическое моделирование | И | У |

| | | |
|---|---|---|
| технологического процесса | | |
| 7. Подбор оборудования | И | У |
| 8. Проектирование специального приспособления | И | У |
| 9. Консультирования | И | О |
| 10. Разработка технологического процесса с оптимальными параметрами | И | У |
| 11. Оформление магистерской диссертации | И | У |
| 12. Итоговая проверка работы | И | О |

7.6.14 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 7.13 – Реестр рисков

| № | Риск | Потенциальное воздействие | Вероятность наступления (1-5) | Влияние риска (1-5) | Уровень риска* | Способы смягчения риска | Условия наступления |
|---|---------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------|--|-----------------------------|
| 1 | Экономический | Снижение финансирования | 3 | 3 | Средний | Найти надежных спонсоров | Экономический кризис |
| 2 | Технический | Изменение технологии обработки | 2 | 2 | Низкий | Применение более универсального оборудования | Выход из строя оборудования |

7.6.15 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

1) Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где I_{ϕ}^p - интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

2) Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$$

где I_a – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;
 a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже. В ней рассмотрена текущая разработка и технологический процесс, разработанный на «ООО Промышленная механика».

Таблица 7.14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии \ ПО | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог |
|---|-------------------------------|----------------|--------|
| 1. Способствует росту производительности труда пользователя | 0,1 | 5 | 3 |
| 2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей) | 0,15 | 5 | 4 |
| 3. Помехоустойчивость | 0,15 | 5 | 3 |
| 4. Энергосбережение | 0,20 | 3 | 3 |
| 5. Надежность | 0,25 | 4 | 2 |
| 6. Материалоемкость | 0,15 | 4 | 4 |
| ИТОГО | 1 | 26 | 19 |

$$I_{\text{ТП}} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 4,2$$

$$I_{\text{Аналог}} = 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 3 + 0,25 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 = 3,05$$

3) Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финр}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_f^p}, \quad I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_f^a}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}$$

где $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ – сравнительная эффективность проекта;

Таблица 7.15 – Сравнительная эффективность разработки.

| № п/п | Показатели | Аналог | Разработка |
|-------|---|--------|------------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 1,02 | 0,83 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,02 | 4,2 |
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 2,96 | 5,06 |
| 4 | Сравнительная эффективность | 1,7 | |

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

При сравнении значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что более эффективным решением является разработка нового технологического процесса с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|---------------|---------------------------|
| Группа | ФИО |
| 8лм51 | Тютчева Ксения Дмитриевна |

| | | | |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------|
| Институт | Не разрушающего контроля | Кафедра | ТМСНР |
| Уровень образования | магистр | Направление/специальность | Машиностроение |

Тема дипломной работы: Математическое моделирование и оптимизация технологического процесса обработки детали типа «Вал»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Целью данной работы исследование влияния различных параметров резания на эффективность технологического процесса с целью его оптимизации.

| | |
|--|---|
| <p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) - негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) | <p>Рабочее место - офисное помещение, рабочий компьютер, рабочий стол, стул.</p> <p>Возможно возникновение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вредных проявлений факторов производственной среды: повышенная запыленность воздуха рабочей зоны, повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны, повышенная или пониженная влажность воздуха, отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная напряженность электрического поля; - опасных факторов (электрический ток). |
|--|---|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|---|
| <p><i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; - действие фактора на организм человека; - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) | <p>Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень электромагнитного излучения; - отсутствие или недостаток естественного света; - недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны; - повышенная яркость света; - повышенная контрастность, прямая и отраженная блеклость. |
| <p><i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); | <p>Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - электрический ток (источником является ПЭВМ) |

| | |
|--|---|
| <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</p> | |
| <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p> | <p>Воздействие объекта на атмосферу, литосферу и гидросферу не происходит</p> |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; <p>разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</p> | <p>В офисном помещении возможно ЧС техногенного характера – пожар.</p> |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; <p>организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</p> | <p>Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78.</p> |
| <p>Перечень графического материала: 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения</p> | |

| | |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 11.03.2017 |
|--|------------|

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|-------------------------|---------|------|
| профессор | Федорчук Ю. М. | Доктор технических наук | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------|---------|------|
| 8лм51 | Тютчева Ксения Дмитриевна | | |

8. Социальная ответственность

В данном разделе ВКР рассмотрены вопросы, связанные с техникой производственной безопасности и охраной окружающей среды.

Основной целью данного раздела является выявление опасных факторов промышленного производства, создание оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

8.1 Анализ опасных и вредных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием некоторых опасных и вредных факторов (ГОСТ 12.0.002-80 «ССБТ. Основные понятия. Термины и определения»), которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизиологические (ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация»).

На работающего за ЭВМ инженера-технолога могут негативно действовать опасные и вредные производственные факторы, которые приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Опасные и вредные факторы

| Наименование видов работ и параметров производственного процесса | Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ) | | Нормативные документы |
|--|---|---------|-----------------------|
| | Вредные | Опасные | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

| | | | |
|----------------------------------|--|--|--|
| Работа инженера-технолога на ЭВМ | <p>1.Физические: повышенные уровни электромагнитного, инфракрасного излучения, отсутствие или недостаток естественного света, повышенный уровень шума, недостаточная искусственная освещенность рабочей зоны, повышенная яркость света, повышенная контрастность, прямая и отраженная блеклость.</p> <p>2.Психофизические: напряжение зрения и внимания; интеллектуальные, эмоциональные и длительные статические нагрузки; монотонность труда; большой объем информации, обрабатываемый в единицу времени; нерациональная организация рабочего места.</p> | <p>1.Опасность поражения электрическим током.</p> <p>2. чрезмерная запыленность и загазованность воздуха, опасность поражения электрическим током.</p> | <p>1. ГОСТ 12.0.002-80 «ССБТ. Основные понятия. Термины и определения»</p> <p>2. ГОСТ 12.0.003-74 «ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация»</p> |
|----------------------------------|--|--|--|

При работе на ЭВМ к концу рабочего дня возникают типичные ощущения: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания.

8.2 Микроклимат

Параметры микроклимата могут меняться в широких пределах, в то время как необходимым условием жизнедеятельности человека является поддержание постоянства температуры тела благодаря терморегуляции, т.е. способности организма регулировать отдачу тепла в окружающую среду.

Принцип нормирования микроклимата – создание оптимальных условий для теплообмена тела человека с окружающей средой.

Вычислительная техника является источником существенных тепловыделений, что может привести к повышению температуры и снижению относительной влажности в помещении. В помещениях, где установлены компьютеры, должны соблюдаться определенные параметры микроклимата. В санитарных нормах СНиП 41-01-2003 установлены величины параметров микроклимата, создающие комфортные условия. Эти нормы устанавливаются в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения (см. табл. 8.2).

Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры, приведены в табл. 8.2.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ЭВМ является основной и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений.

Таблица 8.2- Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

| Период Года | Температура, °С | | | | Относительная влажность, % | | Скорость движения воздуха, м/с | | |
|----------------|-----------------|---------------------------------|----------|--------|-------------------------------|-------------|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Оптимальная | Допустимая на рабочих местах | | | | Оптимальная | Допустимая, не более | Оптимальная, не более | Допустимая, не более |
| | | | | Нижняя | | | | | |
| | | | Не пост. | Пост. | Не пост. | | | | |
| Холодный | 22- 24 | 25 | 26 | 21 | 18 | 40-60 | 75 | 0,1 | 0,1 |
| Теплый | 23- 25 | 28 | 30 | 22 | 20 | 40-60 | 70 | 0,1 | 0,1 |

Таблица 8.3 - Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| Характеристика помещения | Объемный расход |
| | подаваемого в помещение |

| | |
|--|-------------|
| Объем до 20 м ³ на человека | Не менее 30 |
| 20...40 м ³ на человека | Не менее 20 |

Для обеспечения комфортных условий используются как организационные методы (рациональная организация проведения работ в зависимости от времени года и суток, чередование труда и отдыха), так и технические средства (вентиляция, кондиционирование воздуха, отопительная система).

8.3 Освещение

Согласно СНиП 23-05-95 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 Лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 12$ м, ширина $B = 8$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1$ м.

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами без штор $\rho_c = 70\%$, чистого бетонного потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений со средним

выделением пыли равен $K_3 = 1,8$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Выбираем лампу ЛД-40, длина 1213,6 мм, диаметр колбы 38 мм, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 2300$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.}$$

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{12 * 8}{2 * (12 + 8)} = 2,4$$

Коэффициент использования светового потока $\eta = 0,56$.

Потребные группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$n = \frac{E * A * B * K_3 * Z}{\Phi_{лд} * \eta} = \frac{150 * 12 * 8 * 1,5 * 1,1}{2300 * 0,56} \approx 18$$

Общее число светильников: $n = 9$.

Размещаем светильники в 3 ряда по 3 светильника.

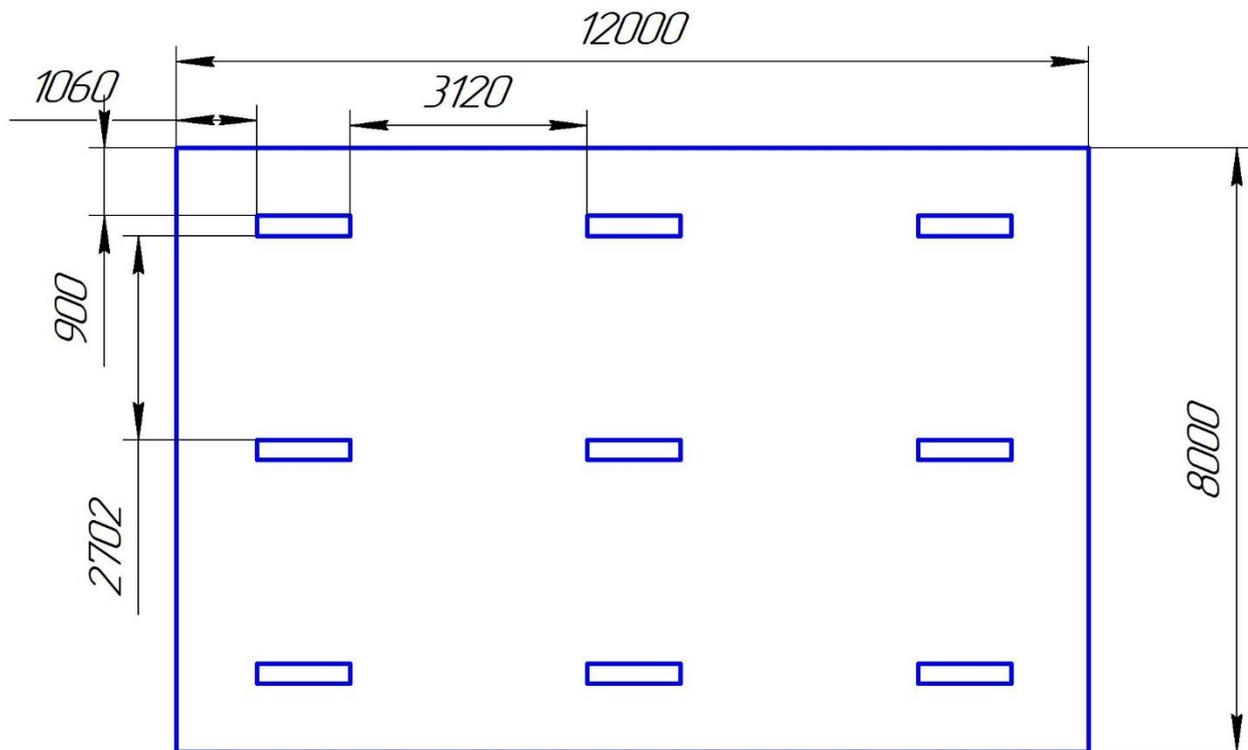


Рисунок 8.1. План размещения светильников в помещении

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$\frac{2}{3}L_1 + 2L_1 + 3 * 1227 = 12000\text{мм}$$

$$L_1 = 3120\text{мм}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$\frac{2}{3}L_2 + 2L_2 + 3 * 265 = 8000\text{мм}$$

$$L_2 = 2702\text{мм}$$

Расчет светового потока светильника определяется по формуле:

$$\Phi_p = \frac{E * A * B * K_3 * Z}{n * \eta} = \frac{150 * 12 * 8 * 1,5 * 1,1}{18 * 0,56} = 2357\text{лм}$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2300 - 2357}{2300} * 100 \approx -2,5\%$$

$-10\% \leq -2,5\% \leq 20\% \sim$ условие выполнено.

8.4 Электробезопасность

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Помещение относится к I классу электроопасности - помещения без повышенной опасности поражения людей электрическим током. К ним относятся сухие, беспыльные помещения с нормальными параметрами микроклимата (до 35⁰С, относительная влажность φ до 60%) с токоизолирующими полами, незагроможденным оборудованием.

Методы защиты поражения человека электрическим током:

- 1) Ограждение токоведущих частей оборудования.
- 2) Изоляция токоведущих частей. Различают рабочую и двойную изоляцию (рабочая + дополнительная).
- 3) Применение малых напряжений (до 45 В).
- 4) Применение распределительных трансформаторов в электрических сетях большой протяженности.
- 5) Использование средств индивидуальной защиты – диэлектрические коврики, изолирующие подставки, диэлектрические перчатки и боты.
- 6) Применение защитного заземления. Защитное заземление – это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентами металлических нетоковедущих частей оборудования, которые могут оказаться под напряжением вследствие нарушения изоляции фаз или по другим причинам.

Принцип действия защитного заземления:

Снижение до безопасных значений напряжений прикосновений и шага путем либо выравнивания потенциала основания, на котором стоит человек, и потенциала оборудования, корпуса которого касается человек, либо снижением потенциала оборудования.

Различают выносное и контурное защитное заземление. Выносное защитное заземление называют сосредоточенным, т.к. его заземлители сосредоточены на части площадки, на которой размещено оборудование, либо за ее пределами. Преимуществом такого вида заземлений является возможность выбора грунта с лучшими условиями стекания тока в землю (грунт с меньшим сопротивлением). Недостаток такого защитного заземления – увеличение сопротивления защитного заземления из-за увеличения длины заземляющих проводников.

8.5 Профилактика пожара

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожаропредупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности - ликвидация возможных источников воспламенения.

В кабинете источниками воспламенения могут быть:

- неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности;
- неисправные электроприборы. Необходимые меры для исключения пожара включают в себя своевременный ремонт электроприборов, качественное исправление поломок, не использование неисправных электроприборов;
- обогревание помещения электронагревательными приборами с открытыми нагревательными элементами. Открытые нагревательные поверхности могут привести к пожару, так как в помещении находятся бумажные документы и справочная литература в виде книг, пособий, а бумага – легковоспламеняющийся предмет. В целях профилактики пожара рекомендуется не использовать открытые обогревательные приборы в помещении;
- короткое замыкание в электропроводке. В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой.
- попадание в здание молнии. В летний период во время грозы возможно попадание молнии вследствие чего возможен пожар. Во избежание этого рекомендуется установить на крыше здания молниеотвод;
- несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещении также может привести к пожару. Для устранения возгорания в результате курения в помещении рекомендуется категорически запретить курение, а разрешить только в строго отведенном для этого месте.

В целях предотвращения пожара проводить с инженерами, работающими в помещении, противопожарный инструктаж, на котором

ознакомить работников с правилами противопожарной безопасности, а также обучить использованию первичных средств пожаротушения.

Согласно НПБ 105-03 помещение относится к категории В – наличие деревянных столов, стульев, окон.

В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.



Рисунок 8.2. План эвакуации.

8.6 Экологичность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма ее решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрана природы — комплекс государственных, международных и общественных мероприятий,

направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов. Окружающий человека воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов. Удаляемый из помещений вентиляционный воздух может стать причиной загрязнения воздуха промышленных площадок и населенных мест. Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека не выше ПДК. В тех случаях, когда реальные выбросы выше этого уровня, необходимо использовать аппараты для очистки газов от примесей.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов.

Бумагу необходимо прощредировать для исключения утечки информации, упаковать и отправить на переработку макулатуры. Картриджи разобрать: стальные винтики – сдать в цвет. мет; пластмассу – разобрать, упаковать в отдельные упаковки, отправить в соответствующие фирмы, занимающиеся переработкой пластмассовых отходов. Лампы – упаковать в герметичную тару, отправить в фирму по переработке использованных ламп.

Для утилизации отходов необходимо установить отдельные контейнеры для разных видов мусора: для бумаги, пластика и металлических частей. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

8.7 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или

окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Помещение находится в городе Томск с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди сотрудников. В случае заморозки труб в помещении предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей и компьютеров обеспечивает бензо-генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется. Так же имеются запасы воды питьевой и технической. И служебный транспорт, который обеспечивает развоз сотрудников до дома, во избежание обморожения на остановках общественного транспорта.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

Литература

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., «Наука», 1971, 283 с.
2. Аверченков В.И., Рыжов Э.В.; отв. ред. Гавриш А.П., Оптимизация технологических процессов механической обработки. АН УССР. Институт сверхтвердых сплавов. –Киев: Наукова думка, 1989 г, - 192 с.
3. Адаптивное управление станками. Под ред. Б. С. Балакшина. М. «Машиностроение», 1973, 687 с.
4. Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Изд- во Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.
5. Бровкова М.Б. Оперативная оптимизация процесса чистовой токарной обработки на основе учета динамического состояния оборудования: Автореф. дис.канд. техн наук: 05.03.01/ Саратов, гос. техн. ун-т, 1999. 16 с.
6. Волков С. А., Системы автоматизированного проектирования технологических процессов. Учебное пособие. Рыбинск, 2005, 122 с.
7. Волчкевич Л.И. Некоторые вопросы теории производительности в машиностроении: Автореф. дис.канд. техн наук/ МВТУ им. Баумана, 1963. 18 с.
8. Гаврикова Н. А., Тухватулина И. Г., Видяев И. Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 73 с.
9. Грановский Т.Н., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. вузов. М.: Высш. шк., 1985. - 304 е., ил.
10. Гильман А.М. и др. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках. М.: Машиностроение, 1972. 188 е., ил.
11. Гришин С. А., Применение алгоритмов самообучения к оптимизации процесса резания на примере токарной и сверлильной обработки :

диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.08, 05.03.01. - Тула, 2000.
- 238 с.

12. Дьяченко П. Е., Якобсон М. О. Качество поверхности при обработке металлов резанием. М., Машгиз, 1951, 208 с.

Зорев Н. Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М., Машгиз, 1956, 368 с.

13. Иванов А. А. Автоматизация технологических процессов и производств. - Горький, 1990. -28 с.

14. Игумнов Б.Н. Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий. М.: Машиностроение, 1974. - 200 е.: ил.

15. Капустин Н.М. Автоматизация машиностроения: Учеб. для втузов / Н.М. Капустин, Н.П. Дьяконова, П.М. Кузнецов. Под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высш. шк., 2002. – 223 с.

16. Ключев А. С. Оптимизация систем технологического контроля и автоматизации : Информ. подход / А. С. Ключев, А. Т. Лебедев. - М. : Энергоатомиздат, 1994. - 96 с

17. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. М.: Машиностроение, 1997. - 592 е.: ил.

18. Локтев И. И. Власов В. А. Тихомиров И. А., Вопросы моделирования технологического процесса, Известия Томского политехнического университета, Выпуск: № 6 | том 308 | 2005

19. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. - 278 е.: ил.

20. Макаров А. Д. О выборе оптимальных режимов обработки резанием в условиях автоматизированного производства. В кн.: Автоматизация процессов механической обработки и сборки. М., «Наука», 1967, с. 132—142

21. Макаров А. Д., Шустер Л. Ш. Выбор режимов резания при чистовом точении. — «Станки и инструмент», 1970, № 1, с. 34—35.

22. Маталин А. А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. М., «Машиностроение», 1970, 316 с.

23. Мудров А. Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль.- Томск: МП «Паско»,1991.-272 с.
24. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2-х т.: Т1/ А.Д. Локтев, И.Ф. Гущин, В.А. Батуев и др. -М.: Машиностроение, 1991. 640 е.: ил.
25. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003.
26. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 2005.
27. СанПиН 2.2.4.1191 – 03. Электромагнитные поля в производственных условиях. М.: Минздрав России, 2003.
28. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
29. СНиП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
30. СНиП 21 – 01– 97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Гострой России, 1997. – с. 12.
31. САПР технологических процессов, режущих инструментов и приспособлений. Под ред. С.Н.Корчакова, М.: Машиностроение, 1988.-350 с.
32. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов /В.И. Аверченков, И.А. Каштальян, А.П. Пархутик. – Мн.: Выш. шк., 1993. – 288 с.
33. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т./ под ред. Дальского А. М., Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К., Сулова А. Г. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т. 2. – 912 с.
34. Старков В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1984. - 120 с.
35. Чернышев Н.М. Оптимизация скорости резания при изменяющихся условиях фрезерования: Автореф. дис.канд. техн наук: 05.03.01/ Горьковск. политехи, ин-т, 1979. 24 с.

36. Цветков В. Д., Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов: - Минск; Наука и техника, 1979.-261 с.

37. Якобс Г. Ю. Оптимизация резания. Параметризация способов обработки резанием с использованием технологической оптимизации/ Г. Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.