

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств»

(код и наименование направления подготовки)

Технология автоматизированного машиностроения

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Определение технико-экономических показателей технологического  
процесса изготовления детали по ее конструктивным признакам

Студент

Г.Д. Лоизиди

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, доцент Д.А. Расторгуев

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	4
1 Подходы к нормированию и оценке себестоимости изделий .....	7
1.1 Основные понятия по себестоимости продукции .....	7
1.2 Классификация основных видов себестоимости.....	7
1.3 Оценка себестоимости продукции .....	9
1.4 Калькуляция себестоимости. Классификация расходов, включаемых в себестоимость продукции .....	11
1.5 Современные подходы для оценки стоимости .....	13
2 Использование нейронных сетей в проектировании технологий.....	17
2.1 Описание работы нейронных сетей .....	17
2.2 Обучение искусственных нейронных сетей.....	18
2.3 Понятие о слоях сетей .....	23
2.4 Применение нейронных сетей.....	23
3 Оценка себестоимости на ранней стадии проектирования .....	27
3.1 Оценка стоимости и ее оптимизация .....	27
3.2 Метод оценки общей стоимости .....	29
3.3 Оценка производства продукции на всех стадиях производства .....	31
3.4 Общая структура системы гибкого производства.....	39
4 Методика расчета технологического времени.....	44
4.1 Оценка стоимости и ее оптимизация .....	44
4.2 Расчет времени для тела вращения .....	49
4.3 Связь времени и стоимости обработки.....	52

4.3 Методика определения времени и себестоимости .....	67
4.4 Влияние геометрических параметров на технологическое время.....	71
4.5 Нормирование по справочным формулам.....	76
4.6 Проектирование нейронной сети для прогнозирования времени .....	91
Заключение .....	100
Список используемой литературы .....	102

## Введение

Актуальность темы исследования. Главная задача на производстве - оптимизировать затраты на предприятии. Менеджмент производства является одним из главных элементов для достижения производственных показателей при условии качественно спроектированных и реализованных строго по техническим требованиям технологий. Только при этих условиях при реализации продукции будут получены соответствующие доходы.

Объект исследования: технико-экономическое проектирование технологических процессов.

Предмет исследования: методика определения времени и себестоимости на стадии проектирования продукции до получения подробной информации по разрабатываемой технологии.

Цель исследования: разработать и апробировать методику для эффективного, точного и быстрого определения норм времени и себестоимости на основе данных только по конструкторским параметрам детали/изделия.

Гипотеза исследования состоит в том, что эффективное определение норм времени и себестоимости возможно на основе:

- систематизированных конструкторских данных по чертежу детали, к которым относят размеры, точность, шероховатость, материал;
- упрощенных формул, которые содержат конструктивные параметры деталей;
- использования методов искусственного интеллекта, к которым относят нейронные сети.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать класс детали для анализа;
2. Выбрать набор конструктивных параметров детали для определения времени;

3. Подобрать дополнительные факторы для анализа штучного времени и себестоимости;
4. Разработать методику упрощенного определения времени на основе конструктивных и технологических параметров;
5. Разработать методику определения времени на основе нейронных сетей.

Теоретическая значимость исследования заключается в:

- уточнение аналитических расчетов на предварительном этапе проектирования технологического процесса;
- создание базы данных для получения нейро-сетевой модели для нормирования.

Практическая значимость исследования Методика для нормирования технологического процесса по минимальному набору конструкторских данных для технологических и конструкторских работ малых и средних предприятий.

Анализ себестоимости продукции позволяет минимизировать затраты на предприятии еще на стадии проектирования продукции. С помощью анализа такого типа можно принимать решения на различных уровнях руководства, включая планирование стратегии развития, проведение мониторинга уровня экономической эффективности производства. При калькуляции себестоимости, технологом проводится прогноз по затратам, выявляются перспективы на производство данного типа продукции, возможности его модернизации, разнообразия возможной номенклатуры. Оценивают полученные затраты и сравнивают со средними показателями конкурентов. Это дает возможность при необходимости проводить работы по снижению себестоимости или повышению качества для повышения конкурентной способности на рынке.

Повышение качества обработки невозможно без расчета себестоимости механической обработки, с учетом термообработки, контроля. Для того, чтобы рассчитать себестоимость необходимо в первую очередь определить

основное время обработки. Для этого могут использоваться разные методики, которые могут быть основаны на аналитическом расчете по формулам, с использованием табличных данных. Может использоваться метод экспертного сравнения или опытного по сравнению с аналогичными процессами для данного производства. Последний метод является самым субъективным и неточным. Наиболее трудоемким является способ хронометража, где составляется фотография рабочего времени на все технологические приемы, которые измеряются при помощи секундомера. В результате выполнения повторных действий несколько раз, определяют среднее значение по каждому приему и их используют для нормирования времени технологической операции.

Расчет технологической себестоимости при проектировании технологий необходим для оптимального выбора технологического процесса и его элементов. Эффективные методики позволяют обоснованно назначать стоимость продукции.

# 1 Подходы к нормированию и оценке себестоимости изделий

## 1.1 Основные понятия по себестоимости продукции

Себестоимость продукции - это совокупность расходов на природные ресурсы, потребляемые предприятием в процессе производства и реализации готовой продукции, материалов, энергии, топлива, сырья, основных средств, а также текущие расходы, связанные с потреблением эти ресурсы на определенный период.

Себестоимость продукции выполняет следующие функции, приведенные в таблице 1 [13].

Таблица 1 – Функции себестоимости

Функция себестоимости	Описание
Учетная	Контроль потребления ресурсов в производственном процессе.
Расчетная	Формирование на предприятии цены на продукцию
Аналитическая	Использование при анализе и расчете прибыли

Расчет себестоимости продукции необходим предприятию для решения следующих ряда задач. Первое, для оценки выполнения плана по данному наименованию, показателям расходов материалов, энергии. Второе, выявление резервов по снижению себестоимости продукции [2, 9].

## 1.2 Классификация основных видов себестоимости

Классификация основных видов себестоимости приведена в таблице 2 [8, 22].

Таблица 2 – Виды себестоимости

Способ расчета и сфера применения	Вид себестоимости	Описание
По составу учитываемых расходов	Индивидуальная себестоимость	Совокупность, затраченная на изготовление определенных видов изделий
	Технологическая себестоимость	Совокупность затрат на технологический процесс изготовления изделия. Включает в себя на заработную плату рабочих, на обслуживание технологического оборудования, затраты на электричество и материалы, амортизацию технологического оборудования
	Производственная себестоимость	Совокупность цеховых и общехозяйственных расходов. Включает в себя амортизационные отчисления, содержание и модернизация зданий
	Цеховая себестоимость	Совокупность затрат на производство изделий в границах цеха, затраты на полуфабрикаты и обслуживание
	Полная себестоимость	Совокупность всех затрат на производство и реализацию продукции. К внепроизводственным затратам относят затраты на логистику, комиссии. Определение полной себестоимости необходимо для маркетинговых исследований, для определения ценообразования, определения финансовых результатов работы.
По характеру информации, отражающей расчетный период	Нормативная себестоимость	Совокупность затрат рассчитываются на определенный период по установленным на предприятии нормам расхода материалов. Из определения нормативной себестоимости рассчитывают фактическую и плановую себестоимости.
	Плановая себестоимость	Совокупность допустимых затрат предприятия. Предусматриваются планом на будущий период.
	Проектная себестоимость	Совокупность затрат на стадии проектирования изделий.
	Прогнозируемая себестоимость	Затраты для прогнозных разработок, для получения первой информации о цене продукции и для дальнейшей разработки ценовой стратегии предприятия.
	Фактическая себестоимость	Совокупность фактических затрат на единицу продукции и выявлений отклонений от плана. Применяется для анализа динамики себестоимости



При разработке плана по себестоимости продукции используются следующие виды данных [1]:

- плановые показатели объемов производства;
- нормативы расходов;
- показатели плана по труду;
- данные о размерах амортизационных отчислений;
- хронология анализа себестоимости продукции за несколько лет .

Планирование себестоимости продукции выполняется следующими методами (таблица 3).

Таблица 3 - Планирование себестоимости продукции

Метод планирования себестоимости	Описание
Пофакторный метод	Влияние технико-экономических факторов на затраты производства в будущем году по сравнению с предшествующим
Метод калькулирования	Постоянные затраты на единицу продукции
Нормативный метод	Расчет и учет затрат согласно действующим нормам
Сметный метод	Предполагает обоснование каждой статьи себестоимости с помощью специальной сметы затрат.

### 1.3 Оценка себестоимости продукции

Себестоимость продукции — затраты на производство продукта и его реализацию [5]. Исчисление этого показателя необходимо для анализа рентабельности отдельных видов продукции и производства, анализ оптовых цен на продукцию, осуществления внутривыгодного взаиморасчета, исчисления национального дохода в масштабах страны. Себестоимость продукции является одним из основных факторов формирования прибыли предприятия. Если она повысилась, то при остальных равных условиях размер прибыли за этот период обязательно уменьшится за счет этого фактора на такую же величину. Между размерами величины прибыли и

себестоимости существует обратная функциональная зависимость. Чем меньше себестоимость, тем больше прибыль, и наоборот.

Оценка стоимости и калькуляция имеют решающее значение для производства. Менеджеры формируют производственные планы и рассчитывают прибыль, учитывая затраты на изготовлении продукции. Инженеры оценивают стоимость продукции по разработанным технологиям изготовления и сборки. При этом им ставят задачи по оптимизации технологических и производственных процессов для обеспечения минимальных затрат. Как правило, одним из способов снижения себестоимости продукции является изменение геометрии изделия, материала и его свойств, технологии обработки [19].

Оценка себестоимости должна быть быстрой и точной. Эти критерии взаимно обратны. Если делать оценку быстрой, то основана она будет на минимуме информации, будет поверхностной и неточной. Для точной оценки необходимо подготовить большой объем информации по технологии, включая нормирование операций. А это невозможно без проектирования всего маршрута, выбора оснащения. Назначения режимов обработки, что оперативно с высоким качеством выполнить нельзя. Процессы обработки, станки, материалы, режущие инструменты и последовательность операций влияют на выходной параметр стоимости продукции. Поэтому расчет стоимость изготовления основан в первую очередь на базе технологического маршрута [30].

Выделяют два типа затрат: прямые и косвенные. Прямые затраты непосредственно связаны с производством конкретной продукции. Косвенные затраты распределены по нескольким видам продукции. Их нельзя прямо отнести к себестоимости определенного вида продукции [2].

Вывод: выходной параметр стоимости обработки зависит от входных параметров стоимости материала и стоимости технологии обработки.

#### 1.4 Калькуляция себестоимости. Классификация расходов, включаемых в себестоимость продукции

Калькуляция себестоимости, это метод расчета реальных затрат на производство единицы товара. Результатом калькуляции является расчет затрат предприятия. Рассмотрим основные виды калькуляции (таблица 4) [12].

Таблица 4 – Калькуляция

Вид калькуляции	Описание
Прогнозная калькуляция	Рассчитывается на базе прогнозных норм и предполагаемых расходов. Анализ прогнозных калькуляций служат для формирований плановых.
Плановая калькуляция	Составляется на базе технико-экономических нормативов по кварталам и представляет собой задание предприятию по лимитирующей величине затрат на производство определенных видов изделий. Учитывает реальные условия производства в конкретный период на базе нынешних плановых норм.
Фактическая калькуляция	Фактический показатель себестоимости себестоимости изготовленной продукции по расчетам расходов, предусмотренных планом. Фактическая калькуляция служит средством контроля за себестоимостью ресурса и позволяет оценить динамику прогнозных и действующих норм расхода ресурсов производства и их эффективное использование. Является важным показателем экономического анализа.
Фазовая калькуляция	Определение себестоимости готовой продукции.

При вычислении себестоимости продукции применяют различные способы расчетов (таблица 5), которые зависят от технологии создания продукции, наличия попутных и побочных продуктов, возможности локализации расходов по калькуляционным объектам [24].

Таблица 5 - Способ расчета себестоимости продукции

Способ расчета	Описание
1	2
Способ прямого	Совокупность расходов по расчетному объекту. Является делением

Продолжение таблицы 5

1	2
расчета	всей суммы накопленных расходов за определенное время на объем выработанной продукции
Нормативный способ	Способ предполагает применение нормативов расходов ресурсов. Нормы производственных расходов отражают технический и организационный уровень развития предприятия.
Способ исключения расходов	Способ используется, когда в следствии переработки один из видов продукции считается базовым, а остальные - вспомогательные.
Способ распределения	Способ применяют при расчете себестоимости продукции, когда в процессе переработки получают несколько ресурсов.
Способ суммирования	Способ суммирует расходы на производство отдельных частей изделия или на технологический процесс изготовления изделия.

Классификация расходов на производство и реализацию продукции является важным элементом их системного изучения. Эти расходы можно классифицировать по следующим признакам (таблица 6) [22].

Таблица 6 – Расходы на производство

Признаки расходов	Описание
1	2
По экономическим элементам	1) Расходы сырья 2) Оплата труда 3) Амортизация 4) Отчисления на социальные пособия 5) Прочие расходы
По статьям калькуляции	Определяют расходы с целью выявления себестоимости единицы продукции. Группировка расходов по статьям калькуляции: 1) Сырье материалов. 2) Покупные изделия, услуги. 3) Топливо-энергетические расходы. 4) Расходы на содержание технологического оборудования. 5) Оплата труда рабочим. 6) Коммерческие расходы.
По характеру зависимости от изменения объемов	1) Переменные - сумма расходов которые меняются с изменениями объемов производства. 2) Постоянные - расходы, сумма которых относительно стабильна.
По рациональности	Различают производственные и непроизводственные признаки: Производственные- расходы, которые обеспечивают.

## Продолжение таблицы 6

1	2
	производство продукции установленного качества при рациональной технологии. Непроизводственные расходы возникают при отклонение от технологического режима
По функциональной роли в процессе	1) Основные – расходы, связанные с технологическим процессом изготовления изделия. 2) Накладные – расходы, связанные с обслуживанием производства.

### 1.5 Современные подходы для оценки стоимости

Экспертные системы для оценки себестоимости изготовления требует входных данных. Часть входных данных, относящаяся к оборудованию, это тип и количество станков, мощность станка. Информация по инструменту следующая - необходимо знать тип, типоразмер инструмента, вид режущей части, число режущих пластин, маркировку инструмента. Входные данные по заготовке - тип материала, форма заготовки, ее размер. Что касается конструктивных параметров, то это тип поверхностей, число этих поверхностей, размерные особенности. Размер партии заготовок также является входным параметрам для экспертной системы.

В [42] представлен метод для оценки времени технологического процесса для индивидуализированного производства. Для такой ситуации, поскольку производственные процессы трудно автоматизировать из-за различных видов изделий, сбор данных об объекте производства также осуществляется вручную. Это приводит к некорректности этих данных из-за ошибок при их регистрации во время протекания и окончания процесса. Большинство существующих методов определения времени операций в аналогичных исследованиях не учитывают неполноту данных по изделиям и их трудно применить в реальных процессах. Чтобы справиться с этой некорректностью информации, используются новые методы. Например, использование только данных о времени окончания каждого действия и

данные об общем рабочем времени за каждый период. В предлагаемом способе оценка норм времени проводится путем минимизации общей трудоемкости и суммы расчетных времен по переходам. Использование метода скользящего окна используется как способ для выделения отдельных периодов. Этот принцип можно использовать для машиностроительных расчетов при проектировании технологических операций обработки изделий в механообрабатывающем производстве.

В предлагаемом методе оценка норм времени технологических операций является линейной функцией параметров изделия производства. Для расширения области применения предложенного метода необходимо учесть нелинейные зависимости основного времени обработки от параметров изделия. Кроме того, предлагаемый способ не учитывает подготовительные операции, которые входят в подготовительно-заключительное время при нормировании аналитическим способом. Эта составляющая возникает из-за различий между деталями, обрабатываемыми последовательно на одном оборудовании. Поскольку трудно выявить фактическую последовательность изделий из неполных данных об условиях мелкосерийного производства, необходимо оценивать общее время обработки за произвольный период.

В статье [44] представлена система оценки затрат на основе конструктивных элементов обрабатываемых деталей. Поскольку оценка технологической стоимости предоставляет проектировщикам и заказчикам продукции ценную информацию, она должна быть быстрой и точной. В этой статье производственные характеристики изделия подразделяются на четыре категории. Оценка стоимости по каждой характеристике основана на технологических переходах и их параметрах. Оценки стоимости, которые не учитывали производственную деятельность, не были точными. Стоимость обработки пропорциональна времени обработки, которое включает рабочее (машинное или основное) время и нерабочее время. Время машинное включает время черновой обработки и время финишной (чистовой) обработки. Время подвода – отвода инструмента и время простоя взяты по

аналогии из прошлого опыта. Для формализации они аппроксимированы в регрессионные зависимости.

В [38] рассматриваются вопросы расчета себестоимости изготовления изделий машиностроения. Затраты, связанные с производством, охватывают целый ряд различных факторов, которые можно в целом классифицировать по следующим категориям. Это затраты на технологическое и вспомогательное оборудование. Они включают в себя стоимость оборудования, необходимого для выполнения основных производственных процессов, а также оборудования, используемого для перемещения оборудования, оснащения, заготовок. Затраты на материал это следующая по объему доля расходов. Они включают стоимость сырья для производства деталей, а также стоимость инструментов и вспомогательных материалов, таких как охлаждающие жидкости и смазочные материалы. Расходы на выполнение работ – это затраты на работы, связанные с эксплуатацией оборудования. Энергия, необходимая для выполнения различных процессов. В некоторых обрабатывающих отраслях стоимость энергии может быть незначительной по сравнению с другими факторами, в то время как в других она значительно увеличивает финансовые расходы в производственном цикле, особенно это касается термических этапов обработки заготовок. Техническое обслуживание влечет расходы на работы, выполняемые для обслуживания оборудования, а также на запасные части. Накладные расходы - это часть стоимости, которая напрямую не связана с основной работой производства, но необходима для поддержания ее инфраструктуры. Инвестиции в производство для проведения модернизации.

### **Выводы по разделу:**

В первом разделе выполнен обзор основных понятий, связанных с проектированием технологического процесса в плане расчета стоимости на основе определения норм времени. Рассмотрены различные виды затрат,

возникающих в ходе технологического процесса обработки деталей. Сделан обзор основных методов расчета данных затрат. Этот обзор показывает, что расчет себестоимости является сложной задачей, основанный на использовании большого количества технико - экономических показателей. Выполнен литературный обзор методов расчета затрат, а также норм времени по упрощенным методикам с использованием аналитических формул, а также новых методов, включая использование искусственных нейронных. Последний подход позволяет упростить задачу проектирования. Для получения приемлемого по точности результата необходимо ввести на вход таких сетей несколько показателей и получить результат. С учетом этого, в работе предлагается скомбинировать два метода упрощенного определение норм – времени и стоимости, которая выводится из времени с учетом тарифных ставок на заработную плату.



## 2 Использование нейронных сетей в проектировании технологий

### 2.1 Описание работы нейронных сетей

Для моделирования различных процессов широко в настоящее время применяются искусственные нейронные сети. Они позволяют моделировать процессы нелинейные, с неполной и неопределенной информацией достаточно точно [2].

Искусственные нейронные сети (ИНС) - это вычислительные модели, работающие аналогично человеческому разуму. Они состоят из большого числа связанных узлов, каждый из которых выполняет простую математическую операцию. Выход каждого узла определяется этой операцией, а также набором параметров, характерных для этого узла. Соединяя эти узлы вместе, и тщательно настраивая их параметры, можно их научить рассчитывать очень сложные функции. На рисунке 1 показана простая искусственная нейронная сеть. Первый столбец окружностей представляет входные данные ИНС, средний столбец представляет вычислительные единицы, на которые воздействует этот вход, а третий столбец представляет выходные данные ИНС. Линии, соединяющие окружности, указывают на связи между этими данными.

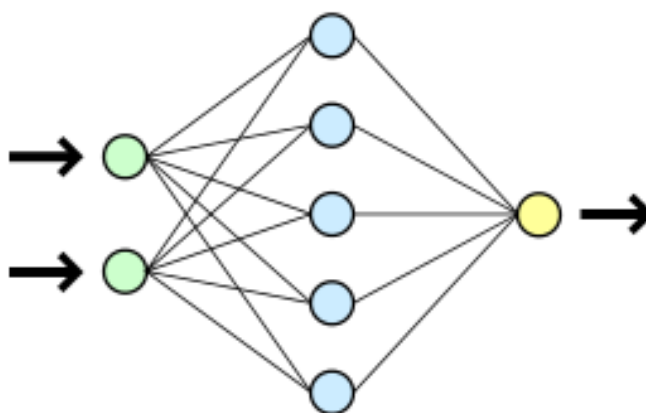


Рисунок 1 - Простая искусственная нейронная сеть

Искусственные нейронные сети ответственны за многие из последних достижений в области искусственного интеллекта, включая распознавание голоса, распознавание изображений и робототехнику. Например, ИНС могут выполнять распознавание изображения по нарисованным от руки цифрам.

## **2.2 Обучение искусственных нейронных сетей**

ИНС это интеллектуальная система, которая может научиться выполнять прогнозирование и принимать решения. Особый интерес представляют алгоритмы для онлайн-обучения. Оно представляет собой метод обучения, который можно применять к данным, поступающим последовательно на вход и выход сети. В процессе обучения ИНС подстраивает свои параметры так, чтобы ошибка между выходными обучающими и смоделированными сетью данными была минимальная.

Онлайн-обучение особенно полезно в тех случаях, когда данные обучения поступают последовательно в реальном режиме времени. Это может быть текущая диагностика оборудования, процесса или инструмента. С системой, способной к обучению в режиме онлайн, не нужно ждать, пока система получит огромный объем данных, прежде чем она сможет сделать рабочий прогноз или принять обоснованное решение. ИНС являются одной из попыток создания математической модели с минимальным уровнем сложности по вычислениям и использованию и при этом они являются одними из самых мощных методов машинного обучения.

Отдельные нейроны ИНС не способны выполнять очень сложные вычисления. Считается, что огромное количество нейронов и связей обеспечивают вычислительную мощность у человеческого мозга. В отличие от тысяч различных типов биологических нейронов, ИНС обычно пытаются использовать только один тип, или ограниченное количество разных нейронов, чтобы упростить расчет и анализ модели.

Нейроны функционируют, срабатывая, когда они получают достаточно высокий уровень входного сигнала от других нейронов, к которым они подключены. Как правило, функция выхода моделируется как функция активации. Когда уровень входа ниже определенного порога срабатывание нейрона не происходит.

С точки зрения конкретного нейрона, его соединения обычно можно разделить на два класса: входящие и исходящие. Входящие соединения формируют вход в нейрон, в то время как выход нейрона протекает через исходящие соединения. Таким образом, нейроны, входящие соединения которых являются исходящими соединениями других нейронов, рассматривают выходы других нейронов как входы. Повторное преобразование выходов некоторых нейронов во входы других нейронов приводит к увеличению сложности выполняемых функций, так как комбинированный состав функций активации может моделировать очень сложные функции.

Входящие соединения для определенного нейрона не считаются равными. В частности, некоторые входящие соединения оказываются сильнее, чем другие, и обеспечивают больший вклад во вход для нейрона. Поскольку нейрон срабатывает, когда он получает входной сигнал выше определенного порога, эти более весомые входящие соединения вносят больший вклад в возбуждение нейронов. В процессе обучения ИНС настраивает как весовые коэффициенты, так и параметры функций активации нейронов. ИНС на самом деле учится формировать некоторые связи сильнее, чем другие.

Обычно функция активация в ИНС – сигмоидальное преобразование. Таким образом, ИНС необходимо будет соединить выходы сигмоидальных единиц с входами других сигмоидальных единиц.

Рисунок 2 показывает нейрон - сигмоидальную единицу с тремя входами  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)$ , один выход  $y$ , смещения  $b$  и весовой вектор

$\vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)$  соответствующих входов. Каждый из входов  $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)$  может быть выходом другой сигмоидальной единицы, а вывод  $y$  может быть вход в другие нейроны [7]. Суммирование произведения отдельных пар  $w_i, x_i$  эквивалентно скалярному произведению.

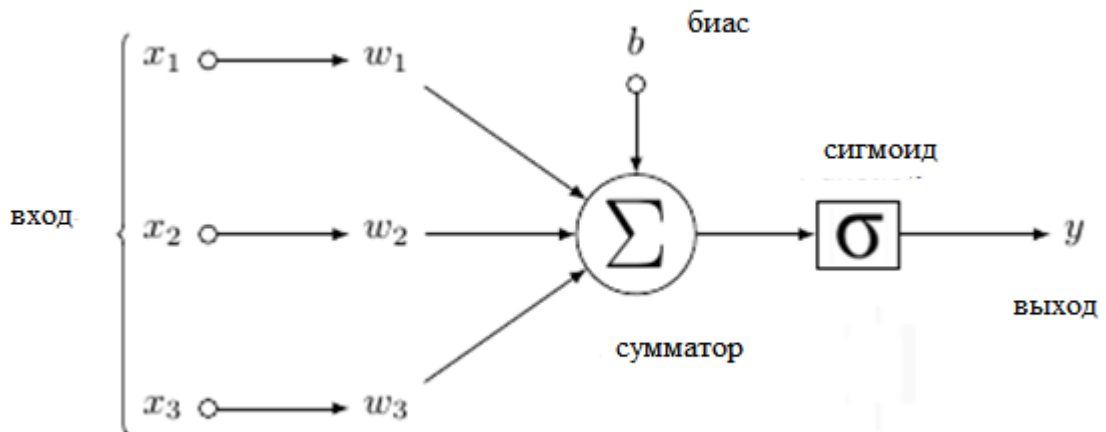


Рисунок 2 - Сигмоидальная единица с тремя входами

В случае нейронов с сигмоидальным преобразованием  $s$  входные данные  $v^i s$  - это выход сигмоидальной единицы  $u$ . Таким образом, если приведенная выше диаграмма представляет сигмоидальную единицу  $s$ , а входы  $x_1, x_2, x_3$  являются выходами сигмоидальных единиц  $a, b, c$ , соответственно, то представление графика вышеупомянутой сигмоидальной единицы будет иметь узлы  $(a, b, c, s)$  с направленными ребрами  $(a, s), (b, s), (c, s)$ . Кроме того, поскольку каждое входящее направленное ребро связано с компонентом весового вектора для сигмоидальной единицы  $s$ , каждое входящее ребро будет помечено соответствующим весовым компонентом. Таким образом, ребро  $(a, s)$  будет иметь метку  $\omega_1$ ,  $(b, s)$  будет иметь метку  $\omega_2$  и  $(c, s)$  будет иметь метку  $\omega_3$ . Соответствующий график показан ниже, причем ребра подаются в узлы  $(a, b, c)$ , представляющие входные данные для этих узлов.

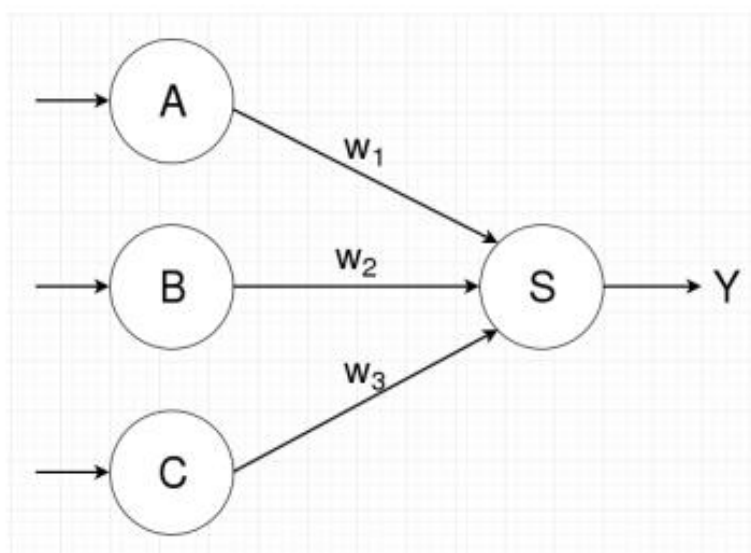


Рисунок 3 - Диаграмма, представляющая ИНС с сигмоидальными единицами

Выходы сигмоидальных единиц являются входами других сигмоидальных единиц, обозначенных направленными ребрами, поэтому вычисления следуют за ребрами в графическом представлении ИНС. Таким образом, в приведенном выше примере вычислению вывода  $s$  предшествует вычисление выходов  $(a, b, c)$ . Если приведенный выше график был изменен так, чтобы вывод  $s$  был вводом  $a$ , то был бы добавлен направленный край, проходящий от  $s$  к  $a$ , создавая так называемый цикл. Это будет означать, что вывод  $s$  зависит от самого себя. Графы циклических вычислений значительно усложняют вычисления и обучение, поэтому графы вычислений обычно ограничиваются направленными ациклическими графами, которые не имеют циклов. ИНС с графиками вычисления известны как нейронные сети с прямой связью, в то время как ИНС с циклами известны как рекуррентные нейронные сети [18].

В конечном итоге, ИНС используются для вычисления и изучения функций. Это состоит в том, чтобы дать ИНС серию пар ввода-вывода  $(\vec{x}_i; \vec{y}_i)$ . И обучаем модель аппроксимировать функцию  $f$  так, чтобы  $f(\vec{x}_i) = \vec{y}_i$ . Таким образом, если  $\vec{x}$  является  $n$ -мерным и  $\vec{y}$  является  $m$ -мерным, окончательный сигмоидальный график ИНС будет состоять из  $n$

входных узлов, представляющих  $\vec{x} = (x_1, \dots, x_n)$ , сигмоидальные единицы  $k$  и выходные узлы  $m$ , представляющие  $\vec{y} = (y_1, \dots, y_m)$ . Как и сигмоидальные единицы, выходные узлы имеют несколько входящих соединений и выводят одно значение. Иногда выходные узлы используют ту же интеграцию и активацию, что и сигмоидальные единицы, тогда как в других случаях они могут использовать более сложные функции, такие как функция softmax, которая активно используется в задачах классификации. Часто выбор функций интеграции и активации зависит от формы вывода. Например, поскольку сигмоидальные единицы могут выводить значения только в диапазоне  $(0,1)$ , они плохо подходят для задач, в которых ожидаемое значение  $y$  лежит за пределами этого диапазона.

Пример графика для ИНС, вычисляющего двумерный выходной сигнал  $\vec{y}$  на трехмерном входе  $\vec{x}$  с использованием пяти сигмоидальных единиц  $s_1 \dots s_5$  как показано ниже. Ребро, обозначенное весом  $w_{ab}$ , представляет компонент вектора веса для узла  $b$ , который соответствует входному значению, исходящему из узла  $a$ . Обратите внимание, что этот график, поскольку он не имеет циклов, является нейронной сетью с прямой связью.

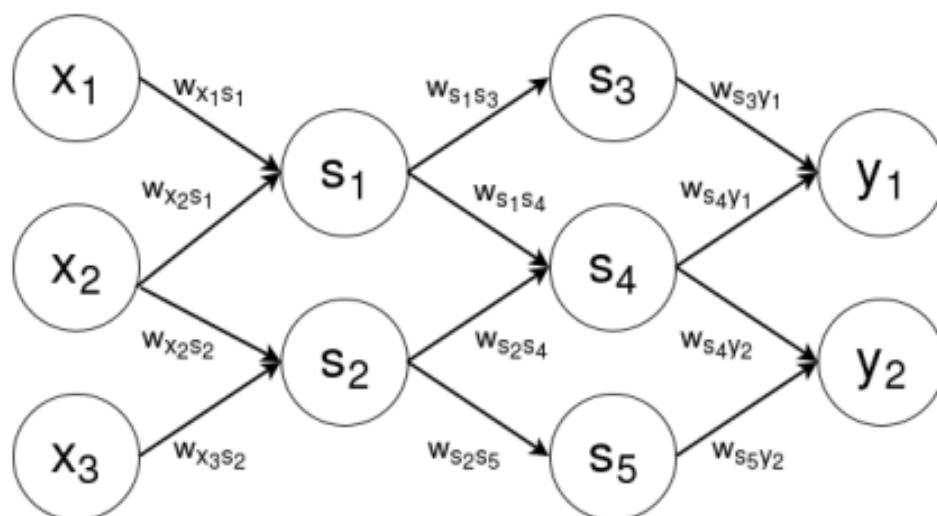


Рисунок 4 - ИНС трехмерного входа, двухмерного выхода и пяти сигмоидальных единиц

## 2.3 Понятие о слоях сетей

Таким образом, вышеуказанный ИНС будет начинаться с вычисления выходных данных узлов  $s_1, s_2$  заданных  $x_1, x_2, x_3$ . Как только это будет завершено, ИНС затем вычислит выходные данные узлов  $(s_3, s_4, s_5)$  в зависимости от выходных данных  $s_1$  и  $s_2$ . Как только это будет завершено, ИНС выполнит окончательный расчет узлов  $y_1$  и  $y_2$  в зависимости от выходных данных узлов  $s_3, s_4, s_5$ . Из этого вычислительного потока очевидно, что определенные наборы узлов имеют тенденцию вычисляться одновременно, поскольку другой набор узлов использует свои выходные данные в качестве входных данных. Например, набор  $(s_3, s_4, s_5)$  зависит от набора  $(s_1, s_2)$ . Эти наборы узлов, которые вычисляются вместе, называются уровнями, а ИНС обычно рассматриваются как последовательность таких уровней, причем каждый уровень  $l_i$  зависит от предыдущего уровня  $l_{i-1}$ . Таким образом, приведенный выше график состоит из четырех слоев. Первый уровень  $l_0$  называется входным слоем, в то время как последний уровень  $l_3$  называется выходным слоем. Промежуточные слои известны как скрытые слои, которые в данном случае являются слоями  $l_1 = (s_1, s_2)$  и  $l_2 = (s_3, s_4, s_5)$  обычно нумеруются так, что скрытый слой  $h_1$  соответствует слою  $l_1$ . Таким образом, скрытый слой  $h_1 = (s_1, s_2)$  и скрытый слой  $h_2 = (s_3, s_4, s_5)$ . Диаграмма ниже показывает пример ИНС с каждым узлом, сгруппированным в соответствующий уровень [7].

## 2.4 Применение нейронных сетей

На ранних стадиях процесса исследования продукта оценка себестоимости продукции является основной информацией, которая будет необходима для определения показателя производства продукта. Чем надежнее процесс оценки затрат, тем более вероятно, что будет принято

правильное решение. Это стало важным для исследования жизненного цикла продукта.

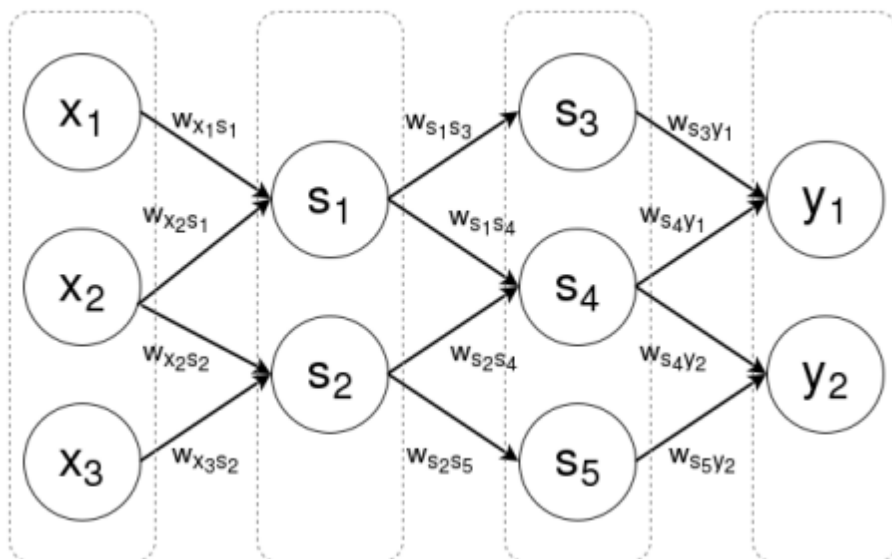


Рисунок 5 - ИНС сгруппированные в слои

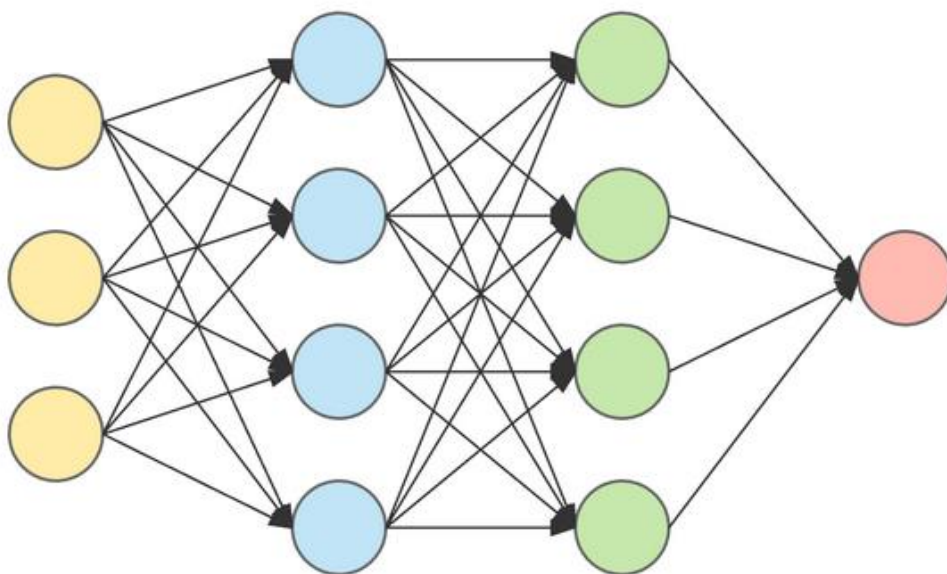


Рисунок 6 - ИНС слои

Искусственные нейронные сети применялись для оценки технологической себестоимости в ранних исследованиях, например в [45]. Оценка изделия проводится по характеристикам детали при помощи сети



обратного распространения сигнала. Вся исходная информация для оценки извлекается из конструкторской документации. Аналитический способ оценки себестоимости предложили в [31] для условий производственной неопределенности. Для этого при моделировании используются не параметрические методики. Для оценки могут использоваться нечеткая логика и вероятностное распределение параметров для того, чтобы повысить надежность выводов. Оценку технологической себестоимости [41] проводили на основе характеристик конструкции детали, для того, чтобы обеспечить проектировщиков предварительными оценками по стоимости, времени обработки и качеству изготовления изделий. Эта методика интегрирует конструкторские и производственные оценки при учете имеющегося оборудования, которое может быть использована в технологии изготовления деталей.

#### **Выводы по разделу:**

Во втором разделе выполнен обзор видов и способов использования искусственных нейронных сетей. Рассмотрены особенности архитектуры нейронных сетей, которые заключаются в выборе количества слоев, числа нейронов в каждом слое. Для преобразования сигнала проходящего через нейроны выбираются функции активации в каждом из них. Обычно используются логистическая или линейная функции. Для получения работающей сети необходимо ее обучить. Для этого необходимо сформировать обучающую выборку данных. В нашем случае для такой сети это должны быть конструктивные параметры, рассмотренные в следующих разделах, некоторые особенности детали и технологии, связанные с установкой заготовки и оказывающие влияние на режимы обработки, что в конечном счете сказывается на нормах времени. Выходом сети должно быть штучное время обработки детали. Такую сеть можно сформировать как для отдельной операции, так и для всего технологического процесса.

Рассмотрены различные типы сетей: прямого распространения сигнала, обратного распространения сигнала. Данные сети решают одну задачу - аппроксимации. В случае определения норм времени должна решаться регрессионная задача, то есть по входным параметрам необходимо спрогнозировать значение времени обработки. Для упрощения подхода в данной работе рассмотрена одна токарная обработка для детали, представителя одного класса – ступенчатый вал.

Данный подход с использованием, в общем, различных параметров (не только конструктивных) можно обобщить на другие классы деталей или другие методы обработки. Это позволит получить в комплексе систему оценки времени и стоимости для всей технологии изготовления в любом производстве.

### 3 Оценка себестоимости на ранней стадии проектирования

#### 3.1 Оценка стоимости и ее оптимизация

При оценке стоимости не отдельной детали, а изделия в целом, сложность формирования такой оценки возрастает. Рассмотрим этапы формирования оценки стоимости по схеме на рисунке и блок управления производственными параметрами (рисунок 7) [36].

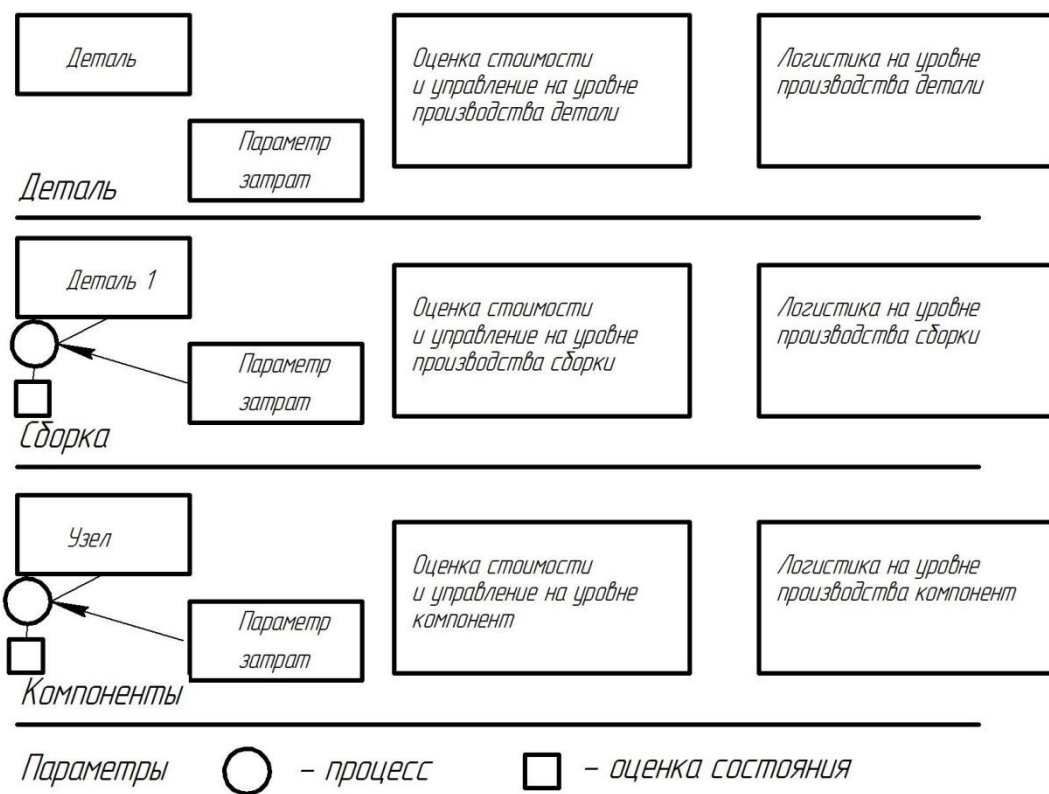


Рисунок 7 - Стоимость структуры индекса

На этапе формирования сметы затрат система оценивает различные статьи затрат, связанные с технологическими процессами, которые зависят от уровня проектирования (начиная от уровня изготовления отдельной детали до формирования конечного изделия). Входными данными для системы на этом этапе являются виды и параметры производственных процессов, запланированных к реализации (рисунок 7), производственные ресурсы, а

также их стоимость, параметры операций, цены от всех возможных поставщиков, партнеров и субподрядчиков, которые предоставляются системой управления логистикой, на стандартные, закупные компоненты (детали, инструмент, сырье и тому подобное). С этими входными данными система оценки стоимости и оптимального управления затратами будет их оценивать, используя два метода. Первый – это метод оценки общих затрат. Второй - метод оценки затрат с учетом особенностей конкретных процессов.

Оценка стоимости представляет собой процесс, который определяет коэффициент затрат по конструктивным признакам изделия и по параметрам производственного процесса, который сформирован по типовой детали или на основе прототипа. Не достаточно оценить различные затраты на изготовление изделия однократно после того, как оно было полностью спроектировано и запланировано для производства. Может существовать постоянная необходимость усовершенствования изделия в плане конструирования, внесения соответствующих изменений в производственных процессах с изменениями в запланированных ресурсах, управлении логистикой.

Оценка затрат проводится по элементам от нижнего уровня (по детальному) через производственные цепочки до верхнего уровня (на уровне всего изделия). При этом необходимо обеспечить общую систему планирования производства с высокой гибкостью, чтобы справиться с быстрыми изменениями и неопределенностями на ранних стадиях проектирования. Поэтапный способ конструирования изделия и оценки стоимости имеет недостатки. Это сложность глобальной оптимизации из-за множества взаимосвязанных процессов и сложное управление связями между этими подсистемами.

Оптимизация затрат означает выбор между альтернативными вариантами производственных процессов, ресурсами, запасами, поставщиками, или комбинациями этих элементов с наименьшими общими затратами. Для оптимизации можно использовать специализированные

пакеты компьютерного моделирования. Если производственный процесс или логистическая цепочка состоят из случайных величин или случайных процессов, для моделирования может быть применен метод Маркова.

Следует отметить, что оптимизация затрат может противоречить результатам, полученным в результате оптимизаций других параметров. Оптимальный режим, предложенный по результатам оценки затрат после оптимизации по критерию самой низкой себестоимости, может противоречить режиму управления производством, предложенному системой управления операциями по критерию минимизации рабочего времени. Это приводит к проблеме принятия решений в условиях многокритериальной оптимизации.

### **3.2 Метод оценки общей стоимости**

Коэффициент затрат и входные данные о ценах из базы данных используются системой оценки стоимости для оптимального управления. Например, коэффициент затрат на выполнение обработки цилиндрической шейки на черновой токарной операции можно определить, рассчитав добавочную стоимость, стоимость ресурсов и затраты на логистику. Добавочная стоимость определяется в зависимости от сложности процесса. Это зависит от конструктивных параметров заготовки и детали, материала заготовки, инструмента. Она представляет собой сумму затрат на возможные измерения и доделывания. Стоимость ресурсов будет рассчитываться путем умножения стандартных тарифов по стоимости проведения данной обработки с использованием конкретных ресурсов на время использования этих производственных ресурсов. Стандартные тарифы по затратам входят в базы данных, а время обработки может быть предоставлено системой планирования и оптимизации производственного процесса. Стоимость логистики определяется в зависимости от того, должен ли проектируемый процесс учитывать материал или элемент, как и где этот материал или

элемент может быть предоставлен. Однако, если в последующем процессе необходимо добавить новый материал или элемент, в соответствии с логистикой, его коэффициент затрат будет проанализирован и в нем учтена стоимость логистики этого нового материала или элемента. Затраты на логистику представляют собой сумму затрат на приобретенный товар и его транспортировку. Как правило, поставщик указывает стоимость перевозки как часть предложения по предоставлению товара. Следовательно, система управления логистикой может обеспечить расходы на приобретенный товар и соответствующие перевозки, запрашивая предложение у поставщиков. Проектировщики могут установить некоторые ограничения на расходы для выбора различных новых материалов или средств оснащения. Эти ограниченные затраты регистрируются в базе данных по затратам и могут использоваться системой оценки себестоимости и системой производственного управления. Если процесс передается на аутсорсинг, например, субподрядный процесс, он имеет только затраты на логистику в своем коэффициенте затрат, и два других условия будут равны нулю. Когда все параметры коэффициента затрат имеют фиксированные данные, себестоимость узла, детали или всего изделия может быть рассчитана с помощью системы оценки стоимости путем сложения всех данных по стоимости по коэффициентам затрат, связанными с этими процессами.

Способность правильно и быстро оценивать, оптимизировать и контролировать себестоимость в рамках производственного планирования - это одна из возможностей, которую компании-производители стремятся реализовать, чтобы улучшить свое место на конкурентном рынке. Многочисленные исследования направлены на автоматизацию расчетов и оптимизацию затрат в цикле производственного планирования. Следуя концепции параллельного проектирования на основе типовых процессов и прототипов, необходимо своевременно формировать оценки затрат и результаты оптимизации разработчикам изделия в качестве важных данных для принятия решений. Этот параллельный подход позволяет разработчикам

проектировать изделие, планировать процессы, операции в цехе, управлять логистикой, а также оценивать и оптимально контролировать стоимость.

Технологическая себестоимость часто оценивается инженерами проектировщиками, исходя из прошлого опыта. Даже для данных, конкретных производственных условий такая оценка очень далека от объективной и реальной оценки и проводится без учета конкретных особенностей изготавливаемого изделия. Для оценки себестоимости [32] предлагается гибридная система, которая включает в себя информацию о производственном опыте, оценку себестоимости на основе аналитических вычислений и параметрическую оценку. Метод для оценки переменных затрат, связанных с обработкой, предложенный [35] имеет главные преимущества в гибкости при определении и учете конструктивных характеристик детали без использования строгих систем классификации и кодировки.

### **3.3 Оценка производства продукции на всех стадиях производства**

Стоимость производства машин представляет собой сумму затрат на проектирование продукта, производство и логистику. Они являются основными затратами на изделие машиностроения. Некоторые другие возможные затраты, связанные с циклом производства продукции, например накладные расходы, обычно прямо пропорциональны основной стоимости производства продукции и на практике оцениваются путем умножения ее стоимости на постоянный процент. В отличие от более ранних методов оценки затрат, в которых основное внимание уделялось оценке затрат на конкретном производстве, новые системы оценки затрат, основанные на WEB-технологиях, нацелены на оценку стоимости производства продукции и оптимальное управление в условиях сложной глобальной производственной среды.

Предложенная система для оценки затрат и оптимального управления ими внедряется на различных производствах. Пример промышленной реализации описывается далее для демонстрации принципов работы системы. На сегодняшнем рынке минимальное время цикла производства продукции и его качество с оптимальной стоимостью становятся все более и более важными для малых и средних производств. В частности, стоимость производства продукции обычно определяет долю рынка, прибыльность и возврат инвестиций для таких производств. В свою очередь, управление стоимостью производства продукции на ранних этапах является проблемой точной оценки возможных затрат, связанных с циклом производства. Оценка стоимости производства тесно связана с выбором технологических процессов и их возможных модификаций или модернизаций, которые могут полностью удовлетворить требования заказчика при минимальной сумме вложений. Следовательно, необходимо развивать новые методы и инструменты для малых и средних производственных компаний для рационального выбора процессов производства, точной оценки и оптимального контроля стоимости.

Оценка и снижение затрат всегда имеют важнейшее значение в цикле производства изделий. В последние годы исследования направлены на повышение эффективности производства по двум направлениям: как сократить время цикла производства продукции и как уменьшить себестоимость. На самом деле, эти две проблемы взаимосвязаны. Более короткое время цикла продукта обычно приводит к снижению стоимости. С другой стороны, оптимальное управление стоимостью производства продукции обычно приводит к сокращению времени этого цикла. Следовательно, исследования, изучающие либо время цикла производства, либо его стоимость, направлены на достижение одной и той же цели, то есть быстрого и экономичного производства продукции, с двух разных точек зрения.

Для оценки и оптимального контроля стоимостью производства на современном глобальном производственном рынке необходимо изучить



несколько вопросов. Во-первых, доказано, что производство продукции в глобальной производственной среде обладает преимуществами гибкости, часто предлагая быстрые и дешевые решения для некоторых деталей или даже всего производства продукции от партнеров или субподрядчиков. В то же время эффективно применяются самые современные технологии, дабы удовлетворить требования заказчика в этих условиях конкуренции. Однако хорошо зарекомендовавшая себя система управления производством продукции в глобальной производственной среде все еще находится в стадии разработки. Хотя относительно большое количество работ посвящено оценке затрат и проблемам контроля в различных производственных процессах, эти методики обычно разрабатывались на основе индивидуального подхода в отдельных компаниях, а не для глобальной производственной среды. В такой среде производственная фирма может осуществлять цикл производства продукции посредством сотрудничества между своими партнерами или субподрядчиками. Они могут использовать различные системы программного обеспечения и управления, несовместимые друг с другом. Для эффективного общения, обмена необходимой информацией, объединения усилий и оптимального управления стоимостью производства продукции между основной компанией и ее партнерами необходимы отдельные исследования, которые направлены на разработку оценки себестоимости производства продукции и оптимальной системы управления с учетом этих особенностей [36].

Во-вторых, независимо от того, рассматривается глобальная производственная среда или отдельная производственная компания, оценка и контроль затрат на производство продукции являются зависимыми задачами. На эти процессы влияет ряд условий, которые могут неожиданным образом изменяться. Например, стоимость проектирования изделия будет сильно зависеть от его качества, которое закладывается в техническом задании, которое может корректироваться уже в процессе проектирования, и даже, реализации производственного процесса. Правильное понимание требований

заказчиков и, следовательно, четкое представление об изделии обычно приводит к быстрому и успешному его проектированию с более низкой стоимостью процесса проектирования, которая определяется общим количеством инженерных часов. Аналогично, стоимость изготовления детали обычно зависит от технологичности конструкции деталей и всего изделия. Окончательная форма конструкции, которая включает в себя параметры геометрии, поверхности, допусков и свойств детали, характеристики сопряжений, прямо или косвенно влияет на выбор производственных процессов и, следовательно, на стоимость изготовления деталей и их сборки. Отрицательный опыт, полученный в обрабатывающей промышленности, показывает, что решения, принимаемые на стадии проектирования без учета затрат на производство продукции, обычно приводят к неправильному выбору процессов.

Не рациональный производственный цикл ухудшает положение компании от более продолжительного цикла из-за переделок, недостатков в конструкции изделия, на что часто указывает более низкая удовлетворенность потребителя и, следовательно, более высокая стоимость производства при снижении прибыли от реализации изделий. Наконец, стоит отметить, что большинство разработанных или существующих методов и систем оценки и контроля затрат, имеют проблемы, которые не могут быть решены в существующих системах производства продукции. Эти методы и системы необходимо изменить или доработать, чтобы их можно было применять для снижения сложности и неопределенности процесса производства в глобальной производственной среде.

Оценка и контроль стоимости производства продукции, несомненно, являются эффективным инструментом для мониторинга производственного цикла. Результаты оценки стоимости могут использоваться в качестве важных эталонных параметров или показатели для проверки целесообразности и рентабельности разработки нового изделия. Из опыта хорошо известно, что изменения в реализуемом процессе производства

продукции, являются более дорогостоящими, чем исправления, сделанные на более ранних стадиях, например, на этапе проектирования конструкции. Оценка и контроль стоимости производства - это планирование и оценка процессов на более ранних стадиях жизненного цикла. Точная оценка и оптимальное управление стоимостью производства имеет решающее значение для сокращения времени его цикла и снижения стоимости [39].

Разработка эффективных методов, алгоритмов и системной платформы для реализации этих алгоритмов для поддержки такого планирования и контроля деятельности на ранних стадиях проектирования очень важны для компаний-производителей, чтобы улучшить их положение на рынке. Далее перечислены преимущества и недостатки методов, алгоритмов и систем для оценки и контроля себестоимости изделия. Наиболее эффективной системой для этих целей является интернет-система для оценки и контроля стоимости производства. Эта система является инструментом поддержки принятия решений для разработчиков продуктов, чтобы принимать решения или выбирать среди возможных проектных альтернатив производственные процессы и различные способы управления логистической цепочкой обеспечения производства продукта с учетом его стоимости и времени цикла. Для оценки и контроля затрат на производство и логистику продукции на основе структуры изделия предлагается «комплексный индекс затрат». Для решения проблем связи и передачи данных в глобальной производственной среде в структуре индекса затрат была принята методика STEP (анализ S - social (социальных факторов); T - technological (технологических факторов); E - economic (экономических факторов); P - political (политических факторов)) для моделирования процессов и получения данных об изделии, связанных с калькуляцией себестоимости и другой соответствующей информацией в течение жизненного цикла.

Возможность быстрой и экономичной разработки продукта привлекает большое внимание специалистов-практиков и исследователей-ученых. Было проведено немало исследовательских работ, в которых рассматриваются

проблемы быстрого и экономичного проектирования процесса изготовления изделия с точки зрения оценки и контроля затрат. Это относится к определению затрат и бережливому производству, нейросетевому моделированию, сетевой оценке и контролю, оценке затрат на основе управления информацией, сопутствующим затратам и калькуляции на основе производственных затрат. Однако все эти исследования посвящены проблемам отдельных конкретных производств и пренебрегают изменяющимися отношениями между распределенными производствами и сложностью оценки и контроля затрат в глобальной производственной среде.

Точность или надежность оценки стоимости производства увеличивается с уровнем его развития. Оценка стоимости производства на ранней стадии обычно очень грубая и ненадежная. Иногда, завышенная стоимость производства изделия на ранней стадии жизненного цикла может ввести компанию в заблуждение. Это, возможно, приведет к недооценке потенциала продукции на рынке. С другой стороны, заниженная стоимость производства может привести к значительным инвестициям и привести к тому, что изделие будет иметь лишь небольшую долю рынка или не иметь ее вообще. Производственные затраты всегда являются важным фактором, влияющим на принятие решений на ранних этапах проектирования изделия, планирования процесса, производства и на распределение доли рынка, приходящегося на изделие. Это основная часть общей стоимости производства, так как это стоимость его непосредственного изготовления.

Обычно, чтобы определить стоимость производства машиностроительного изделия, потребуется много подробных входных данных, таких как выбранные производственные процессы и их последовательность, время протекания процессов, почасовые ставки для рабочей силы и оборудования, стоимость сырья, стоимость работ субподрядчиков, стоимость перевозки и логистики, затраты на управление, накладные расходы и амортизация оборудования и затраты на его

техническое обслуживание. Традиционно стоимость производства оценивается путем сложения всех этих затрат.

Программные средства часто используются как средство ускорения этих вычислений по суммированию статей расходов. Типичные примеры применения этого традиционного метода оценки производственных затрат можно найти в справочных материалах по технико-экономическому расчету процессов. Предлагалась в последних исследованиях система оценки производственных затрат, которую можно использовать на ранней стадии проектирования продукта для оценки стоимости его производства в условиях неопределенности и неоднозначности плана производственного процесса. Основным недостатком этого подхода является то, что предлагаемая система требует некоторых первоначальных оценок, связанных с затратами на конструирование и разработку производственных параметров, например, обработку поверхности, настройку станка или времени демонтажа и т. д.

Как и в вышеупомянутой методике по оценке стоимости производственных процессов, также технологическая база данных использовалась при оценке стоимости производства для хранения информации по стоимости, структурированной по статьям расходов и по параметрам производства, связанным с затратами.

Система быстрого и экономичного проектирования включает в себя пять подсистем, то есть проектирование продукта, систему планирования и оптимизации производственного процесса, систему управления операциями, систему оценки затрат и оптимального управления и систему управления логистикой. Эти пять подсистем могут общаться друг с другом через компьютерные сети. На ранних стадиях проектирования эти пять подсистем работают вместе. Этап называется – разработка структуры производства изделия. Структура производства - это интегрированная модель по данным производственного процесса изготовления изделия, которая может хранить в иерархическом виде все необходимые данные в течение жизненного цикла.

Это модель образует объект, к которому обращаются все связанные с реализацией производства изделия.

В этот общий объект данные записываются из модуля STEP. Следовательно, все виды пакетов программного обеспечения для автоматизированного проектирования и управления на производстве, а также смежные производители, подрядчики, должны быть в состоянии использовать или управлять этим общим объектом. Эта модель данных предоставляет реальные решения для создания автоматических связей между разными элементами этапов проектирования изделия, планирования процессов, управления логистикой.

На более поздних стадиях проектирования производства, то есть на стадии разработки серийного образца и на конечных этапах реализации производственных процессов, эти подсистемы, адаптируются к изменениям в структуре производства (если они есть), чтобы справиться с возможными изменениями, которые потребуются заказчику, поставщикам, партнерам, субподрядчикам и самой компании.

На этапе производства эти подсистемы работают как системы оптимального планирования и управления производством, чтобы придерживаться того, что было спроектировано и запланировано при производстве изделия. В системе проектирования подсистема «конструирование или проектирование изделия» преобразует требования клиента - заказчика в конкретные технические характеристики изделия. Однако эта подсистема проектирования не работает, как традиционная система проектирования изделий, которая проектирует продукт за один подход. Она следует параллельному инженерному принципу, основанному на разработке особенностей изделия по функциям. При этом одновременно ищут или планируют все необходимые элементы, особенности конструкции для формирования разработанной функции. Эта система проектирования продукта состоит из автоматизированного пользовательского интерфейса, который был разработан с использованием метода QFD (*Quality Function*

*Deployment* - матрица развертывания функций качества ) для преобразования требований клиента в технические характеристики продукта. На основе этих характеристик поисковая система ищет похожий товар или аналогичные изделия, сделанные ранее. Его используют в качестве прототипа своего изделия, которое будет разработано для удовлетворения потребностей клиента. Разработчик может создавать конструкции путем изменения функций прототипа или добавления новых функций в него в соответствии с требованиями клиента, в пошаговом или произвольном порядке.

После того, как конструкторы модифицируют или конструируют необходимую функцию, система планирования и оптимизации производственного процесса ищет подходящие технологические и производственные процессы из базы данных о производстве. Это может быть проведено в соответствии со стандартной процедурой автоматизированного проектирования по технологическому конструктивному коду для поиска типового или формирования групповой технологии. Или проводят разработку процесса с помощью компьютерного моделирования или натуральных испытаний в цехе, если процессы не найдены в базе данных.

Также применяется модель оптимизации производственного процесса, например, выбор инструмента или планирование кратчайшего пути для процесса точения на станке с ЧПУ.

Через систему управления логистикой можно искать альтернативные варианты по партнерам или субподрядчикам компании. Эта система планирования и оптимизации процессов планирует альтернативное или дополнительное производство, необходимое для формирования измененной или новой разработанной функции у изделия.

### **3.4 Общая структура системы гибкого производства**

Выбор среди альтернативных или дополнительных процессов определяется смежными затратами на эти процессы, которые будут

предоставлены «системой оценки затрат и оптимального управления», как показано на рисунке 8 [30, 40].

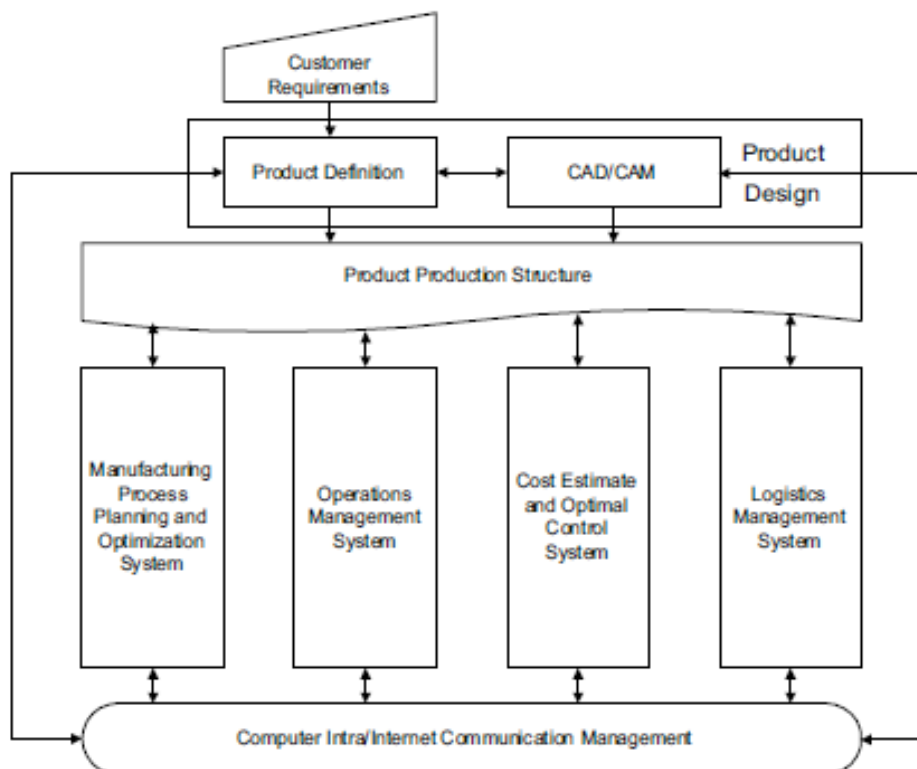


Рисунок 8 - Общая структура системы гибкого производства при массовой кастомизации

При современном управлении предприятием выбранные технологические процессы будут добавлены в структуру производственного процесса конкретного продукта, как один из информационных элементов о нем. Система управления производством формирует информацию о графике производственных действий, наличии или планировании закупки необходимых производственных ресурсов. Происходит инвентаризация сырья или компонентов (инструменты, приспособления, расходные материалы, СОЖ), которые имеет отношение к производственному процессу, как запланировано в указанных технологических процессах в системе планирования и оптимизации производственного процесса.

Получается, что система управления операциями управляет необходимыми производственными ресурсами и материалами не только



внутри производственной компании, но и связывает потоки от поставщиков, партнеров и субподрядчиков компании через систему управления логистикой. Данные, которыми управляет эта подсистема, находятся в глобальной производственной среде. Эти глобальные данные управления операциями также включаются в информационную базу данных о выпускаемом изделии. Они объединяются с данными по необходимым компонентам, сырью, логистике по их поставке вместе с разработанными и запланированными технологическими и вспомогательными процессами. Система управления логистикой состоит из базы данных, которая записывает все необходимые данные о поставщиках, партнерах и субподрядчиках компании, такие как их адреса, продукты или услуги, цены, сроки поставки, качество. Система оценки затрат и оптимального управления использует комплексный параметр – структурированный индекс затрат, базы данных и некоторые модели оптимизации затрат.

Компьютерная система проектирования может эксплуатироваться разработчиком продукта, чтобы его спроектировать, спланировать производство для его изготовления, указать стоимость изделия с учетом всех функциональных возможностей одновременно или частично по отдельным функциям. Поскольку все описанные выше подсистемы взаимодействуют друг с другом через внутреннюю сеть, несколько инженеров в разных местах компании или мира, которые сотрудничают в разработке индивидуального продукта, также могут использовать эту систему проектирования. Такие системы намного более эффективны и продвинуты, чем современные коммерческие системы автоматизированного проектирования CAD/CAM, которые широко используются для поддержки проектирования изделий в обрабатывающей промышленности. Прежде чем обсуждать смету затрат и оптимальную систему управления, необходимо определить себестоимость проектирования и изготовления

$$PD_{COST} = C_{DD} + C_P, \quad (1)$$

где  $C_{DD}$  - это стоимость проектирования, руб;

$C_P$  - стоимость производства продукта, руб.

Характеристика изделия и стоимость его проектирования определяются временем, затрачиваемым инженерами на его разработку. Прямой контроль над этим временем не имеет никакого смысла, так как основная цель формирования параметров и проектирование продукта заключается в разработке продукта с высоким качеством. Высокое качество изделия означает, что оно будет обеспечивать максимальное удовлетворение потребностей заказчика. Следовательно, необходимо формировать модель линейного программирования, чтобы максимизировать степень соответствия требованиям заказчика в соответствии с ограничениями из его требований, техническими ограничениями, ресурсными ограничениями и конкретными характеристиками изделия, а также запланированным бюджетом, который обычно определяется руководством компании в соответствии с маркетинговой стратегией компании. Это означает, что параметры изделия и стоимость проектирования не будут оцениваться и контролироваться с помощью оценки стоимости и оптимальной системы управления.

Подсистема калькуляции в системе проектирования, как показано на рисунке 8, оценивает и контролирует общие затраты на производство продукта и логистику. Стоимость производства продукта - это сумма затрат на все производственные процессы. Стоимость производственного процесса включает в себя следующие составляющие элементы [22]:

1. Затраты на проверку, диагностику и возможную доработку из-за сложности процесса.
2. Общее потребление необходимых производственных ресурсов для выполнения процесса, включая затраты на рабочую силу, оборудование, оснащение и инструмент.
3. Общая стоимость логистики для закупки или транспортировки сырья, компонентов или проведения внешних производственных процессов

на аутсорсинге, а также соответствующие затраты на управление логистикой. Если производственный процесс передается в аутсорсинг или субподряд, он включает только эту логистическую стоимость.

Если сырье или компоненты проходят внутри компании, затраты на логистику для этого сырья или компонентов равны цене материала или компонентов плюс затраты на запасы и обработку материалов внутри производства. Чтобы упростить процесс оценки и контроля затрат в глобальной среде, обработка материалов и стоимость закупок считаются частью затрат на логистику.

### **Выводу по разделу:**

В третьем разделе рассмотрены определение комплексных затрат на всю технологию изготовления изделия, включая затраты на изготовление отдельных деталей, их сборку и испытания. В данную методику входит учет затрат и временных, и материальных, и трудовых. Этот подход используется для создания экспертных систем, которые могут эксплуатироваться в рамках единой автоматизированной системы проектирования производства. Данный подход отличается сложностью реализации. Для получения адекватных результатов при моделировании необходимо вводить большое количество данных, которое касается не только изготовления изделия, но и производственной базы, то есть наличие станков, определенного инструментального оснащения, рабочих операторов, их квалификации, количества занятых на операции. То есть для использования таких систем необходимо все равно использовать разнообразную базовую информацию по технологическому процессу, который только еще предполагается реализовывать для получения данного изделия. Для быстрого и оперативного расчета данный подход не подходит из-за трудоемкости подготовки исходной информации.

## **4 Методика расчета технологического времени**

### **4.1 Оценка стоимости и ее оптимизация**

Определение основного времени по формулам требует знания режимов резания, а для этого необходимо провести формирование полного технологического маршрута. Для этого требуется подробная разработка технологии изготовления детали. Для предварительной оценки стоимости изделия такая методика не подходит. Необходимо давать оперативную оценку практически на стадии заказа изделия исходя из исходных конструктивных данных. К ним необходимо отнести конструктивные размеры детали, параметры поверхности и материал, точность размеров, качество поверхности, объем выпуска. Исходя из этих данных, которые берутся из рабочего чертежа детали необходимо выводить предварительную оценку. Естественно, при проектировании в дальнейшем технологии с подробным расчетом технологических операций, она будет уточняться. Но для предварительной оценки вывод об основном времени и пропорциональной доли технологической себестоимости необходимо делать оперативно.

Оценка себестоимости является очень актуальной и важной для машиностроительного производства. Производственные планы выстраивают, основываясь на прибыли предприятия. Она вычисляется исходя из стоимости изделий, которые производятся на предприятии в основном производстве. Технологическая себестоимость на ранней стадии проектирования является очень важным параметром для технологов и конструкторов. Конструкторы должны выбирать альтернативные решения, которой могут привести к снижению себестоимости. Изменения в конструкции отбираются из альтернативных вариантов часто достаточно поздно, чтобы уменьшить производственные издержки на производственной стадии. Так что поздние изменения конструктивных параметров не приводят к снижению

технологической себестоимости, а наоборот увеличивают затраты. Информация по стоимости изделия должна быть сформирована технологами при подготовке технологического процесса изготовления изделия.

Оценка стоимости должна проходить быстро и точно, обеспечивая этой ценной информации технологов. Вычисления себестоимости может быть выполнено как после проектирования конструкции изделия, так и после проектирования детального технологического процесса. Разница будет конечно в точности оценки.

Станки, материалы, режимы резания, режущий инструмент, последовательность переходов должны быть отобраны в соответствии с выбранным технологическим маршрутом. Экономисты - нормировщики могут вычислять себестоимость, связанную с обработкой по данной технологии.

Современное машиностроительное производство основано на концепции совместного проектирования. Это значит, что конструирование и проектирование технологий должны быть параллельными и взаимосвязанными процессами. Конструкторы и технологи должны отрабатывать конструкцию на технологичность совместно для снижения себестоимости на самых ранних стадиях конструкторской подготовки производства. Есть ситуации, когда изделие заказывается без учета мнения технологов и согласования особенностей конструкции. А это сказывается на технологической себестоимости производственного процесса. Заранее определенная, предварительная технологическая себестоимость является существенным фактором снижения окончательной стоимости продукции при совместном проектировании.

Упрощение оценки технологической стоимости и времени обработки основано на учете только конструктивных и других характеристик изделия из рабочего чертежа детали. Основа методики - все конструктивные элементы разбиваются на категории, группируются в соответствии с базовой формой. Любое изделие может быть представлена как комбинация этих базовых

элементов, для каждого из которых существует типовая методика или формулы для оценки и времени обработки и стоимости.

Геометрия детали - это исходный фактор для определения конструктивной и соответственно, технологической сложности и для получения технологической себестоимости изготовления данного элемента. Однако, различные детали имеют большое разнообразие таких конструктивных элементов. Для решения этой проблемы их необходимо классифицировать. Характеристики детали могут быть определены с производственной точки зрения. Параметр - это геометрическая форма с определенными характеристиками, которые определяют особенности ее обработки. Этот параметр должен быть отличим от других и иметь особенности при изготовлении.

Эти параметры могут учитывать особенности их механической обработки. В отдельный класс, например, входят тела вращения, которые могут быть обработаны на операциях точения. Второй класс – это призматические детали, которые обычно обрабатываются строганием или торцовым фрезерованием. Третий класс – поверхности пазы, которые обрабатываются различными фрезерными переходами. Четвертый класс - поверхности обрабатываются сверлением и обработкой другим осевым инструментом. Схема классификации может быть более подробно развернута с учетом параметров этих элементов по точности, шероховатости и материала. В машиностроительном производстве применяется очень много различных методов механической лезвийной и абразивной обработки и конструктивные параметры могут учитывать особенности этих методов обработки.

Технологическая себестоимость основана на расчете основного времени и материальных затрат. Основное время складывается из времени подготовки оборудования и в целом рабочего места, машинного времени и времени вспомогательного. Суммарное основное время и вспомогательное время пропорциональны количеству изготавливаемых однотипных изделий.

Время наладки оборудования пропорционально количеству партий изготавливаемых изделий. Так наладочное время или подготовительно-заключительное время на деталь определяется делением общего времени подготовки на производственную партию запуска. Производственная технологическая себестоимость определяется как [13]

$$C_{tex} = (R_o + R_m) \left( \frac{T_{su}}{Q} T_{ot} + T_{no} \right), \quad (2)$$

где  $R_o$  – производительность рабочего, руб;

$R_m$  – производительность оборудования, руб;

$T_{su}$  – время подготовительно – заключительное, мин;

$Q$  -размер партии заготовок;

$T_{ot}$  – общее производственное время, мин;

$T_{no}$  – общее непроизводственное время, мин.

Общее технологическое время или штучное время суммируется из подготовительно-заключительного времени и оперативного. К этому могут добавлять время на организационно-техническое обслуживание, а также время отдыха. Последние составляющие используются для не автоматизированного производства. Подготовительно - заключительное время для настройки, наладки оборудования для обработки партии однотипных изделий. Оно включает в себя подготовку собственно станка и настройку каждого инструмента индивидуально. Поэтому общее время подготовительно-заключительное равно

$$T_{su} = \frac{\sum_i ta_i + \sum_i \sum_j tb_{ij}}{Q}, \quad (3)$$

где  $T_{su}$  – общее подготовительно - заключительное время, мин;

$ta_i$  - основное время настройки  $i$  станка, мин;

$tb_{ij}$  - время наладки или настройки  $j$  инструмента  $i$  станка, мин.

Оперативное время - это временной промежуток от начала выполнения подачи до ее окончания. Он складывается из времени черновой обработки, времени финишной или чистовой обработки и времени подвода инструмента. Время черновой обработки пропорционально объему удаляемого материала для всех типов поверхностей. Объем снимаемого материала напрямую связан с конструктивными особенностями обрабатываемой поверхности. Для их определения могут использоваться следующие математические зависимости. Время черновой обработки, мин

$$t_r = \frac{V_r}{MRR}, \quad (4)$$

где  $V_r$  – объем удаляемого материала, мм<sup>3</sup>;

$MRR$  - объемная производительность, мм<sup>3</sup>/мин.

Объем удаляемого материала для цилиндрического тела

$$V_r = \pi \cdot (D1^2 - D2^2) \cdot L/4, \quad (5)$$

где  $D1, D2$  – диаметры обрабатываемой и обработанной поверхностей длиной  $L$ , мм.

Объемная производительность

$$MRR = tSv, \quad (6)$$

где  $t$  – глубина резания, мм;

$S$  – подача, мм/об;

$v$  – скорость резания, м/мин.



## 4.2 Расчет времени для тела вращения

Поверхности вращения обрабатываются на станках токарного типа. Объемная производительность зависит от инструментального материала, геометрии инструмента, обрабатываемого материала и метода обработки.

Необходимо учитывать потери времени, связанные с особенностями операций в зависимости от станка (таблица 7) [13].

Таблица 1 – Дополнительное время операций, с

Станок	Подготовительно-заключительное время	Время настройки инструмента	Время контроля
Продольный токарный	1620	720	-
Револьверный	4300	800	9
С ЧПУ	1800	540	2

Время черновой обработки вычисляется в предположении, что мощность резания не превысит мощность привода главного движения станка, на котором производится обработка. Далее в таблице 8 показана объемная производительность для некоторых отобранных материалов для разных переходов.

Финишные переходы по уточнению точности и качества выполняются после черновой или предварительной обработки и также связаны с использованием токарных станков. Время этих переходов не так строго и однозначно связано с объемной скоростью удаления материала. Оно больше определяется точностью размеров через допуски и шероховатость. Следовательно, время финишных переходов пропорционально площади поверхности, которая подвергается финишной обработки.

Таблица 8 – Скорость снятия материала для черновой обработки (инструментальный материал HSS), мм<sup>3</sup>/мин

Материал	Твердость (BHN)	MRR точение	MRR торцовое фрезерование	MRR концевое фрезерование	MRR сверление
Низкоуглеродистая сталь	150-200	7866	4097·n	1311·n·l	62271
Среднеуглеродистая сталь	200-250	6882	3769·n	819·n·l	55716

Время чистовых переходов находится как [40]

$$f_{ft} = \frac{A_f}{R_f}, \quad (7)$$

где  $A_f$  – площадь обрабатываемой поверхности, мм<sup>2</sup>;

$R_f$  - скорость образования (формирования) поверхности при обтачивании данного материала, мм<sup>2</sup>/мин.

Скорость формирования поверхности изменяется с учетом обрабатываемого материала. Она выводится по математическим зависимостям для площади геометрической поверхности. Приведена формула для расчета площади поверхности цилиндрического типа

$$A_r = \pi \cdot D2 \cdot L + \pi \cdot (D1^2 - D2^2)/2, \quad (8)$$

где  $D1, D2$  – диаметры обрабатываемой и обработанной поверхностей длиной  $L$ , мм.

Время подвода инструмента изменяется в соответствии с размерами державки резца и расположением исходной точки. В общем, время подвода намного меньше по сравнению с основным временем. Данная аппроксимация хорошо описывает время подвода инструмента с учетом размеров этого инструмента, с

$$t_{at} = 5.4, \text{ если } D > 50 \text{ мм}$$

$$t_{at} = 3,8\sqrt{D}, \text{ если } D < 50 \text{ мм.} \quad (9)$$

где  $D$  – диаметр или размер державки резца, мм.

Вспомогательное время - это промежуток времени после того, как заготовка закреплена на станке, исключая время непосредственной обработки и до того как она снята со станка. Не технологическое или вспомогательное время - это время загрузки, установки, разгрузки, закрепление, раскрепление заготовки, уборки стружки и включения – выключения насоса подачи смазочно - охлаждающих сред. Также время, связанное с инструментом. Оно включает время настройки инструментов, поворот револьверной головки или резцедержателя, включение - выключение подачи, изменение направления и величины подачи. Вспомогательное время

$$T_{\text{в}} = t_{lt} + t_{et} + t_{at}, \quad (10)$$

где  $t_{lt}$  – общее время загрузки, мин;

$t_{et}$  - время на оперативный контроль, мин;

$t_{at}$  - время, связанное с ручной работой на станке, мин.

Время загрузки аппроксимируется пропорционально числу закреплений

$$t_{lt} = nl \cdot t_l, \quad (11)$$

где  $t_{lt}$  – общее время загрузки, мин;

$nl$  - число закреплений, мин;

$t_l$  - время загрузки, мин.

$$t_l = 38 + 0,5 \cdot W, \quad (12)$$

где  $W$  – вес заготовки, кг.

Общее время, связанное с инструментом в каждой операции находится как

$$t_{et} = n_o \cdot t_e, \quad (13)$$

где  $n_o$  – число переходов;

$t_e$  - время на настройку и управление инструментом, мин.

### 4.3 Связь времени и стоимости обработки

Время обработки определяет статьи расходов (на зарплату, амортизацию, расход инструмента, электроэнергию т тому подобное). Эти статьи расходов формируют общую структуру стоимости. Они могут быть определены для конкретного производства на основе системного подхода по измерению затрат для различных технических решений, в данном случае для различных операций и их этапов.

Для пояснения структуры «техничко-экономической» модели затрат и ее связи с производственными этапами, рассмотрим стоимость обработки на примере точения [13]:

$$C_{\text{тех}} = (P_{\text{об}} + P_p + N_p)[T_{\text{шт}}] + \frac{1}{n} C_{\text{и}}, \quad (13)$$

где  $P_{\text{об}}$  – производительность оборудования, руб/мин;

$N_p$  –накладные расходы, руб/мин;

$P_p$  – производительность труда, руб/мин;

$T_{\text{шт}}$  – штучное время, мин;

$n$  – партия деталей, обработанных за период стойкости инструмента, дет;

$C_{\text{и}}$  – стоимость инструмента (пластины), руб.

Факторы, влияющие на стоимость обработки одной заготовки, включают показатели по производительность станка, труда и накладных расходов. Вклад этих факторов пропорционален времени работы – штучного

времени. Оно состоит из времени выполнения основной подачи для удаления материала, времени быстрого перемещения для позиционирования инструмента и времени замены инструмента.

$$T_{шт} = T_o + T_{xx} + T_{см} , \quad (14)$$

где  $T_o$  – время выполнения основной подачи для удаления материала, мин;

$T_{xx}$  - время быстрого перемещения для позиционирования инструмента, мин;

$T_{см}$  - время замены инструмента, мин.

Инструмент включает, как правило, сменную вставку пластину, стоимость которой является еще одним фактором, влияющим на стоимость заготовки. Эта технико-экономическая модель может быть выведена из механики и геометрии токарного процесса. При токарной обработке материал удаляется с заготовки, вращающейся вокруг оси симметрии, режущим инструментом или вставкой, которая перемещается в осевом и радиальном направлениях заготовки.

Главными переменными процесса являются два параметра, которые являются типичными для обработки, а именно скорость подачи,  $S$  [мм/об], обычно выражаемая как длина на оборот, и скорость резания,  $v$  [м/мин]. Эти переменные входят в стоимость, выраженной в рублях за штуку, следующим образом:

$$C = M[T_S + T_{xx} + T_{см}] + \frac{1}{n} C_{и}, \quad (15)$$

$$T_S = \frac{D(L+e)}{318Sv}, \quad (16)$$

$$T_{xx} = \frac{R}{r}, \quad (17)$$

$$T_{см} = \frac{DLt_d}{318SvT}, \quad (18)$$

где  $C$  - стоимость токарной обработки одной детали, руб;

$S$  - подача на оборот, мм/об;

$v$  - скорость резания пластины по поверхности заготовки. м/мин;

$M$  – расходы на оборудование, оплату, накладные расходы на токарной операции, руб/мин;

$T_S$  - время рабочей подачи, мин;

$T_{xx}$  - время быстрого перемещения к заготовке, мин;

$T_{см}$  - время замены вставки, мин;

$n$  - количество заготовок между сменами вставок, штук;

$C_{и}$  - стоимость за вставку, руб;

$D$  - диаметр заготовки, мм;

$L$  - длина заготовки, мм;

$e$  - дополнительный ход на скорости подачи  $S$ , мм;

$R$  - общее расстояние для подвода инструмента, мм;

$r$  - скорость быстрого перемещения, мм/мин;

$t_d$  - время замены вставки, мин;

$T$  - стойкость инструмента, мин.

Для конкретной заготовки, материала вставки и скорости подачи стоимость обработки в основном является функцией от скорости резания  $v$ . По мере увеличения скорости резания увеличивается скорость удаления материала, что снижает стоимость механической обработки, позволяя производить больше деталей в единицу времени. Однако стоимость обработки также зависит, среди прочего, от износа инструмента.

Режущие пластины вставки должны периодически заменяться, что создает затраты как с точки зрения приобретения новых пластин, так и с точки зрения затрат времени на их замену. Износ инструментальных материалов как функция времени резания и скорости резания является предметом инженерного анализа. Стоимость обработки - это экономический фактор, величина которого определяется с помощью модели, основанной на

инженерном анализе износа инструмента. Именно особенность протекания износа определяет форму кривой на рисунке 9, где увеличение скорости резания снижает время и стоимость [24].



Рисунок 9 - Стоимость обработки как функция скорости резания

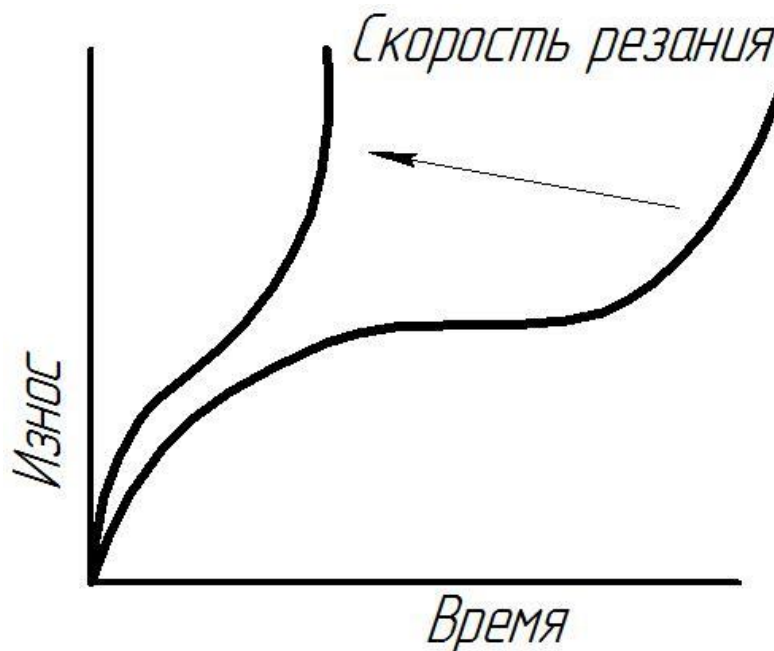


Рисунок 10 - Износ инструмента как функция времени и скорости резания

По мере дальнейшего увеличения скорости резания износ инструмента также увеличивается, что приводит к увеличению затрат на инструмент и

более частой замене инструмента; это в свою очередь увеличивает стоимость за штуку.

Чтобы точно считать производственные затраты и принимать решения, необходимо учитывать как технические, так и экономические проблемы. Поведение инструмента при износе - чисто техническая проблема, требующая научного анализа и технических изменений в технологии. Однако, они могут быть неактуальными, если это не приводит к снижению стоимости.

В производстве норма времени выполнения операций определяется, в том числе тем, как быстро технологическая система может быть перенастроена в случае изменения конструкции детали, объеме производства. Способность адаптации технических систем к таким изменениям относится к категории гибкости. Производительность системы - это способность изготовления за минимальное время. Производительность влияет прямо или косвенно на все экономические характеристики. Более высокая производительность обычно приводит к снижению затрат и, возможно, снижению качества. Кроме того, для достижения высокой производительности часто используют автоматизацию, которая может влиять на гибкость системы. Примером такой автоматизации является автоматическая линия, которая благодаря своей полностью автоматизированной транспортной системе перемещения заготовок и рабочим позициям обеспечивает производительность для одной детали порядка нескольких секунд, даже для очень сложных деталей. Теоретическая производительность системы, или машинный цикл, относится к деталям, произведенным в единицу времени, когда станок работает без перерывов или задержек. Этот параметр обычно ограничивается самим процессом обработки и надежностью станка. Фактическая производительность системы представляет собой количество деталей изготовленных с заданными параметрами за единицу времени, включая как задержки, возникающие регулярно во время производства, так и непредвиденные перерывы из-за



поломок оборудования. Эффективность всего технологического процесса с точки зрения производительности - это отношение производительности системы в процентах от машинного цикла [29].

Достижимые темпы производительности в технологической системе в значительной степени зависят от надежности оборудования и взаимосвязи элементов системы. Для оценки этих параметров используются термины теории надежности. Частота отказов узла или детали - это количество отказов за период времени. Обратная величина частоты отказов известна как среднее время между поломками. Вероятность того, что система обеспечит требуемую функцию, называется надежностью. Величина надежности измеряется в указанных условиях для определенного периода времени ( $t$ ). Для данной частоты отказов надежность уменьшается с увеличением периода времени. Фактическая производительность производственной системы определяется ее надежностью, умноженной на машинный цикл. Долговечность системы является функцией надежности системы (или частоты отказов) и среднего времени ремонта системы. Надежность системы, в свою очередь, зависит от структуры станка и материального потока в системе, а также от надежности отдельных компонентов системы. Например, в автоматической линии материальный поток является чисто последовательным, а общая надежность системы определяется произведением надежности отдельных машин.

Если все значения надежности отдельных машин  $R$  приняты равными 98%, то надежность линии из десяти машин составляет 82%. Очевидно, что надежность системы может сильно отличаться от надежности отдельного компонента системы. Долговечность часто является более информативным показателем аварийного поведения, чем надежность, поскольку она включает среднее время ремонта. Доступность системы с большой долговечностью относительно нечувствительна к продолжительности ремонтного периода, в то время как доступность системы с короткой долговечности очень чувствительна к продолжительности ремонтного периода.

Рассмотрим автоматическую линию, которая состоит из нескольких отдельных станков-позиций, соединенных последовательно. Этот тип производственной системы обычно используется для массового производства одного типа детали. Два фактора определяют конструкцию такой линии: требование производительности и конструкция изготавливаемой детали. Конструкцию детали можно рассматривать как совокупность элементов, которые должны быть обработаны отдельными станками линии. Чтобы достичь требуемой производительности, каждая заготовка должна проводить только строго определенное количество времени на каждой позиции. В рамках этого временного ограничения, которое определяется синхронизацией операций по времени, общая цель при проектировании такой автоматической линии заключается в максимизации количества переходов, выполняемых на каждой позиции. Это сводит к минимуму количество требуемых станков – позиций. Эта цель не только потому, что снижает стоимость всей линии, но также и потому, что повышается ее надежность. При данной надежности станка надежность всей линии в целом резко возрастает с уменьшением количества этих позиций. Однако, если автоматическая линия содержит запасы дополнительных заготовок (технологические заделы) между станками, то отдельные позиции в определенной степени защищены от отказов других станков. Общая надежность автоматической линии становится менее чувствительной к надежности отдельных станков.

Возможно иметь автоматическую линию, которая является одновременно большой и надежной, но только за счет увеличения запасов деталей (незавершенного производства). Фактическая производительность производственной линии никогда не может быть такой же высокой, как теоретическая производительность (машинный цикл). Тем не менее, можно приблизиться к машинному циклу, если улучшится доступность отдельного станка. Доступность и, следовательно, производительность отдельного станка является функцией его рабочей скорости (то есть угловой скорости

вращения шпинделя с инструментом и скорости подачи инструмента относительно заготовки). При обработке производительность отдельного станка первоначально увеличивается с увеличением рабочей скорости из-за увеличения скорости удаления материала. Тем не менее, по мере того, как скорость резания увеличивается выше определенной точки, увеличение частоты смены инструмента из-за увеличения износа инструмента приводит к снижению производительности (рисунок 11). Поскольку производительность является функцией доступности и машинного цикла, форма кривой зависимости доступности от скорости резания будет идентична форме кривой производительности по сравнению с кривой скорости. Как правило, производительность или доступность станка на позиции автоматической линии максимальна при скорости резания, которая ниже максимальной достижимой рабочей скорости.

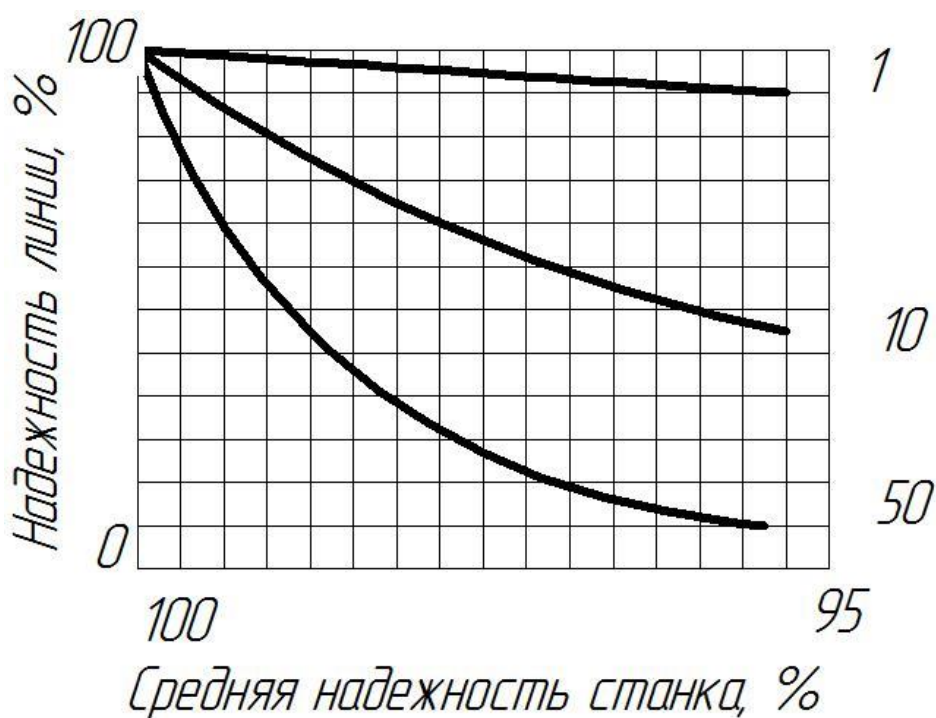


Рисунок 20 - Надежность системы при сравнении с надежностью отдельных станков автоматической линии



Рисунок 12 - Скорость производства/доступность в зависимости от скорости резания для отдельного станка

Учитывая характеристики отдельных станков можно прогнозировать производительность автоматической линии (при условии отсутствия заделов).

Например, в статье рассматривается [43] концепция умного производства, которая стала важным направлением в обрабатывающей промышленности с точки зрения оптимизации временных и производственных затрат. Помимо высокого качества продукции, быстрая переналадка может определить успех или неудачу многих производственных предприятий. Одной из наиболее эффективных концепций для достижения умного производства является использование методов автоматизированного планирования процессов. Оно относится к ключевой технологии, которая связывает процессы автоматизированного проектирования (CAD) и автоматизированного производства (CAM). Исследователи использовали много подходов в качестве системы взаимодействия между программами CAD и компьютерной системой планирования. В этой области исследований много усилий потрачено на то, чтобы вывести системы планирования на новый уровень в форме автоматического автоматизированного планирования процессов. Это делается для того, чтобы сформировать полную информацию

об изделия в автоматическом, быстром и точном виде. Более того, методы автоматического распознавания признаков считаются одной из наиболее важных задач при создании системы автоматического автоматизированного планирования процессов. Существует два основных аспекта использования таких систем. Это степень автоматизации ввода каждого требуемого параметра. Также ожидаемый результат автоматизированных систем планирования процессов.

В статье [34] проводится описание системы оценки технологической себестоимости изготовления деталей. Она является критическим и важным элементом для промышленных предприятий. Оценка технологической себестоимости помогает предприятию обеспечить успешную конкурентоспособность на рынке. Фактически существует три основных подхода к оценке стоимости производства: аналитический подход, метод аналогов и параметрический способ. Можно использовать систему оценки технологической себестоимости на основе полуаналитического подхода. В такой системе используется комбинированный подход, основанный на принципе аналогового и аналитического способов. Этот принцип основан на поиске соответствий между обрабатываемыми поверхностями, прежде чем группировать их в сложные конструктивные элементы обработки. Для каждого параметра, который характеризует определенный признак изделия, формируется процесс обработки, который используется для времени обработки. На втором этапе с использованием аналитического подхода время обработки определяется либо объемной производительностью для черновой обработки ( $\text{см}^3/\text{мин}$ ), либо поверхностной производительностью для чистовой обработки ( $\text{см}^2/\text{мин}$ ). Время позиционирования для каждого вида обработки рассчитывается по типовым уравнениям.

В статье [37] механическая обработка рассматривается, как один из наиболее важных и широко используемых производственных процессов. Из-за сложности и неопределенности процессов обработки, в последнее время мягкие вычислительные технологии предпочтительнее основанных на

моделях физических процессов для прогнозирования производительности процессов и их оптимизации. Основными инструментами мягких вычислений, применяемыми для этой цели, являются нейронные сети, нечеткие множества, генетические алгоритмы, моделируемый отжиг, оптимизация колоний муравьев и оптимизация роя частиц. Все эти методы применяют для различных процессов обработки - токарной, фрезерной, сверлильной и шлифовальной.

В статье [35] эффективность процесса проектирования изделия достигается за счет выполнения оценки множества альтернатив за короткое время. Необходимо вносить быстрые изменения в конструкцию изделия в зависимости от изменяющихся запросов потребителей. Технологическая себестоимость является одним из основных технико-экономических показателей для выбора наиболее перспективного решения. Следовательно, ее точная оценка на этапах проектирования является главной для обеспечения эффективности производства. Основная проблема заключается в огромном объеме данных, которые необходимо получить или иметь для расчета надежных оценок. 3D-модели объектов неявно содержат часть необходимой входной информации, необходимой для проведения оценки себестоимости. Но в основном такие данные должны получаться в процессе разработки технологии путем использования подходящих методов и данных, основанных на производственных показателях. Поэтому актуальным является подход, на котором основана разработка соответствующей системы, с использованием данных, которые позволяют автоматически делать надежную оценку затрат, начиная с 3D CAD-модели. Подход основан на формализации производственных данных, автоматическом распознавании геометрических и не геометрических характеристик изделия.

В статье [38] изложены результаты, полученные при исследовании точности прогнозирования технологических параметров, включая технологическое время. Результаты экспериментальных исследований были использованы для разработки, анализа и сравнения двух моделей. Одной из

них является статистическая модель, полученная с применением метода наименьших квадратов и метода наименьших абсолютных отклонений. Другая модель основана на применении нейронных сетей. При разработке модели, основанной на применении нейронных сетей, были проанализированы различные структуры нейронных сетей обратного распространения с одним скрытым слоем и выбрана оптимальная структура с минимальной среднеквадратической ошибкой. Более точные данные по технологическому времени, полученные на основе моделей, дополняют ранее разработанными и выполненными технологическими операциями. С учетом этого корректируют полученные прогнозы, основанные на опыте технологов. Таким образом, получают основу для планирования производства и контроля сроков поставки сырья и комплектующих. Таким образом, облегчается работа технологов, сокращается технологическое время подготовки производства.

В статье [41] рассматриваются особенности разработки технологий в мелкосерийном и единичном производстве с использованием индивидуализированного подхода к проектированию изделий. В любом производстве, при проектировании изделия и технологии его получения, точная оценка стоимости традиционными способами может быть выполнена только после завершения технической подготовки производства. Ситуация может усложняться из-за неопределенности качества сырья. Использование субъективного опыта и знаний технолога не всегда приводит к оптимальному решению. Разработана автоматизированная система, позволяющая сократить время выполнения проектирования процесса, обеспечить оптимизацию проведения процессов обработки с учетом особенностей сырья и точно оценить материальные затраты. Система состоит из трех модулей. Первый модуль цифровой обработки изображений для ускорения распознавания изделия. Второй модуль формирования заготовки для оценки потерь исходного сырья, позволяющий составить несколько возможных планов. Третий модуль оптимизации для количественной оценки суммы

материальных потерь. Вариант процесса, который в наибольшей степени соответствует целевой функции (минимальной стоимости или минимальным потерям), выбирается в качестве рабочего. Такая модель показывает высокую точность в прогнозировании потерь и оценке стоимости материалов по сравнению с другими моделями.

В [33] также показано применение нейронной сети для определения времени на единицу при производстве небольших партий при обработке. Был выбран набор конструкторских параметров, рассматриваемых как входной вектор и как выход нейронной сети, рассчитанное время производственного процесса.

В [45] предложен метод оценки себестоимости изделия, основанный на использовании метода главных компонент и применении искусственной нейронной сети для изготовления модульной конструкции станка. На первом этапе метод главных компонент применялся для определения основных параметров, характеризующих особенности станка, и влияющих на стоимость. На основе вычисления собственных значений и собственных векторов матрицы коэффициентов корреляции, уменьшают размерность данных. Определяют несколько первых компонент, которые главным образом влияют на стоимость изготовления. На втором этапе проводится обучение нейронной сети по выбранным характеристикам станка, формируя модель определения стоимости.

В [44] представлен метод оценки затрат времени с учетом маркетинговых запросов и конкурентоспособности производственной системы. Метод основан на поведенческом моделировании производственных систем с использованием онлайн-обучения без учителя. Это относится больше к методам кластеризации, классификации данных. С одной стороны, он моделирует взаимодействие между производственной задачей и производственной системой, где происходит реализация процесса изготовления. С другой стороны - взаимодействие между производственной задачей и внешними факторами, как запросами потребителей, так и



обеспечение производственной задачи в материальном плане (сырье, инструментальное обеспечение). Это приводит к поведенческому моделированию взаимосвязей между внешней рыночной и внутренней производственной системами. Такой подход обеспечивает повышение эффективности управления, обеспечивая расширение номенклатуры изделий при высокой производительности их изготовления.

В [33] рассматривается методика определения параметров технологического процесса изготовления на протяжении жизненного цикла с использованием искусственных нейронных сетей. Это позволяет улучшать конструкцию деталей при минимуме конструктивных изменений, оценивать и снижать себестоимость изготовления детали, а также время на рынок. Основные расходы происходят на этапе конструкторской подготовки производства, технологической подготовки производства, а также этапе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Расходы могут составлять до 70% от общих затрат по внедрению новых изделий. Учет технологических особенностей деталей, которые будут приводить к снижению затрат при их изготовлении, эксплуатации и ремонте, может существенно сказаться на общей себестоимости изделия. При проектировании необходимо выбирать из нескольких вариантов решений. При этом ограничения, которые необходимо учитывать при выборе, могут отсутствовать, быть неясными, не определенными. Необходимая информация может вообще отсутствовать. При этом решение по выбору вариантов должны приниматься быстро. Поэтому традиционные методы проектирования, как конструкторские, так и технологические для новых производственных условий не эффективны. Предварительная оценка стоимости изготовления изделия должна быть основана на использовании искусственных нейронных сетей. Это дает возможность обобщить сведения о детали или сборки, которые были получены для предыдущих изделий аналогичного класса.

В [30] рассматриваются исследования, цель которых изучение использования виртуальных методов в производстве. Используется интеллектуальный анализ данных для автоматизации определения связей параметров, которые составляют основу моделей по определению стоимости изготовления деталей и процессов, для оценки времени производственного процесса. Такие модели предоставляют информацию, которая имеет решающее значение для всех этапов процесса разработки продукта и для обеспечения экономически эффективного конструирования детали и изделия в целом и проектирования технологий их изготовления. Использование виртуальных производственных моделей и методов интеллектуального анализа данных позволяет автоматизировать большинство операций, связанных с процессом определения затрат. Следовательно, возникает возможность сокращения требуемого времени и усилий на проектирование, снижение нынешнего высокого уровня зависимости от субъективной экспертной оценки и возможность проведения оценки на более высоком уровне детализации затрат. Для виртуального производства создаются наборы данных, которые затем анализируются с использованием интеллектуальных методов анализа данных для определения подходящих моделей. Описывается разработка методов, в которых используются модели виртуального производства и методы интеллектуального анализа данных. Подробно рассмотрен вопрос об эффективности альтернативных алгоритмов интеллектуального анализа данных с точки зрения способности выявлять реальные причинно-следственные связи, которые существуют, и обеспечивают высокий уровень оценки точности.

В [46] рассматриваются последние разработки в области компьютерных и интернет-коммуникационных технологий, а также параллельного проектирования. Описывается методология модульного проектирования для реализации современного подхода в производстве – индивидуализированный подход с обеспечением принципов массового производства. Использование технологий электронной коммерции для

управления всей цепочкой разработки продуктов, объединяющей клиентов, поставщиков и производителей для одновременного подхода к заказанным изделиям в короткие сроки и с низким уровнем затрат. Для обеспечения успеха такой массового индивидуализированного производства в цепочке разработки изделий необходима быстрая, автоматическая, но точная система оценки и контроля затрат. Два новых метода оценки стоимости, а именно метод генеративной оценки стоимости и метод оценки альтернативной стоимости, используются для разработки полуавтоматической или полностью автоматизированной системы оценки и контроля затрат.

### **4.3 Методика определения времени и себестоимости**

Для определения основного времени обработки необходимо знать конструктивные особенности детали. К ним можно отнести геометрическую форму, габариты, точность размеров, качество поверхности. Необходима также информация о размерах и конфигурации исходной заготовки. Для того, чтобы провести предварительную оценку основного времени и соответствующей себестоимости изготовления необходимо сформировать упрощенный технологический маршрут. Он может включать в себя указание только о наличии черновой и чистовой отделочный стадий обработки. Это позволит использовать минимум расчётных формул.

Если определяется основное время аналитическим способом, для упрощения расчётов можно использовать экспертную систему в виде искусственной нейронной сети. Тогда на входе этой сети будет набор конструктивных параметров, например диаметр исходный, диаметр после обработки, длина обрабатываемой ступени для тела вращения, характер поверхности по точности, качеству. Можно ввести параметры материала заготовки по группе обрабатываемости, марку инструментального материала. К дополнительным сведениям можно отнести параметры станка (например, жесткость или вибрационную устойчивость). После обучения такой сети на

примере нескольких десятков вариантов технологий или вариантов обработки отдельных ступеней можно сформировать модель, которая будет давать приблизительную начальную оценку машинного времени. С учетом тарифных ставок можно эти данные преобразовать в приблизительную начальную оценку технологической себестоимости. Это методика позволит проводить мгновенную предварительную оценку, что позволит напрямую работать с заказчиком.

Другим подходом может являться предварительный упрощенный расчет, связанный с использованием объемной производительности, то есть количества материала удаляемого в единицу времени. Здесь необходимо учитывать, что этот параметр зависит от этапа обработки. Для чернового этапа он будет один, для чистового - другой. При этом объемная производительность варьируется в зависимости от материала заготовки, от её конструктивной жесткости. Это ещё один критический параметр, который определяет время обработки. Группа маложестких заготовок требует дополнительного времени на установку. Это связано с использованием дополнительных опор, необходимостью регулирования или выставления этих опор на технологическую ось станка.

Расчет основного времени с использованием объемной производительности необходимо проводить в следующей последовательности. Для начала необходимо определить параметры объемной производительности для соответствующих стадий: черновой, получистовой, чистовой. Это можно сделать с использованием справочных таблиц, сформированных предварительно. Это можно сделать с использованием искусственных нейронных сетей. Далее необходимо определить предварительную конфигурацию исходной заготовки. Высокая точность определения размеров не нужна, поскольку оценка проводится предварительно. После этого находится разница объемов исходной заготовки и готовой детали. Далее, в зависимости от общего уровня средней точности и шероховатости поверхностей, полученный объём снимаемой стружки

необходимо разделить по переходам или этапам обработки. Здесь необходимо выполнить предварительное аналитическое обоснование. Если заготовка имеет много высокоточных поверхностей, доля припуска снимаемого на чистовых стадиях, будет возрастать. Если заготовка грубая и неточная, практически весь снимаемый припуск будет удаляться на черновой стадии. После определения соотношения объемов снимаемого припуска по стадиям обработки, необходимо каждый из этих элементов разделить на соответствующую объёмную производительность. Это даст нам время по этапам обработки: черновому, получистовому, чистовому. Данный расчет примерно рассмотрен в [13]. Но данные формулы в источнике не учитывают свойства материала, конструктивные особенности, связанные с точностью и качеством поверхности, конструктивной жесткостью, не учитывают свойства инструментального материала. То есть являются еще более грубыми.

Для уточнения параметров по объёмной производительности можно использовать, например, номограммы, приведённые в справочных руководствах для выбора режимов резания в каталогах Sandvik coromant. В соответствующих справочных данных определяется коэффициент удельной силы резания, который учитывает и свойства материала заготовки и свойства инструментального материала. Соответственно пропорционально этому коэффициенту можно назначать и объёмную производительность.

Для обоснования какой-либо методики необходимо провести сравнение их между собой. Для этого возьмем в качестве примера обработку вала ступенчатой формы. Проведем расчет нормы времени по типовой технологии проектирования. Для этого сначала назначим технологический маршрут для отдельных поверхностей, а затем сгруппируем их в технологические операции.

Далее в соответствии с маршрутом, проведём проектирование операций. Для этого необходимо назначить глубину резания. Берем табличное значение. Далее назначаем подачу. Для черновой стадии она уточняется по параметрам державки резца, то есть параметру прочности

инструмента. Для чистовой стадии подача уточняется по шероховатости поверхности с учетом геометрии режущего инструмента. Далее назначаем скорость резания. После этого по стандартным формулам проводим расчет основного времени.

В качестве альтернативной методики используем расчет по объемной производительности. Для этого примем форму исходной заготовки самую простую в виде прутка. Вычтем из объема этого прутка объем детали. Полученную массу стружки разделим на объемную производительность, снимаемую на черновом и чистовом этапах. Деление этих объемов проведено в соотношении  $2/3$  припуска на черновую стадию. Оставшаяся часть делится в том же соотношении на получистовую и чистовую долю. После этого каждый из объемов по этапам делится на коэффициент объемной производительности. Эти коэффициенты определяем с учётом коэффициентов удельной силы резания, которые учитывают марку материала заготовки и инструментальный материал. Полученные времена складываем и получаем суммарное время обработки.

Третьим альтернативным вариантом будет использование искусственной нейронной сети. Входом этой сети являются конструктивные параметры детали: длина и диаметр обработанной поверхности, диаметр исходной заготовки. Необходимо учесть конструктивную сложность. Для этого используем отношение длины к диаметру. Для учета материала заготовки используем предел прочности и твердость поверхности. Для учёта инструментальных свойств используем стойкость инструмента для данной пары материал заготовки - инструментальный материал. Для того, чтобы использовать такую нейронная сеть, необходимо ее предварительно обучить на обучающей выборке и проверить качество обучения на тестовой выборке. Для формирования этой выборки используем аналитический расчёт в котором, изменяя конструктивные параметры детали, меняем время обработки. Полученные наборы данных в виде входных конструктивных

параметров и выходного времени подаем на вход и выход сети соответственно.

#### **4.4 Влияние геометрических параметров на технологическое время**

Допуски на размеры и сопряжения определяют точность и качество изделий машиностроительного производства, также как и стоимость его изготовления. Оптимизация допусков с учетом соответствующих затрат на механическую обработку по их достижению осуществляется путем использования различных эмпирических и аналитических методов с различной степенью их обоснованности. Среди таких методов есть использующие функцию затрат, на которую точность имеет главное влияние. На основе имеющихся отраслевых стандартов и опубликованных работ разработана аналитическая модель данной функции, которая имеет широкую область применения в промышленной практике. Эта методика учитывает величину размера, значение допуска, размер допуска исходной заготовки перед началом цикла обработки, общие размеры поверхности заготовки, которая должна быть обработана с заданным допуском [22].

Точность обработки оказывает главное влияние на эффективность и производительность изготовление изделия. Поэтому особое внимание необходимо уделять обоснованному назначению соответствующих допусков на размеры. Они формируют, таким образом, ограничения для допустимых погрешностей обработки. Эти пределы погрешностей должны быть достигнуты с помощью соответствующих методов обработки с учетом технологических возможностей оборудования. Погрешность обработки делится на элементарные составляющие, например, погрешности станка, приспособления, режущего инструмента, закрепления или тепловые и силовые деформации. Для современных станков высокого уровня основной вклад в общую погрешность обработки вносит упругая деформация обрабатываемой технологической системы - станка, режущего инструмента,

заготовки - под действием сил резания. В зависимости от конкретных условий обработки и применяемых режимов резания погрешность, вызванная этой упругой деформацией, может составлять более 50% от общей погрешности [14-15]. Именно из-за этого на чистовых операциях используются небольшие глубины резания и подачи. С точки зрения требуемого допуска  $T$  и начального - перед обработкой - допуска заготовки  $T_0$ , это означает, что существует нижний порог для глубины резания  $t$ , то есть  $t > T/T_0$ . Поскольку глубина резания вместе с подачей и скоростью резания определяют время резания и, следовательно, стоимость процесса, начальный допуск  $T_0$  становится одним из главных факторов, влияющим на стоимость обработки.

Окончательные размеры и допуски, как правило, производятся за несколько последовательных черновых и чистовых переходов на одном и том же или разных станках. Для достижения минимальной стоимости обработки при заданной точности необходимо решить задачу оптимального определения не только количества требуемых промежуточных переходов, но и правильно распределить соответствующие погрешности обработки по ним. Большинство подходов в промышленной практике решают эту проблему на основе эмпирического подхода или метода проб и ошибок. В последнее время данную задачу решают с использованием алгоритмов оптимизации [9]. В этих методах используют гистограммы допусков, коэффициенты относительной стоимости, стоимость отходов и функции допусков. Функция потерь больше подходит к этому типу задач. Общей характеристикой всех этих функций, описывающих влияние допусков на стоимость обработки, является то, что они не учитывают начальную точность размеров  $T_0$ , которую требуется повысить до более высокого уровня  $T_i$  посредством  $i$ -й операции. Алгоритмы ищут минимизацию общей стоимости обработки, взятой как сумма затрат по отдельным операциям обработки

$$C_{total} = \sum_1^n C_i(T_i) , \quad (19)$$



где  $C_i(T_i)$  – стоимость перехода по обеспечению допуска  $T_i$ , руб;  
 $n$  – количество переходов/операций.

Это может считаться как сумма дополнительных затрат после всей промежуточной обработки

$$C_{total} = \sum_1^n [C_i(T_i) - C_{i-1}(T_{i-1})], \quad (20)$$

Оба подхода имеют недостатки. Первое уравнение (19) не учитывает зависимость стоимости обработки для заданной точности  $T_i$  от начальной точности  $T_{i-1}$ , то есть точности размеров, которую операционная заготовка имеет до начала рассматриваемой операции обработки. Слабое место второго уравнения (20) в том, что один и тот же размер одной и той же детали должен быть изготовлен с одной и той же настройкой станка, но с двумя различными значениями точности  $T_i$  и  $T_i \pm \Delta_T$ . Разница в стоимости этих двух разных работ, по-видимому,

$$\Delta C = C_i(T_i) - C_i(T_i + \Delta_T). \quad (21)$$

Если теперь размер заготовки с допуском  $T_i \pm \Delta_T$  должен быть обработан с допуском  $T_i$  при соответствующем допуске на обработку, дополнительные расходы на  $\Delta_T$  будут стремиться к нулю по уравнению (21). Этот вывод некорректен, учитывая, что будет проведена дополнительная работа по снятию припуска на обработку.

Функции потерь не учитывает размер поверхности заготовки (или поверхностей), которая должна быть обработана в соответствии с указанным допуском (или допусками). Это особенно важно, когда необходимо решить задачу оптимального распределения допусков деталей, формирующих зазор в соединении вала и отверстия, а длина вала и отверстия существенно различаются. Затраты на обработку в этом случае очень разные. Для учета

этой особенности необходима новая функция «затраты по допуску», которая учитывает вышеупомянутые ограничения. Новая функция учитывает, помимо других параметров и факторов обработки, начальную точность размеров заготовки перед началом обработки, размер поверхности заготовки, которую необходимо обработать до заданного допуска.

Стоимость обработки с учетом требований к точности для типовых методик экономического расчета для обработки резанием металла для данного метода обработки, заданного периода стойкости инструмента

$$C_{total} = C_c + C_v \cdot T_c, \quad (22)$$

где  $C_{total}$  - общая стоимость, руб;

$C_c, C_v$  – коэффициенты;

$T_c$ , - общее время обработки металла.

Время обработки  $T_c$  для трех основных методов обработки выражается следующими уравнениями:

Точение

$$T_c = T_{c.ч.} + f_T(D_W, T) l_W \frac{T_o^{(r+q2)}}{T_i}, \quad (23)$$

Фрезерование

$$T_c = T_{c.ч.} + f_m(L, T) A l_W \frac{T_o^{(r+q2)}}{T_i}, \quad (24)$$

где  $T_{c.ч.}$  - общее время черновой обработки, мин.

На общее время черновой обработки  $T_{c.ч.}$  практически не влияет ни заданный допуск, ни начальный допуск заготовки. Затем, комбинируя уравнения (23) - (24), получают следующие соотношения затрат:

Для точения

$$C_{total} = C_c + C_v \cdot \left( T_{с.ч.} + f_T(D_W, TA) l_W \frac{T_o^{(r+q2)}}{T_i} \right). \quad (25)$$

Для фрезерования

$$C_{total} = C_c + C_v \cdot \left( T_{с.ч.} + f_m(L, TA) A l_W \frac{T_o^{(r+q2)}}{T_i} \right). \quad (26)$$

В приведенных выше уравнениях  $f_T$ ,  $f_m$  являются функциями параметров детали  $D_W, L$  и допуска на технологический переход  $TA$ . Коэффициент  $C_c$  не зависит от начального и конечного допусков.

Функция потерь.

Уравнение (26) учитывает следующие пять основных параметров обработки, которые должны учитываться при оценке стоимости обработки с учетом точности:

1. Исходный допуск заготовки.
2. Требуемый допуск детали.
3. Диапазон соответствующего размера детали  $D_W$  и размеры поверхности обрабатываемой детали  $D_W, L$ .
4. Технологический допуск  $TA$ .

Использование этих уравнений основано на определенных предположениях. Коэффициенты жесткости  $K_W, K_T$  не зависят от размера  $D_W$ . Режимы резания ( $v, S, t$ ) могут принимать любое значение при условии, что они удовлетворяют расширенному уравнению Тейлора, для принятого периода стойкости инструмента  $T$ .

Для черновой обработки функция себестоимости обработки для чернового, получистового и чистового этапов:

$$C_P = 0,6 + 0,184 \cdot \left( \frac{i(D)^{2,23} T_o^{1,33}}{T_i^{1,23}} \right), \quad (27)$$

$$C_P = 3,75 + 0,056 \left( \frac{i(D)^{2,62} T_o^{1,72}}{T_i^{1,62}} \right), \quad (28)$$

$$C_p = 8,18 + 0,0033 \cdot \left( \frac{i(D)^{3,64} T_o^{2,64}}{T_i^{2,64}} \right). \quad (29)$$

#### 4.5 Нормирование по справочным формулам

Время выполнения технологических операций находится согласно [13] как

$$T_{шт} = T_{оп}(1 + a_{обсл} + a_{отд})/100), \quad (30)$$

где  $a_{обсл}$ ,  $a_{отд}$  – соответственно доля времени на обслуживание и отдых в процентах от оперативного времени.

Для расчета времени операций на станках с ЧПУ основное время и вспомогательное время, связанное со временем автоматической обработки по программе объединяются в общее время

$$T_a = T_{о.а} + T_{в.а}, \quad (31)$$

где  $T_{о.а}$  – время автоматическое основное, мин;

$T_{в.а}$  – вспомогательное время по программе, мин.

$$T_{о.а} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_{M_i}}, \quad (32)$$

где  $L_i$  – длина рабочего хода, мм;

$S_{M_i}$  – минутная подача, мм/мин.

соответственно доля времени на обслуживание и отдых в процентах от оперативного времени.

$$T_{в.а} = T_{в.х.а} + T_{ост}, \quad (33)$$

где  $T_{в.х.а}$  – время холостых ходов по программе, мм;

$T_{ост}$  - время технологических пауз, остановки подачи и вращение шпинделя для смены или осмотра инструмента, проверки размеров.

Вспомогательное время

$$T_B = t_{уст} + t_{в.оп} + t_{контр}, \quad (34)$$

где  $t_{уст}$  – время установки и снятия заготовки, мин;

$t_{в.оп}$  – время управления станком, мин;

$t_{контр}$  – время контроля, мин.

Составляющая вспомогательного времени  $t_{уст}$  для установки в цанге

$$t_{уст} = a \cdot D_n^x \cdot l_{выл}^z, \quad (35)$$

где  $a$  – коэффициент;

$x, z$  – показатели степени;

$D_n$  – диаметр заготовки, мм;

$l_{выл}$  – вылет заготовки, мм.

Для данной операции  $a = 0,0126$ ,  $x = 0,433$ ,  $z=0,25$ .

Для серийного производства необходимо определить коэффициент серийности

$$k_{сер} = 4,17[(T_a + T_B)n_{п} + T_{п.з.}]^{-0,216}, \quad (36)$$

где  $T_a$  – время работы по программе, мин;

$T_B$  – вспомогательное время, мин;

$n_{п}$  – партия запуска, дет;

$T_{п.з.}$  – подготовительно-заключительное время на установку снятие приспособления, подготовку их к работе, организационную подготовку, наладку станка и инструмента, пробный проход, мин.

Штучное время для серийного производства

$$T_{шт} = (T_a + T_b \cdot k_{сер}) [1 + (a_{обсл} + a_{отд})/100] . \quad (36)$$

Коэффициент серийности для токарной операции для мелких деталей

$$k_{сер} = a \cdot T_{п}^{-x}, \quad (37)$$

где  $T_{п}$  – время обработки партии заготовок, мин;

$a = 3,19$  - коэффициент и  $x = 0,219$  показатель степени.

Время

$$T_{п} = T_{шт} \cdot n_{п} + T_{п.з.}, \quad (38)$$

где  $n_{п}$  – партия заготовок, мин.

Время вспомогательное по программе

$$t_{в.оп} = a + b \sum X_o, Y_o, Z_o + cK + d \cdot l_{пл} + \alpha \cdot T_a, \quad (39)$$

где  $X_o, Y_o, Z_o$  – нулевые точки, мм;

$a, b, c, d, \alpha$  – параметры уравнения ( $a = 0,36, b=0,00125, c=0,04, d=0, \alpha= 0,04$ ).

Время контрольное

$$t_{контр} = \sum k D_{изм}^z \cdot L^u, \quad (40)$$

где  $k$  – коэффициент для измерения штангенциркулем  $k = 0,0187$  ,  
 для двухсторонней скобы  $k = 0,01$ . Если используется штангенциркуль то  
 показатели степени равны  $z=0,21$  и  $u=0,33$ , а если скоба, то  $z=0,2$  и  $u=0,267$ ;

$D_{\text{изм}}$  – диаметр контролируемой поверхности, мм;

$L^u$  - длина измеряемой поверхности, мм.

Время подготовительно-заключительное

$$T_{\text{п.з.}} = a + b \cdot n_n + c \cdot P_p + d \cdot P_{nn}, \quad (41)$$

где  $a, b, c, d$  – коэффициенты уравнения;

$P_p$  – число исходных режимов, устанавливаемых на станке (если  
 учитывать подачу и скорость, то два режима);

$P_{nn}$  – число размеров, набираемых на пульте управления станком  
 (считаем, что все перемещения инструмента даны в программе, и на пульте  
 не набирается ничего).

Для токарного станка с высотой центров свыше 200 мм  $a =$   
 $12,3, b = 1,3, c = 0,5, d = 0,4$ .

По таблице [14] время суммарное на обслуживание и отдых равно для  
 токарного станка с высотой центров меньше 400 мм

$$a_{\text{обсл}} + a_{\text{отд}} = 10\%. \quad (42)$$

Подача для токарной обработки с учетом размеров обрабатываемых  
 поверхностей

$$\begin{aligned} S_o &= k \cdot t^x \cdot D_{\text{наиб}}^y \cdot D_{\text{дет}}^z = \\ &= 0,15 \cdot 1,63^{-0,33} \cdot 30^{0,19} \cdot 19^{0,2} = 0,167 \text{ мм/об}, \end{aligned} \quad (43)$$

где  $D_{\text{наиб}}$  – наибольший из обрабатываемых диаметров, мм;

$D_{\text{дет}}$  – диаметр детали конечный, мм.

В таблице 9 приведены упрощенные формулы для расчета основного времени с учетом конструктивных параметров детали, а в таблице 10 наиболее вероятные режимы резания и соответствующее основное время

Таблица 9 - Формулы для расчета основного времени

Переход	Шероховатость, мкм	Квалитет	Теоретическая формула	Величина коэффициента
Черновая подрезка	40-20	-	$T_o = \frac{\pi D^2}{4000vS}$	$K = \frac{\pi}{4000vS}$
Чистовая подрезка	2,5-2,0	-	$T_o = \frac{\pi D^2}{4000vS}$	$K = \frac{\pi}{4000vS}$
Обтачивание черновое	80-40	14	$T_o = \frac{\pi D l}{1000vS}$	$K = \frac{\pi}{1000vS}$
Обтачивание чистовое	20-10	11	$T_o = \frac{\pi D l}{1000vS}$	$K = \frac{\pi}{1000vS}$
Шлифование черновое	20-2,5	11-9	$T_o = \frac{\pi D l h}{1000vS t} f$	$K = \frac{\pi h}{1000vS t} f$
Шлифование чистовое	1,25-0,63	6	$T_o = \frac{\pi D l h}{1000vS t} f$	$K = \frac{\pi h}{1000vS t} f$
Фрезерование паза	20-10	10	$T_o = \frac{l}{S_M}$	$T_o = \frac{1}{S_M}$
Сверление	40-10	13	$T_o = \frac{\pi}{1000vS}$	$K = \frac{\pi}{1000vS}$

На рисунке 13 приводятся варианты конструктивных особенностей валов, имеющих различные соотношения ступенчатости и размеров шеек. Детали могут иметь различные конструктивные особенности. Это соотношение диаметров шеек, количество ступенек, длина этих шеек (рисунок 13).



Таблица 10 – Наиболее вероятные режимы резания и соответствующее основное время

Переход	Наиболее вероятные величины	Расчетная формула наиболее вероятного времени
Черновая подрезка	$v=70$ м/мин; $S=0,05$ мм/об $K=0,0000224$	$T_0 = 0,0000224D^2$
Чистовая подрезка	$v=174,6$ м/мин; $S=0,41$ мм/об $K=0,000011$	$T_0 = 0,000011D^2$
Обтачивание черновое	$v=105$ м/мин; $S=0,4$ мм/об $K=0,000075$	$T_0 = 0,000075Dl$
Обтачивание чистовое	$v=120$ м/мин; $S=0,15$ мм/об $K=0,000175$	$T_0 = 0,000175Dl$
Шлифование черновое	$h=0,25$ мм; $v=24$ м/мин $t=0,024$ мм/дв.ход $S=14$ мм/об $f=1,2$ $K=0,00012$	$T_0 = 0,00012Dl$
Шлифование чистовое	$h=0,1$ мм; $v=30$ м/мин $t=0,008$ мм/дв.ход $S=10$ мм/об $f=1,4$ $K=0,000184$	$T_0 = 0,000184Dl$
Фрезерование паза	$S_M=208$ мм/об $K=0,00482$	$T_0 = 0,00482l$
Сверление	$v=22,4$ м/мин $S=0,25$ мм/об $K=0,00056$	$T_0 = 0,00056Dl$

На рисунке показаны варианты деталей с увеличивающимся коэффициентом использования материалов. Первая деталь типа борштанги с развитым фланцем. Вторая и третья детали это валы с различной степенью ступенчатости. Последняя деталь – типа шток. Коэффициент использования

деталей будет следующий (таблица) для примера. Размеры для примера приведены в таблице 11.

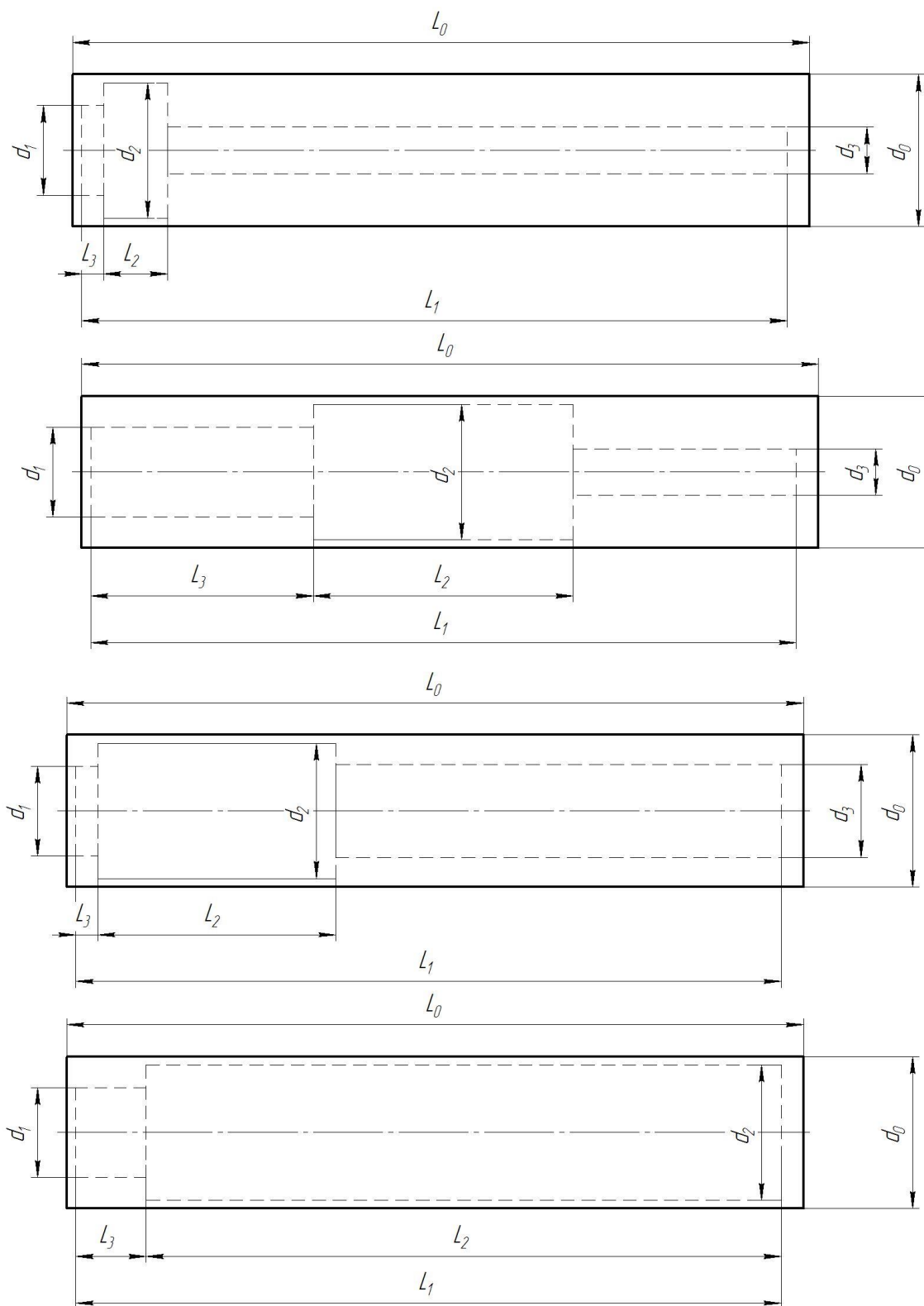


Рисунок 13 – Пример детали для расчетов основного времени с учетом конструктивных параметров

Таблица 11 – Размеры деталей по рисунку

Вариант	$d_1$	$l_1$	$d_2$	$l_2$	$d_3$	$l_3$	КИМ
1 тип	26	6	40	18	14	180	0,42/2,04
2 тип	26	64	40	65	14	75	0,998/2,04
3 тип	26	6	40	68	26	130	1,237/2,04
4 тип	26	20	40	184	-	-	1,897/2,04

Масса заготовки из проката 2,04 кг.

Коэффициенты использования материалов:

КИМ<sub>1</sub>=0,21;

КИМ<sub>2</sub>=0,49;

КИМ<sub>3</sub>=0,61;

КИМ<sub>4</sub>=0,93.

Время обработки на черновых режимах, рассчитанное по стандартным формулам для соответствующих деталей равно:

$$T_o = \frac{L}{nS_o} \cdot i; \quad (44)$$

где  $L$  – расчетная длина рабочего хода резца, мм;

$n$  – обороты шпинделя, об/мин;

$S_o$  – подача, мм/об;

$i$  – число ходов.

Последняя величина определяется КИМ. Чем меньше этот коэффициент, тем больше число ходов и основное время кратно возрастает. Для деталей из примера режимы стандартные  $v=105$  м/мин,  $S=0,4$ мм/об. Частота вращения по ступеням рассчитывается.

По упрощенной формуле основное время

$$T_o = 0,000075Dl. \quad (45)$$

Обороты заготовки в минуту по формуле:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{ об/мин.} \quad (46)$$

где  $D$  – диаметры шейки, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 104}{3,14 \cdot 26} = 1274, \text{ об/мин.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 104}{3,14 \cdot 40} = 828, \text{ об/мин.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 104}{3,14 \cdot 14} = 2366, \text{ об/мин.}$$

По числу оборотов шпинделя в минуту и подачи на один оборот шпинделя, определим минутную подачу:

$$S_{\text{мин}} = S_0 \cdot n, \quad (47)$$

$$S_{\text{мин}} = 0,4 \cdot 1274 = 510 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{\text{мин}} = 0,4 \cdot 828 = 331 \text{ мм/мин.}$$

$$S_{\text{мин}} = 0,4 \cdot 2366 = 946 \text{ мм/мин.}$$

Результаты расчета основного времени по участкам сведены в таблицу 13.

Таблица 13 - Основное время по участкам по вариантам деталей

Вариант	$l_1$	$T_0$	$l_2$	$T_0$	$l_3$	$T_0$	$\Sigma T_0$
1 тип	6	0,011	18	0,054	180	0,19	0,255
2 тип	64	0,13	65	0,196	75	0,079	
3 тип	6	0,011	68	0,205	130	0,137	
4 тип	20	0,039	184	0,56	-	-	

Учтем кратность проходов в зависимости от соотношения диаметров шеек. Между первой и второй шейками 7 мм на сторону и 2 прохода. Между третьей и второй – 14 мм и 5 проходов (таблица 14).

Таблица 14 – Время с учетом кратности проходов

Вариант	$k$	$T_0$	$\Sigma T_{01}$	$T_{02}$	$\Sigma T_{03}$	$T_{03}$	$\Sigma T_0$
1 тип	2/5	0,011	0,022	0,054	0,95	0,19	1,026
2 тип	2/5	0,13	0,26	0,196	0,395	0,079	0,851
3 тип	2/2	0,011	0,022	0,205	0,274	0,137	0,501
4 тип	2/-	0,039	0,078	0,56	-	-	0,638

Для иллюстрации зависимостей времени обработки от режимов резания приведены графики (рисунок 14-15), где показано, как влияют подача, частота вращения заготовки и конструктивные параметры вала.

Таблица 15 - Основные исходные параметры для расчета

Параметр	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3
Средний квалитет детали	6	8	10
Средняя шероховатость детали	1,25	3,2	6,3
Исходная точность заготовки (квалитет)	14	15	16
Коэффициент использования материала	0,5	0,75	0,9
Степень жесткости схемы установки	Низкая	Средняя	Высокая
Материал заготовки	Сталь 45	20ХНМА	-
Материал режущего инструмента	P6M5	T15K10	-

Таблица 16 - Размеры заготовки изменяются в диапазонах

Параметр	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$L_1$	$L_2$	$L_3$
Минимальный	10	30	10	25	25	25
Максимальный	150	200	150	500	500	500

Для расчета используется величина удельного съема материала для средних рекомендованных режимов резания (таблица 17). Зависимость основного времени от конструктивных параметров представлена на рисунках.

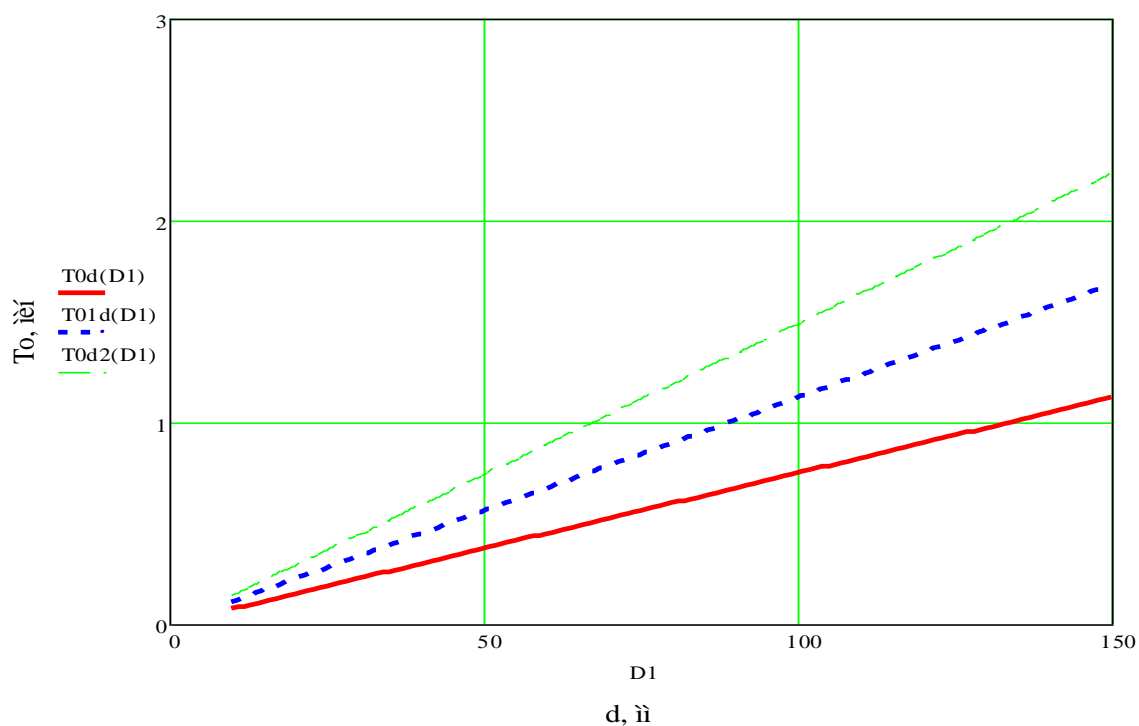


Рисунок 14 – Основное время обработки от конструктивных параметров вала - диаметра

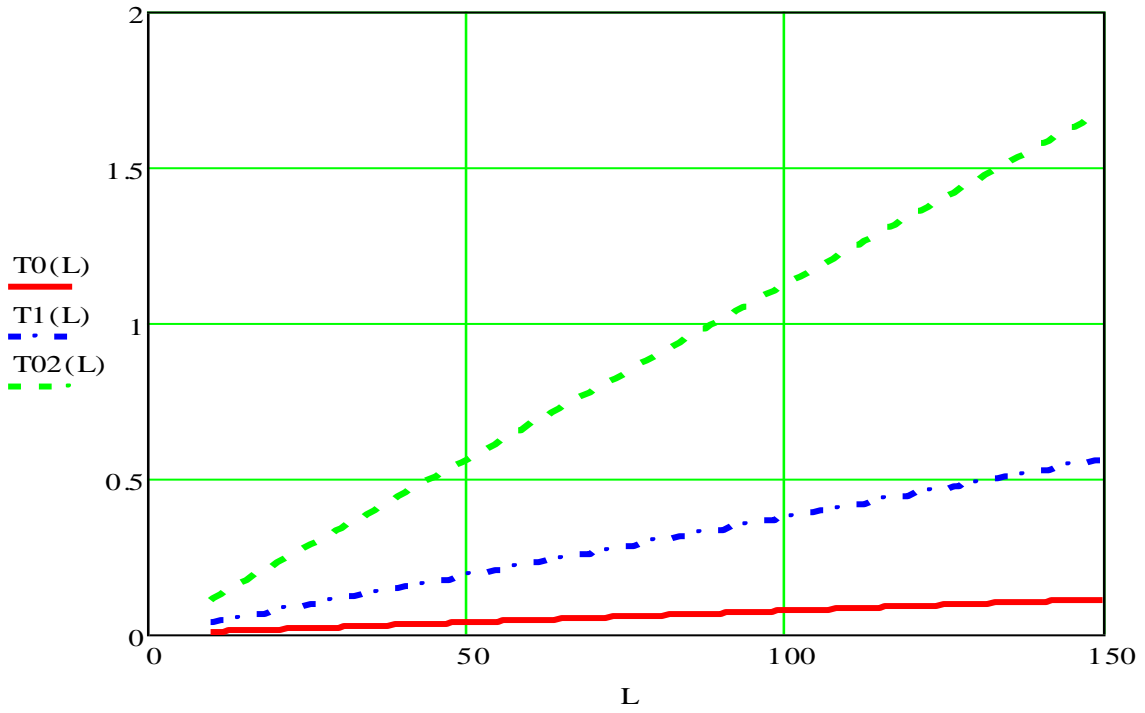


Рисунок 15 – Основное время обработки от конструктивных параметров вала  
- длины

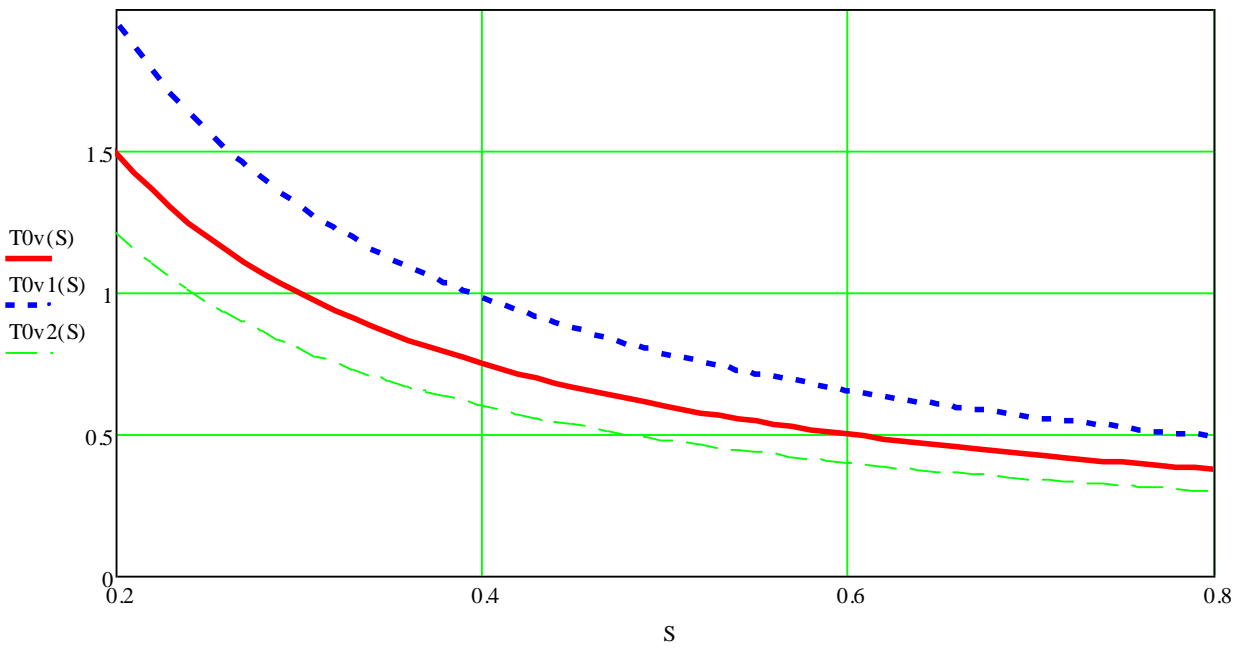


Рисунок 16 – Основное время обработки от режимов резания - подачи

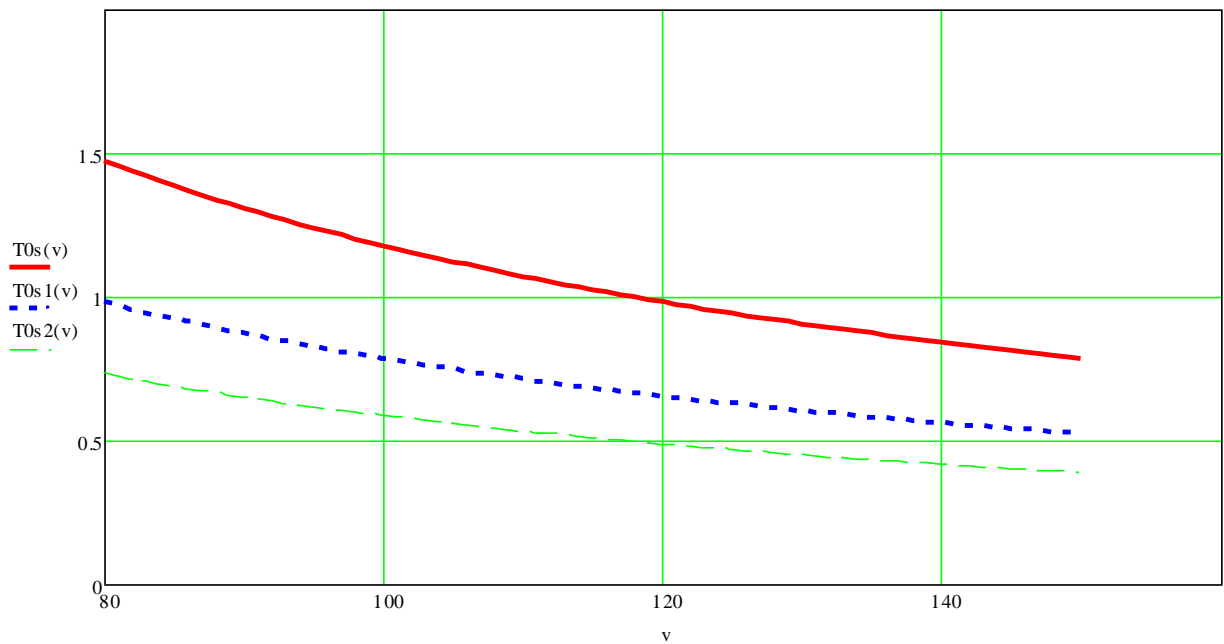


Рисунок 17 – Основное время обработки от режимов резания – скорости резания

Таблица 17 - Удельная производительность и время обработки (скорость удаления материала) по наиболее вероятным значениям режимов резания

Вариант	$t$	$S_o$	$S_{мин}$	$v$	$n$	$Q$	$T_o$	$d$	$l$
Сталь45/Р6М5	1	0,4	1337	105	3342	37,8	4,5	10	100
	1	0,4	1337	105	3342	37,8	8,98	10	200
	1	0,4	134	105	223	41,6	44,9	100	100
	1	0,4	89	105	223	41,72	2,14	150	200
	1	0,4	89	105	223	41,72	1,7	150	100
	2	0,4	89	105	223	82,88	1,7	150	100
	3	0,4	89	105	334	122,48	1,7	150	100
	3	0,4	134	105	334	122,22	48,88	100	100
	3	0,4	134	105	334	82,32	44,88	100	100
	0,5	0,15	573	120	3820	8,55	10,47	10	100
	0,5	0,15	573	120	3820	8,55	20,94	10	200
	0,5	0,15	57	120	382	8,96	1,44	100	100
	0,5	0,15	38	120	382	8,96	3,29	100	200
	0,5	0,15	38	120	255	8,97	5,14	150	200



Тогда окончательная таблица времен будет сформирована с учетом уровней влияющих факторов.

Если учесть разницу объемов материала заготовки и детали как объем снимаемой стружки и разделив на удельную производительность, то получим время обработки.

Получается если учитывать различные диаметры детали, то для них, из-за разной частоты вращения заготовки и, соответственно, минутной подачи, время обработки будет отличаться. Для всей детали принять какую-то среднюю минутную подачу, то будет погрешность. Например, для диаметров разница объемов показана для деталей из примера для четырех вариантов в таблице.

Таблица 18 – Основное время обработки по ступени 26 мм для каждой детали

$t$ , мм	$S_{минь}$ мм/мин	$v$ , м/мин	$Q$ , см <sup>3</sup> /мин	$T_0$ , мин $d_1/l_1$			
				26/6	26/64	26/6	26/20
0,5	509	105	20,06	0,21	2,11	0,21	0,72
1	509	105	38,64	0,112	1,1	0,112	0,38
1,5	509	105	58,8	0,078	0,76	0,078	0,26
2	509	105	76,8	0,061	0,6	0,061	0,2
2,5	509	105	94	0,051	0,5	0,51	0,17

Таблица 19 - Параметры обработки по ступени 26 мм для каждой детали

Вариант	$d_1$	$l_1$	$m$ , кг	$m_0$ , кг	$\Delta$ , кг	$V$ , см <sup>3</sup>
1 тип	26	6	0,025	0,0592	0,0342	4,36
2 тип	26	64	0,267	0,6	0,333	42,42
3 тип	26	6	0,025	0,0592	0,0342	4,36
4 тип	26	20	0,083	0,197	0,114	14,52

Таблица 20 – Основное время обработки по ступени 40 мм для каждой детали

$t$ , мм	$S_{минь}$ мм/мин	$v$ , м/мин	$Q$ , см <sup>3</sup> /мин	$T_0$ , мин $d_2/l_2$			
				40/18	40/65	40/68	40/184
0,5	331	105	20,54	0,054	0,2	0,21	0,56
1	331	105	40,56	0,054	0,2	0,21	0,56
1,5	331	105	60,06	0,054	0,2	0,21	0,56
2	331	105	79,04	0,054	0,2	0,21	0,56
2,5	331	105	97,5	0,054	0,2	0,21	0,56

Таблица 21 – Основное время обработки по ступени 40 мм для каждой детали

$t$ , мм	$S_{минь}$ мм/мин	$v$ , м/мин	$Q$ , см <sup>3</sup> /мин	$T_0$ , мин $d_3/l_3$		
				14/180	14/75	14/130
0,5	946	105	20,06	10,7	4,11	7
1	946	105	38,64	5,57	2,14	3,7
1,5	946	105	55,72	3,9	1,5	2,6
2	946	105	71,33	3	1,2	2
2,5	946	105	85,44	2,52	0,97	1,7

В результате сумма основных времен обработки по вариантам будет равна (смотри таблицы 23-27).

Таблица 22 - Параметры обработки по ступени 14 мм для каждой детали

Вариант	$d_l$	$l_l$	$m$ , кг	$m_0$ , кг	$\Delta$ , кг	$V$ , см <sup>3</sup>
1 тип	14	180	0,024	1,715	1,619	215,4
2 тип	14	75	0,091	0,739	0,648	82,54
3 тип	26	130	0,157	1,282	1,125	143,3

Время обработки зависит не только от параметров обработанной шейки – длины и диаметра, но и от величины напуска.

Таблица 23 - Основное время по вариантам

№	Размеры ступни, мм										
	26/6	40/18	14/180	14/75	14/130	40/65	40/68	40/184	26/64	26/6	26/20
1 тип	0,21	0,054	10,7	4,11	7	0,2	0,21	0,56	2,11	0,21	0,72
2 тип	0,112	0,054	5,57	2,14	3,7	0,2	0,21	0,56	1,1	0,112	0,38
3 тип	0,078	0,054	3,9	1,5	2,6	0,2	0,21	0,56	0,76	0,078	0,26
4 тип	0,061	0,054	3	1,2	2	0,2	0,21	0,56	0,6	0,061	0,2
5 тип	0,051	0,054	2,52	0,97	1,7	0,2	0,21	0,56	0,5	0,51	0,17

Таблица 24 - Основное время по вариантам –деталь 1

№	26/6	40/184	$T_0$ , мин
1 тип	0,21	0,56	0,77
2 тип	0,112	0,56	0,672
3 тип	0,078	0,56	0,64
4 тип	0,061	0,56	0,62
5 тип	0,051	0,56	0,61

Таблица 25 - Основное время по вариантам - деталь 2

№	26/6	14/180	26/64	$T_0$ , мин
1 тип	0,21	10,7	2,11	13,02
2 тип	0,112	5,57	1,1	6,8
3 тип	0,078	3,9	0,76	4,7
4 тип	0,061	3	0,6	3,6
5 тип	0,051	2,52	0,5	3,07

Таблица 26 - Основное время по вариантам - деталь 3

№	26/64	40/65	14/75	$T_0$ , мин
1	2	3	4	5

Продолжение таблицы 26

1	2	3	4	5
1 тип	2,11	0,2	4,11	6,42
2 тип	1,1	0,2	2,14	3,44
3 тип	0,76	0,2	1,5	2,46
4 тип	0,6	0,2	1,2	2
5 тип	0,5	0,2	0,97	1,67

Таблица 27 - Основное время по вариантам - деталь 5

№	26/64	40/68	14/130	$T_0$ , мин
1 тип	9,32	0,21	7	6,42
2 тип	1,1	0,21	3,7	5,01
3 тип	0,76	0,21	2,6	3,07
4 тип	0,6	0,21	2	2,81
5 тип	0,5	0,21	1,7	2,41

#### 4.6 Проектирование нейронной сети для прогнозирования времени

Для определения времени обработки на операции можно использовать искусственные нейронные сети. Это математический алгоритм, который после проведения обучения на специально подобранных данных, позволяет с высокой точностью аппроксимировать любые, сколь угодно сложные нелинейные зависимости.

Таблица 28 – Время по удельной производительности

КИМ	$M_c$ , кг	$Q_c$ , см <sup>3</sup> /мин	$Q_{c1}$ , кг/мин	$T_0$ , мин
1	2	3	4	5
0,42/2,04	1,62	55,72	0,43	3,76
0,998/2,04	1,042	58,8	0,46	2,27

Продолжение таблицы 28

1	2	3	4	5
1,237/2,04	0,81	60,06	0,47	1,72
1,897/2,04	0,143	60,06	0,47	0,3

В качестве входных параметров такой нейронной сети для определения времени обработки можно использовать числовые характеристики из конструкторской документации непосредственно детали. К ним можно отнести габаритные размеры заготовки, соотношение длины и диаметра, которые характеризуют ее жесткости. Можно использовать параметры заготовки в виде коэффициента использования материала. То есть, эта характеристика, которая определяет количество материала, которое необходимо удалить для того, чтобы получить готовую деталь. Это непосредственно отражается на времени обработки. К входным параметрам можно также отнести геометрические характеристики - точность, которая определяется качеством точности размеров. Совместно с этим параметром необходимо учитывать также шероховатость. В комплексе эти два параметра определяют количество проходов, переходов или операций, которые необходимы для достижения этих характеристик. Соответственно, чем точнее поверхность или качественнее в плане шероховатости, тем больше переходов и тем большее время обработки. Поэтому эти параметры также необходимо использовать как входные характеристики для определения времени.

В качестве дополнительных факторов можно использовать производственные параметры. Это, например, материал инструмента, который характеризуется его стойкостью, от которой зависит скорость обработки. А это уже непосредственно режим обработки, влияющий на основное время и, в конечном итоге, на штучное время изготовления детали.

Коэффициент использования материала совместно с особенностями выполнения операций в плане концентрации переходов, позволяет учесть потери на вспомогательное время и транспортные затраты.

Если использовать современные станки модульной компоновки, которые обеспечивают практически весь спектр механической обработки. Например, для валов это не только точение, растачивание или обработка резьбовым токарным инструментом, но и все виды фрезерных работ, обработка осевым инструментом. Причем поверхностей, которые требуют фиксации заготовки на станке, то есть радиальные, несоосные с осью заготовки. То есть в качестве входного параметра можно использовать степень универсальности оборудования.

В качестве выходных параметров можно использовать основное время, штучное время, непосредственно себестоимость обработки. Можно использовать несколько типов сетей для решения этих задач отдельно. Для обучения необходимо использовать данные, полученные расчетно - аналитическим путем. Лучше всего для этого, конечно, подходит использование исследовательского метода хронометража, составление так называемых «фотографий» рабочего времени. Но, данный способ очень трудоемкий, используется для конкретно заданной детали в условиях массового производства. Для мелкосерийного, тем более единичного производства, такой тип хронометража времени обработки не приемлем.

Можно использовать расчетно аналитический метод, то есть основное время мы считаем по формулам, которые получаем с учетом конструктивных параметров деталей и режимов резания, взятых из таблицы или расчетным путем. Получены дополнительные параметры таблично.

Сформировав обучающую выборку для нескольких деталей, получают данные для обучения выбранной нейронной сети. Для аппроксимации значений используются нейронные сети прямого или обратного распространения сигнала (рисунок ). Входными факторами являются вышеперечисленные параметры, которые поступают на первый

слой сети. После преобразования логистической функцией или линейной функции активации они со своими весовыми коэффициентами поступают на выходной слой, где используется линейная функция.

В процессе обучения происходит подгон параметров нейронов сети. К преобразованному функцией активации в каждом из нейронов сигналов добавляется так называемое смещение (*bias*), которое также подбирается в процессе обучения. Весовые коэффициенты, то есть множители, на которые усиливается выход каждого нейрона при подаче в следующий слой или на всем выходе в процессе обучения.

На вход подается известный набор данных, на выход - полученный экспериментально или аналитически результат. При возникновении рассогласования, ошибки, идет изменение параметров нейронной сети таким образом, чтобы эту ошибку минимизировать. Этот цикл производится многократно до тех пор, пока не будет произведено или заданное число циклов обучения или не получена величина ошибки меньше заранее заданной. После этого цикл обучения автоматически прерывается.

Для формирования обучающей выборки необходимо большое количество данных. Для приемлемого результата должно быть несколько десятков. В нашем случае в работе получено меньше 10, что для обучения нейронной сети не достаточно. Для этого необходимо использовать больше вариантов исходных заготовок и деталей, вариантов материалов. В этом случае сформированная нейронная сеть будет давать приемлемый результат в производственных условиях, но сама концепция применения нейронных сетей, описанная выше, обеспечивает заданный результат. Структура нейронной сети показана на рисунке 18.

Как уже сказано ранее, и рассмотрено в литературных обзорах, для оценки времени и затрат можно использовать искусственную нейронную сеть. Этот метод относится к методам машинного обучения [7, 32].

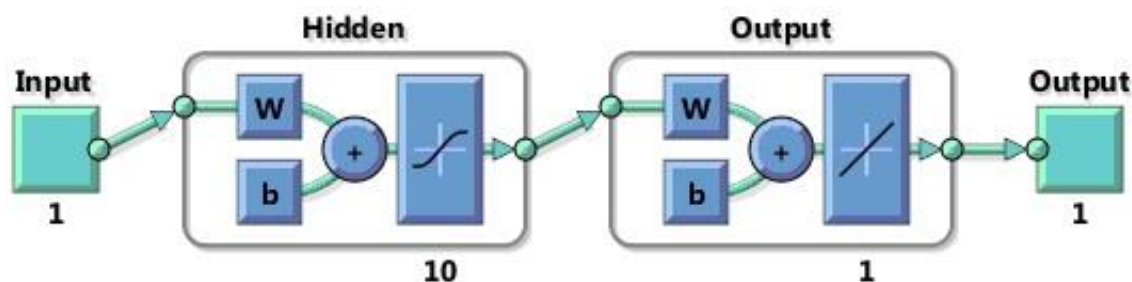


Рисунок 18 - Структура нейронной сети прямого распространения сигнала

Поскольку в данном случае решается задача регрессионного анализа, используют сеть прямого распространения сигнала. Количество слоев сети выбирается равное двум (рисунок 19). Количество нейронов в первом слое – 10, в выходном – 1. Функции активации в первом слое – логистические, в выходном - линейная. Метод обучения Маркварта - Левенберга. Количество циклов обучения - 1000. Количество входов определяется числом конструктивных параметров.

К ним относятся средний диаметр детали, соотношение длины к диаметру, коэффициент использования материала, который учитывает конфигурацию заготовки. В качестве дополнительного фактора можно использовать материал заготовки. Выходом является норма штучного времени. Полученные при аналитическом расчете данные используются как обучающая выборка.

Результаты обучения нейронной сети показаны на рисунке 19.

Погрешность при этом достигает 20%. При увеличении объема обучающей выборки данная погрешность будет снижаться. Увеличивая количество входных факторов, мы расширяем технологические возможности по использованию данной сети для деталей других типоразмеров, конфигурации, даже других классов.

С точки зрения улучшения результатов можно варьировать количество слоев, количество нейронов, менять функция активации.



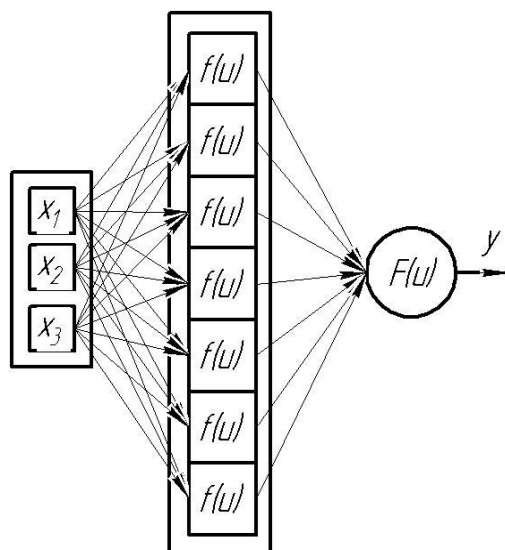


Рисунок 19 – Структура нейронной сети

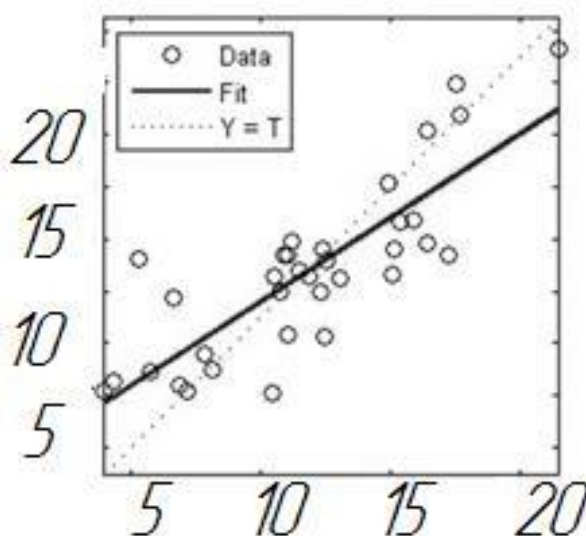


Рисунок 20 – Диаграмма ошибок

Все эти подходы позволяют повысить точность моделирования разработанной искусственной нейронной сетью.

### Выводы по разделу:

В четвертом разделе выполнено моделирование по определению нормы времени для токарной операции обработки валов. Для этого выбрано несколько модификаций конструкции ступенчатого вала, которые

отличаются количеством ступеней, их протяженностью, перепадами диаметров, а также соотношением длины к диаметру, который определяет конструктивную жесткость заготовки.

Для данных исходных условий был подготовлен набор конструктивных параметров, который включает в себя указания не только габаритных размеров, но и остальных требований по точности и качеству, что определяет наличие определенного количества переходов.

Для нескольких вариантов исходных данных был проведен расчет основного времени с использованием объемной производительности - количества материала удаляемого в единицу времени. Эта объемная производительность в расчете уточнялась по характеру обработки. Для черновой и чистовой она отличается.

Также данные параметры конкретизируются с учетом жесткости технологической системы, показателем которой выбиралось отношение длины к диаметру исходной заготовки. Для менее жесткой заготовки объемная производительность корректировалась в меньшую сторону.

Еще одним ключевым исходным параметром, который сильно влияет на время обработки, является конфигурация исходной заготовки. Если заготовка имеет большие напуски, количество проходов кратно растет, что приводит к соответствующему увеличению времени обработки. Это учитывается в расчетах при помощи параметра объемная производительность.

Полученные результаты сравнивались с данными, которые получили при расчете стандартным аналитическим методом с использованием табличных данных. Сравнение показало, что использование объемной производительности обеспечивает достаточно высокий уровень точности. Погрешность составляет не более 10%.

Полученные данные использовались как набор входных параметров для обучения искусственной нейронной сети. В качестве такой сети выбрана сеть прямого распространения сигнала, которая обучается алгоритмом

Маркварта-Левенберга. Количество операций при обучении составляло 1000 циклов. Погрешность обучение данной сети не превышала 7%.

Развитием данной системы является расширение этого подхода на другие операции механической обработки: фрезерование, шлифование, обработку осевым инструментом (сверление, зенкерование, развертывание, нарезание резьбы). Объединяя в рамках одной экспертной системы несколько таких сетей для соответствующих методов обработки, создают эффективную рабочую методику для проектировщиков для предварительной оценки времени и стоимости обработки конкретной детали типа вал.

Предложенная методика является эффективным средством первоначальной оценки технико-экономических параметров проектируемого технологического процесса, которые получаются еще до начала собственно его проектирования.

## Заключение

Магистерская диссертация посвящена разработке упрощенной методики определения машинного времени и технологической себестоимости. В условиях массовой кастомизации производства, то есть изготовления продукции по заказу, с учетом индивидуальных требований заказчика, необходимо обеспечивать более эффективное проектирование изделий машиностроения. Одним из ключевых моментов этого проектирования является определение трудоемкости и себестоимости изготовления продукции. Эти параметры могут определяться на разных этапах проектирования технологического процесса изготовления изделий. На ранней стадии проектирования они могут помочь согласовать требования с заказчиком. В дальнейшем они могут быть использованы для оптимизации технологического процесса. При детальном, подробном проектировании технологии эти параметры, конечно, будут уточняться. Но для начальной стадии проектирования, необходимо быстро сориентироваться по нескольким базовым характеристикам изделия, которые относятся к конструкторским особенностям. Вся исходная информация представлена в рабочем чертеже детали. Это конструктивные параметры, материал детали, требования по точности и шероховатости. Дополнительной информацией для определения трудоемкости и себестоимости является база данных по оборудованию и оснащению производства. Методика определения указанных параметров включает два различных этапа. Один из них использует искусственную нейронную сеть, на вход которой загружаются известные данные из чертежа и из производственных каталогов. На выходе получаем расчетные параметры. Второй способ использует упрощенную методику расчета времени на основе понятия объемная производительность или скорость снятия стружки. В отличие от известных методов данный параметр конкретизируется и уточняется с учетом этапов обработки. Это позволяет

уже на предварительной стадии сделать более обоснованный расчет. По разделам выводы следующие:

В первом разделе выполнен обзор основных понятий, связанных с проектированием технологического процесса в плане расчета стоимости на основе определения норм времени. Рассмотрены различные виды затрат, возникающих в ходе технологического процесса обработки деталей. Сделан обзор основных методов расчета данных затрат.

Во втором разделе выполнен обзор видов и способов использования искусственных нейронных сетей. Рассмотрены особенности архитектуры нейронных сетей, которые заключаются в выборе количества слоев, числа нейронов в каждом слое. Выходом сети должно быть штучное время обработки детали.

В третьем разделе рассмотрены определение комплексных затрат на всю технологию изготовления изделия, включая затраты на изготовление отдельных деталей, их сборку и испытания. В данную методику входит учет затрат и временных, и материальных, и трудовых.

В четвертом разделе выполнено моделирование по определению нормы времени для токарной операции обработки валов. Для этого выбрано несколько модификаций конструкции ступенчатого вала, которые отличаются количеством ступеней, их протяженностью, перепадами диаметров, а также соотношением длины к диаметру, который определяет конструктивную жесткость заготовки. Для данных исходных условий был подготовлен набор конструктивных параметров, который включает в себя указания не только габаритных размеров, но и остальных требований по точности и качеству, что определяет наличие определенного количества переходов. Для нескольких вариантов исходных данных был проведен расчет. Для нескольких вариантов исходных данных был проведен расчет основного времени с использованием объемной производительности - количества материала удаляемого в единицу времени. Выполнение моделирование основного времени при помощи нейронной сети.

## Список используемой литературы

1. Воеводина, Е.И., Бурыкин, А.Д. Аналитический метод нормирования труда / Вестник научных конференций. 2019. № 10-5 (14). С. 35-37.
2. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей [Текст] : учеб. пособие по направлению "Прикладные математика и физика" / А. И. Галушкин. - Москва : Радиотехника, 2000. - 415 с. : ил. - (Нейрокомпьютеры и их применение ; кн. 1). - Федер. целевая прогр. "Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундамент. науки на 1997-2000 годы".
3. Жулавская, А. Е. Благоприятные условия труда как составляющие организации труда современного предприятия // Молодой ученый. — 2019. — №11. — С. 740-742.
4. Зензера, С. А. Проблемы организации, мотивации и нормирования труда на российских предприятиях // Молодой ученый. — 2018. — №10. — С. 669-672.
5. Кадаев, С.Б. Нормирование труда в современных условиях / Век качества. 2019. № 1. С. 28-29.
6. Казанцева, А.К. Нормирование труда как способ оптимизации затрат на персонал / Экономика, социология и право. 2019. № 1. С. 30-32.
7. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети [Текст] : теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. - 2-е изд. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2002. - 382 с. : ил. - Библиогр.: с. 377-378. - ISBN 5-93517-031-0 : 123-30.
8. Конюкова, Н. И. Регламентация и нормирование труда : учеб. пособие / Н. И. Конюкова, А. Е. Бойко; РАНХиГС, Сиб. ин-т упр. — Новосибирск: Изд-во СибАГС, 2017. — 158 с.
9. Компьютерные технологии вычислений в математическом моделировании [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. В. Васильков, Н. Н. Василькова. - Гриф МО. - Москва : Финансы и статистика, 2002. - 255 с. : ил.

- Библиогр.: с. 247-248. - Предм. указ.: с. 249-251. - ISBN 5-279-02098-2 : 40-91.

10. Косенко, Т.Г. Факторы совершенствования организации труда на предприятии / Вестник Калужского университета. 2019. № 3 (32). С. 58-61.

11.

12. Кузьминов, А. Н., Крутиков, В. В. Концептуальные основы нормирования труда в современных условиях // Экономика, управление, финансы: материалы VII Междунар. науч. конф. (г. Краснодар, февраль 2017 г.). — Краснодар: Новация, 2017. — С. 87-89.

13. Литовченко, Н.Н., Поллак, А.П. Основные функции и принципы нормирования труда в современных условиях / Н.Н. Литовченко, А.П. Поллак // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2019. № 4 (51). С. 113-122.

14. Макаренко М. В. Производственный менеджмент [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. В. Макаренко, О. М. Махалина. - Москва : ПРИОР, 1998. - 383 с. - Библиогр.: с. 375-377. - ISBN 5-7990-0104-4 : 43-64.

15. Машиностроение [Текст] : энциклопедия. В 40 т. Разд. 3. Технология производства машин. Т. III-3. Технология изготовления деталей машин / А. М. Дальский [и др.] ; ред. совет: К. В. Фролов (пред.) [и др.] ; ред.-сост. А. Г. Суслов ; отв. ред. П. Н. Белянин ; ред. тома А. М. Дальский [и др.]. - Москва : Машиностроение, 2002. - 839 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 832-839. - ISBN 5-217-01958-1 : 636-45.

16. Михайлов А. В. Технологические основы обеспечения качества изготовления деталей в машиностроении [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. В. Михайлов, О. И. Драчев, А. Г. Схиртладзе ; Министерство образования РФ ; ТГУ. - Гриф УМО. - Тольятти : ТГУ, 2004. - 164 с. : ил. - Библиогр.: с. 162-164. - ISBN 5-8259-0191-4 : 81-58. Мудревский, А.Ю., Бурькин, А.Д. Опыт – статистические методы нормирования труда / Вестник научных конференций. 2019. № 10-5 (14). С. 111-113.

17. Набиева, Л.Г. Методы нормирования труда административно – управленческого персонала / Вестник экономики, права и социологии. 2018. № 4. С. 71-73.
18. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации [Текст] = Sieci neuronowe do przetwarzania informacji / С. Осовский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. - Москва : Финансы и статистика, 2002. - 343 с. : ил. - Библиогр.: с. 330-339. - Предм. указ.: с. 340-343. - ISBN 5-279-02567-4 : 162-40.
19. Панченко, А.Ю. Обоснование и оптимизация норм труда как фактор оценки эффективности трудовых процессов / Наука и бизнес: пути развития. 2019. № 11. С. 50-53.
20. Подсумиова, Л. А. Особенности нормирования труда управленческого персонала в инновационной экономике / Инновационная деятельность. 2018. № 2. С. 18-23.
21. Позолотина, Е.И. Сравнение методов нормирования труда / Human Progress. 2015. Т. 1. № 1. С. 48-59.
22. Рофе А. И. Организация и нормирование труда [Текст] : учеб. для вузов / А. И. Рофе. - Москва : МИК, 2001. - 366 с. : ил. - Библиогр.: с. 359-361. - Список имен: с. 356-358 . - ISBN 5-87902-102-5 : 80-02.
23. Скляревская, В.А. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: Учебник / В.А.Скляревская – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2017. – 340 с.
24. Суслов А. Г. Технология машиностроения [Текст] : учеб. для вузов / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. - Москва : Машиностроение, 2007. - 429 с. : ил. - (Для вузов). - Библиогр.: с. 424-425. - ISBN 978-5-217-03371-3 : 668-18.
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2018) [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения 09.02.2018)



26. Тубольцева, А.И. Вопросы организации труда на предприятии / Политика, экономика и инновации. 2019. № 4 (6). С. 11.
27. Хабирова, А. И., Рабцевич, А. А. Влияние нормирования труда и трудового законодательства на организацию рабочего времени персонала предприятий // Молодой ученый. — 2018. — №5. — С. 402-404.
28. Цыганкова, И.В., Миядин, А.Н. Нормирование труда управленческого персонала / Российское предпринимательство. 2018. № 3-2. С. 175-180.
29. Шанк Д. Стратегическое управление затратами : новые методы увеличения конкурентоспособности [Текст] = Strategic cost management : The new tool for competitive advantage / Д. Шанк, В. Говиндараджан ; пер. с англ. Е. П. Бугаевой. - Санкт-Петербург : Бизнес Микро, 1999. - 278 с. : ил. - ISBN 5-93594-001-0-9 : 133-64.
30. Чейз Р. Б. Производственный и операционный менеджмент [Текст] = Production and Operations Management : [учеб. пособие] / Р. Б. Чейз, Эквилайн Н. Дж., Р. Ф. Якобс ; пер. с англ. О. И. Медведь [и др.] ; под ред. Н. А. Коржа . - 8-е изд. - Москва : Изд. дом "Вильямс", 2001. - 691 с. : ил. + CD. - Библиогр.: с. 656. - Прил.: с. 657-687. - Предм. указ.: с. 688-691. - ISBN 5-8459-0157-X. - ISBN 0-07-115222-9 (англ.). - 126-82. - 150-00.
31. Asiedu, Y. and Besant, R. W. (2000) Simulation-based cost estimation under economic uncertainty using kernel estimators. *International Journal of Production Research*, 38(9), 2023-2035
32. Ben-Arieh, D. (2000) Cost estimation system for machined parts. *International Journal of Production Research*, 38(17), 4481-4494
33. Bode, J., 1998, Neutral networks for cost estimation, *Journal of Cost Engineering*, 40, 25–30.
34. Bouaziz, Z., Ben Younes, J. & Zghal, A. Cost estimation system of dies manufacturing based on the complex machining features. *Int J Adv Manuf Technol* 28, 262–271 (2006). <https://doi.org/10.1007/s00170-004-2179-3>.

35. Casey, J., 1987, Digitizing speeds cost estimating, *American Machinist and Automated Manufacturing*, 131(1), 71–73.
36. Castagne, S., Curran, R., Rothwell, A., Price, M., Benard, E., Raghunathan, S., 2008, A generic tool for cost estimating in aircraft design, *Res Eng. Design*, 18(4), 149–162, DOI: 10.1007/s00163-007-0042-x.
37. Cawthorne-Nugent, M., Vieira J. D. L. and Watson, P. A., 1989, An intelligent knowledge-based system for cost estimating in the make-to-order environment, *Computer-Aided Engineering*, 6(4), 121–127.
38. Geiger, T. S. and Dilts, D. M., 1997, Automated design to cost: integrating costing into design decision, *Journal of Computer Aided Design*, 29(6/7), 423–438.
39. Goldberg, J., 1987, Rating cost-estimating software, *Manufacturing Engineering*, 98(2), 37–41.
40. Horvath, P., Niemand, S. and Wolbold, M., 1994, Target costing: state of the art review. *Manufacturing Competitive Frontiers*, 18(3), 30–40.
41. Roberts, C., Hubele, N., Henderson, M. and Stage, R. (1997) Manufacturing evaluation using resource-based, template-free features. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 8(10), 323-331
42. Satoshi Nagahara, Youichi Nonaka, Product-specific Process Time Estimation from Incomplete Point of Production Data for Mass Customization//*Procedia CIRP*, Volume 67, 2018, Pages 558-562, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.12.260>
43. Ju, B. and Xi, L.F., 2008, A product cost estimation for the early design of sedans using neural networks. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 8(3), 331–349.
44. Jung, J. Manufacturing cost estimation for machined parts based on manufacturing features. *Journal of Intelligent Manufacturing* 13, 227–238 (2002). <https://doi.org/10.1023/A:1016092808320>

45. Zhang, Y. F. and Fuh, J. Y. H. (1998) A neural network approach for early cost estimation of packaging products. *Computers and Industrial Engineering*, 34(2), 433-450

46. Xie S., Tu Y. (2011) Cost Estimation and Optimisation Framework for Rapid Product Development. In: *Rapid One-of-a-kind Product Development*. Springer, London