

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.
Ломоносова»**

**Институт судостроения и морской арктической техники
(Севмашвуз)**

(наименование института)

Коньшина Дарья Владимировна

(ФИО обучающегося)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

(код и наименование направления подготовки / специальности)

**Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительного
производства**

(наименование направленности образовательной программы (название магистерской
программы))

Исследование надежности технологических процессов

(тема ВКР)

Утверждена приказом от сентября 2017 г. № 2

Руководитель ВКР	_____	_____	Худяков М.П., доцент, к.т.н.
Консультанты ²	_____	_____	_____
Рецензент ²	_____	_____	_____
Нормоконтроль	_____	_____	Худяков М.П., доцент, к.т.н.
Руководитель ОПОП	_____	_____	Е.В. Фомин, зав. кафедрой, доцент, к.т.н.
	(дата)	(подпись)	(ФИО, должность/ степень/ звание)

Постановление ГЭК от «1» июля 2019 г.
Признать, что обучающийся Д.В. Коньшина

(
 -
 а
 я
 с
 я
)

 (инициалы, фамилия)

выполнил(-а) и защитил(-а) ВКР с
отметкой

 (отметка прописью)

Председатель
ГЭК

(подпись)

Секретарь ГЭК

(инициалы, фамилия)

 фамилия)

 (подпись)

Северодвинск 2019

федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.
Ломоносова»**

**Институт судостроения и морской арктической техники
(Севмашвтуз)**

(наименование высшей школы / филиала / института)

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств

код и наименование направления подготовки / специальности

Тема ВКР: Исследование надежности технологических
процессов

Утверждена
протоколом заседания кафедры от « 27 » сентября 2017 г. № 2

Обучающемуся (-ейся):

Коньшиной Дарье Владимировне

(ФИО)

Курс: 2 Группа: 521737

Срок сдачи обучающимся законченной работы « 30 » июня 2019 г.

Исходные данные к
работе

1. Заводская технология изготовления изделия «Стержень»;
2. Производственные условия (серийность, применяемое оборудование).

Основные разделы работы с указанием вопросов, подлежащих рассмотрению:

1. Во введении описать актуальность выбранной темы исследования.

2. В общей части диссертации выполнить анализ состояния проблемы, сформулировать цель и задачи исследования, разработать план исследования.

3. В исследовательской части диссертации:

- разработать методику исследования в общем виде, обосновать выбор методов исследования;

- осуществить исследование надежности технологического процесса изготовления изделия «Стержень»;

- сформулировать и обосновать предложения по регулированию надежности технологического процесса.

4. В технологической и проектно-конструкторской части диссертации, на основе предложений из предыдущей части, выполнить необходимые расчеты и задокументировать их.

5. В заключении привести итоги выполнения поставленных во введении задач, общие выводы о результатах выполненной работы.

База проведения исследований Лаборатория института.

Перечень обязательных приложений к работе: Чертеж изделия «Стержень»,

Перечень графического материала (формат А1)

1 сравнительная характеристика методов расчета надежности (А1)

2 чертеж изделия «Стержень» (А3)

3 Последовательность механической обработки изделия «Стержень» (А1)

4 Чертеж резца фасонного (А3)

5 Технологический эскиз механической обработки изделия «Стержень» (А1)

6 Структурная схема методики расчета надежности технологических процессов (А1)

7 Экономические показатели технологических процессов изготовления изделия «Стержень»

Консультанты по работе

по разделу	технологический	Доцент, к.т.н.	М.П. Худяков
------------	-----------------	-------------------	--------------

по разделу	экономический	Доцент, к.т.н.	М.П. Худяков
------------	---------------	-------------------	--------------

по разделу

Дата выдачи задания « 8 » апреля 2019 г.

Руководитель ВКР _____ М.П. Худяков
(подпись) (инициалы, фамилия)

Задание принял к исполнению « ___ » _____ 20 ____ г.

Обучающийся (-аяся) _____ Д.В. Коньшина
фамилия) (подпись) (инициалы,

АННОТАЦИЯ

Исследование надежности технологических процессов.

Актуальность темы заключается в том, что отсутствует формализованная методика выбора и определения контрольных и испытательных процедур и операций в индивидуальном технологическом процессе изготовления машиностроительного изделия.

Цель работы - создание методики оценки надежности технологических процессов.

На основе выполненного анализа литературы выбрана модель надежности и метод оценки надежности технологических процессов. Предложена методика оценки надежности индивидуального технологического процесса. Выполнены расчеты надежности выполнения функции обеспечения постоянного выпуска изделий базовым и усовершенствованным технологическими процессами. Проведены мероприятия по повышению надежности технологических процессов путем введения контрольных операций.

Реализация методики позволит формализовать структуру ввода контрольных и испытательных операций, их объем и количество. По сравнению с работами по данной тематике в выпускной работе надежность ТП рассматривается отдельно от надежности производственного процесса и технологической системы.

Оценка технико-экономического эффекта для усовершенствованного технологического процесса с наиболее высоким уровнем надежности функционирования показала, что его себестоимость составит 350573,27 руб., трудоемкость - 5489,34 ч,

что на 79,88% меньше, чем для базового технологического процесса.

ОГЛАВЛЕНИ

Е

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	6
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	7
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	10
1.1 Характеристика надежности технологического процесса.....	10
1.2 Характеристика оценки надежности технологического процесса. Современное состояние.....	12
1.2.1 Оценка надежности технологического процесса как субъекта технологической системы.....	14
1.3 Обоснование создание методики оценки надежности технологических процессов.....	15
1.4 Обзор методов расчета надежности технологических процессов.....	17
1.4.1 Метод структурных схем.....	17
1.4.3 Схемно-функциональный метод.....	20
1.4.4 Матричный метод.....	21
1.4.5 Метод графов.....	22
1.3 Сравнительный анализ методов расчета и моделирования надежности ТП.....	23
2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	27
2.1 Анализ конструктивно-технологических особенностей детали «Стержень».....	27
2.2 Анализ материала изделия «Стержень».....	29
2.2 Определение типа производства.....	30
2.3 Определение методов обработки.....	30
2.4 Выбор технологических баз.....	31
2.5 Разработка маршрутного технологического процесса изготовления изделия «Стержень».....	31

2.6	Разработка операционной технологии изготовления изделия «Стержень».....	32
2.6.1	Выбор технологического оборудования.....	32
2.6.2	Выбор станочных приспособлений.....	34
2.6.3	Выбор режущего и вспомогательного инструмента.....	34
2.6.3.1	Проектирование фасонного резца.....	36
2.6.4	Выбор контрольно-измерительного инструмента.....	38
2.6.5	Выбор схемы построения операции.....	39
2.6.6	Определение режимов резания и нормирование переходов	40
3	МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	43
3.1	Разработка методики оценки надежности технологического процесса.....	43
3.2	Применение методики оценки надежности на примере технологического процесса изготовления изделия «Стержень».....	46
3.2	Оценка надежности технологического процесса при введении контрольных и испытательных операций.....	49
4	РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ «СТЕРЖЕНЬ».....	53
4.1	Расчет численности персонала и количества технологического оборудования.....	53
4.2	Расчет себестоимости изготовления изделия.....	56
4.2.1	Расчет затрат на основные материалы.....	57
4.2.2	Расчет заработной платы персонала и отчислений в фонды	58
4.2.3	Расчет расходов на энергоресурсы.....	60
4.2.4	Расчет амортизационных отчислений.....	61
4.2.5	Расчет расходов на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования.....	62
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ВЫВОДЫ.....	64

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Чертеж изделия «Стержень».....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Последовательность механической обработки изделия «Стержень».....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Резец фасонный.....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) Технологический эскиз операции механической обработки изделия «Стержень».....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное) Структурная схема методики оценки надежности технологических процессов.....	74

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем текстовом документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования.

ГОСТ ISO 9001-2011 Системы менеджмента качества. Требования.

ГОСТ 1050-2013Metalлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия (с Поправкой).

ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением N 1).

ГОСТ 166-89 (СТ СЭВ 704-77 - СТ СЭВ 707-77; СТ СЭВ 1309-78, ИСО 3599-76) Штангенциркули. Технические условия (с Изменениями N 1, 2)

ГОСТ 2590-2006 Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент.

ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения.

ГОСТ 27.202-83 Надежность в технике (ССНТ). Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем текстовом документе применяются следующие определения, обозначения и сокращения:

ГОСТ – государственной стандарт.

ИТР – инженерно-технические работники.

КД – конструкторская документация.

МОП – младший обслуживающий персонал.

РСЭО – ремонт содержание и эксплуатация оборудования.

СМК – система менеджмента качества.

СМП – сменная многогранная пластина.

ССНТ – система стандартов «Надежность в технике».

СЧПУ – станок с числовым программным управлением.

ТО – технологическая операция.

ОЗП – основная заработная плата.

СТО – средство технологического оснащения.

ТП – технологический процесс.

ТС – технологическая система.

ЧПУ – числовое программное управление.

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования надежности технологических процессов (далее – ТП) заключается в том, что с течением времени надежность ТП понижается. Для повышения надежности проводятся специальные мероприятия: в состав ТП вводят контрольные и испытательные процедуры и операции. В настоящее время такой способ повышения надежности ТП недостаточно эффективен и имеет следующие недостатки:

- количество операций контроля и испытаний, их объем, выбор методов и методик определяется на основании опыта технолога или нормативной документации;

- структура и содержание контроля и испытаний в действующий руководящих технологических документах недостаточно формализованы;

- включение операций контроля и испытаний ориентировано на обобщенные группы ТП.

Объектом исследования является ТП изготовления машиностроительного изделия, предметом – надежность данного ТП.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка модели и расчетной методики оценки надежности ТП.

Основными задачами являются:

- проведение обзора методов расчета надежности ТП;
- выбор метода моделирования и расчета надежности;
- проектирование ТП изготовления машиностроительного изделия;

- проверка методики на примере базового и спроектированного ТП изготовления машиностроительного изделия.

Каждая технологическая операция (далее – ТО) уменьшает надежность ТП. Для обеспечения качества изделия значение надежности должно находиться в заданном интервале, что достигается вводом в ТП контрольных операций. Однако порядок включения данных операций имеет недостатки, что является основанием для разработки методики оценки надежности ТП. В работе предлагается проводить оценку надежности, используя схемно-функциональный метод расчета надежности ТП.

Исследование в работе проведено теоретическим путем посредством классификации, синтеза и анализа имеющейся информации.

Выпускная работа состоит из двух частей:

- пояснительной записки.

В пояснительной записке приведены методы расчета и моделирования надежности ТП, методика оценки надежности, спроектированный ТП, а также технико-экономическое обоснование проекта;

- графической части

В графической части приведены чертежи и схемы.

1 НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Характеристика надежности технологического процесса

Ввиду того, что термин «Надежность технологического процесса» не закреплен в нормативных документах, введем его определение. Под надежностью ТП следует понимать способность сохранять заданный уровень вероятности того, что выпуск изделия по данному ТП произведен в заданном объеме с сохранением во времени показателей качества изделия, а также вероятности того, что изделие соответствует требованиям конструкторской документации (далее – КД) на него.

ТП является важной составляющей производственного процесса, его подсистемой. Одним из показателей, характеризующим качество продукции является его надёжность. Показатели надежности в технике входят в номенклатуру нормируемых показателей качества (согласно ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения) [1]. Таким образом, качество выпускаемой продукции напрямую зависит от ТП ее изготовления.

ТП оказывает прямое действие на показатели надежности выходного продукта. При увеличении количества технологических операций и переходов надежность ТП постепенно уменьшается, так как каждое технологическое воздействие вносит в ТП дополнительную вероятность брака. Однако введение контрольных и испытательных операций позволяет повысить уровень надежности ТП.

График изменения надежности ТП при введении операций контроля представлен на рисунке 1.1.

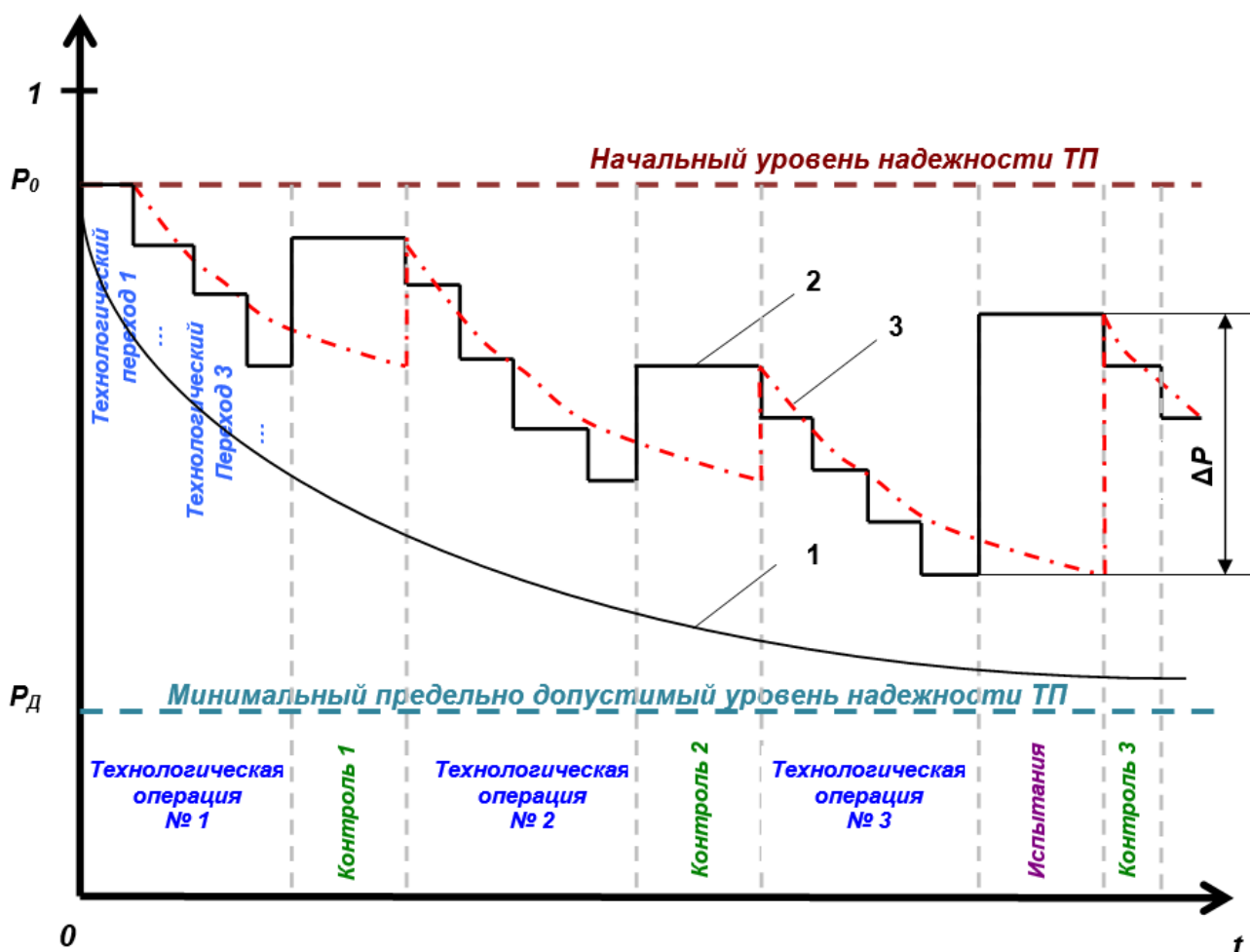
Если ТП не контролируется, то изменение надежности $P(t)$ происходит по экспоненциальному закону (кривая 1):

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.1)$$

где λ - интенсивность отказов ТП.

Примечание: Под отказом ТП можно понимать событие, изменяющее качество изделия и приводящее к несоответствию КД на него.

ТП является дискретным, так как процесс изготовления изделия состоит из соединенных в последовательную цепь этапов (технологических операций - далее ТО), которые, в свою очередь, разбиваются на подэтапы (технологические переходы). График изменения надежности реального ТП, имеющего дискретный характер, может быть представлен в виде кривой 2. График функции надежности может также быть представлен в виде интегральной кривой (кривая 3).



1 - изменение надежности при отсутствии контроля; 2 - дискретная функция надежности ТП; 3 - интегральная функция надежности ТП

Рисунок 1.1 - График изменения надежности ТП

При осуществлении контрольных и испытательных операций происходит увеличение надежности ТП (ΔP).

Прирост надежности ΔP определяется глубиной, полнотой и достоверностью контроля. В идеальном случае контроля и/или испытаний надежность ТП будет равна начальному уровню надежности P_0 . На практике не удастся выявить и устранить все дефекты изделия, поэтому $\Delta P < P_0$ [2].

Из рисунка 1.1 видно, что время обеспечения надежности ТП $P(t)$ в заданном диапазоне от начального уровня надежности до минимального предельно допустимого уровня надежности $[P_d; P_0]$ в случае проведения контроля и испытаний превышает соответствующее время без проведения контроля.

Следовательно, создание и применение правильной, формализованной методики введения в состав ТП операций контроля и испытаний с последующим устранением критических отказов ТП позволит обеспечить управление уровнем его надежности.

1.2 Характеристика оценки надежности технологического процесса. Современное состояние

Одной из характеристик надежности ТП является сохранение во времени показателей качества изготавливаемого изделия. Обеспечение и поддержание заданного уровня показателей качества изделия (в пределах установленного диапазона) осуществляется благодаря управлению качеством продукции.

ТП как основная часть производственного процесса является непосредственной сферой применения процедур, позволяющих управлять качеством продукции. Выработка управляющих решений производится на основании сопоставления информации о фактическом состоянии ТП с его характеристиками, заданными программой управления. Характеристики задаются на основе нормативной документации, регламентирующей значения показателей качества продукции (технические задания, стандарты, КД и др.). Управляющие решения ориентированы на устранение критических недостатков на всех стадиях ТП.

Управление качеством осуществляется системно, то есть на предприятии должна функционировать система управления качеством продукции.

Система управления качеством является составной частью системы менеджмента качества (далее - СМК), направленная на выполнение требований к качеству.

В настоящее время теория управления качеством машиностроительной продукции предусматривает, во-первых,

полное удовлетворение потребностей потребителя с наименьшими общими затратами для предприятия, а во-вторых, использование всех резервов для повышения качества изготавливаемой продукции.

Управление качеством обычно упоминается в контексте стандартов системы качества ISO 9000. ISO 9000 – серия международных стандартов, содержащих термины и определения, основные принципы менеджмента качества, требования к системе менеджмента качества организаций и предприятий. Данные стандарты представляют собой руководство по достижению устойчивого результата, однако, ISO 9000 не является стандартом качества собственно продукта и непосредственно не гарантирует высокое качество продукции [3].

В России в настоящее время разработаны стандарты, эквивалентные некоторым международным стандартам ISO (система ГОСТ ISO и ГОСТ Р ИСО). Так ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования и ГОСТ ISO 9001-2011 Системы менеджмента качества. Требования определяют процессный подход при внедрении системы менеджмента качества на предприятиях. В соответствии с требованиями данных стандартов можно сделать вывод о том, что управление качеством продукции должно осуществляться в процессе жизненного цикла изделия, включающем процесс подготовки и разработки производственных процессов и непосредственного изготовления изделия [4, 5].

Таким образом, качество продукции определяется качеством процесса изготовления, а также качеством подготовки и разработки ТП. Качество ТП не может быть определено в полной мере, если не известна его надежность, так как надежность является основным эксплуатационным показателем качества.

В настоящее время термин «Надежность технологического процесса»

не закреплен ни в одном нормативном документе, действующем на территории Российской Федерации. Однако проблема управления качеством продукции находит отражения во многих научных трудах. Так, например, А.А. Кочегин под надежностью ТП понимает способность ТП сохранять требуемые свойства изделия и выполнять предназначенные функции в течение определенного срока. Автор предлагает оценивать надежность ТП по вероятности появления рисков (отклонений от времени, качества изделия, совокупных затрат). Однако в данной статье затрагиваются лишь возможные критерии, по которым может вестись оценка надежности технологической системы ТП [6].

В работе И.Е. Парфеньевой и А.А. Шмелевой предлагается проводить оценку качества ТП по совокупности различных свойств по методике, основанной на использовании безразмерного обобщенного показателя. Этот показатель учитывает всю совокупность свойств (характеристик) ТП – технических (в том числе надежность), экономических, эргономических и других. В качестве такого показателя принимается обобщенная функция значимости Харрингтона. В основе построения обобщенного показателя качества ТП лежит преобразование единичных показателей свойств в безразмерную шкалу значимости [7].

Данная методика описывает один из подходов СМК к оценке качества производства и технологических процессов, как его подсистем. Однако данная методика не раскрывает содержание свойств ТП и, в том числе, не приводит определение термина «надежность ТП».

Проблема оценки надежности ТП широко исследуется в работах иностранных авторов. Но, как правило, в практике

зарубежных стран ТП и производственный процесс не разделяются. Так как ТП является одной из составляющих производственного процесса, его подсистемой, то он обладает теми же свойствами, что и надсистема.

Так, например, Т. Новаковски, М. Члебус и С. Вербиньска-Войцеховска. определяют надежность производственного процесса как способность производственной системы полностью удовлетворять требованиям производственного плана в течении определенного периода времени и при данных условиях. Авторы рассматривают надежность производственного процесса как многоаспектное понятие: на надежность влияют такие факторы как работоспособность средств технологического оснащения и вероятность появления отказов, техническое обслуживание оборудования, качество поставляемого сырья, условия внешней среды (температура, влажность, вибрация и пр.), достоверность полученной информации о результатах контроля, возможность возникновения случайных угроз, человеческий фактор [8]. Авторами была разработана модель надежности производственного процесса на основе Марковской цепи (метод графов), описано каждое состояние системы и разработана методика оценки вероятности нахождения системы в каждом из состояний.

Данная методика оценки примечательна тем, что наиболее полно и развернуто описывает определение надежности производственного процесса и из чего она складывается. Но несмотря на полноту методики, использование ее применительно к ТП требует переработки некоторых тезисов, а именно описание состояний, в которых может находиться система. Также методика требует статистических данных о вероятности переходов из одного состояния в другое.

1.2.1 Оценка надежности технологического процесса как субъекта технологической системы

Так как в соответствии с ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике (ССНТ). Системы технологические. Термины и определения технологическая система (далее – ТС) – это совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей

для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций, то каждому элементу ТП можно сопоставить элемент или группу элементов ТС.

Надежность ТС регламентируется государственными стандартами серии ГОСТ 27. «Надежность в технике». Данные стандарты не дают определения надежности ТП, но его надежность как субъекта ТС может определяться теми же показателями надежности, в частности безотказности, а также долговечности, ремонтпригодности и др.

Для оценки показателей надежности ТП необходимо проводить их анализ.

Проблемам оценки показателей надежности ТС и надежности в целом посвящены труды таких авторов как А.В. Баранов, В.В. Болотин, Ю.Б. Гук, Ю.М. Правиков и др. В данных работах рассмотрены основные проблемы оценки надежности оборудования различных отраслей промышленности на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации, а также представлены различные подходы к анализу надежности ТС.

Так, например, при расчете надежности ТС подробно рассматривает метод структурных и логических схем В.С. Мехоншин, схемно-функциональный метод применяет А.В. Федотов

при оценке надежности автоматизированных систем, В.Ю. Чернов ориентируется на матричный метод при расчете надежности авиационной техники, а В.К. Слышалов и Г.В. Чекан прибегают к методу графов, основанного на теории Марковских процессов. Труды данных авторов по оценке надежности представлены для ТС различных областей промышленности [9-12].

Ю.М. Правиков и Г.Р. Муслина под надежностью ТП понимают его свойство обеспечивать изготовление продукции в заданном объеме, сохраняя во времени установленные требования к ее качеству. Это же свойство определяет надежность ТС. Поэтому в работе надежность ТС технологического процесса оценивается по группам показателей надежности ТС в соответствии с ГОСТ 27.202. Однако авторы не дают методики для оценки надежности ТП, не определяя разницу между определениями показателей надежности ТС и ТП [13].

Таким образом, проблема исследования надежности ТП остается открытой в связи с тем, что в научных работах отсутствует конкретизация по данной проблеме.

1.3 Обоснование создание методики оценки надежности технологических процессов

Соответствие изделий требованиям, заданным в КД, и сохранение показателей качества изделий в процессе изготовления обеспечивается качеством проектирования и выполнения ТП и подтверждается наличием межоперационного контроля после каждой производственной операции либо после группы операций, а также контроля и испытания готовой продукции. Однако существующая методика введения контрольных и испытательных операций имеет некоторые недостатки:

а) количество контрольных и испытательных операций, их объем и выбор методов и методик определяется на основании:

1) опыта технолога.

Объем межоперационного контроля, как правило, определяется технологом, разрабатывающим технологическую документацию, согласовывается службой качества и руководителем производственного участка. Таким образом увеличивается вероятность появления ошибки ввиду человеческого фактора.

Можно выделить следующие группы причин, способствующие ошибочным действиям человека:

- недостатки информационного обеспечения о процессе изготовления изделия;

- ошибки, вызванные физическим и психологическим состоянием

и свойствами человека;

- ограниченность ресурсов исполнения принятого решения.

2) нормативной документации.

Нормативная документация описывает контроль и испытания готового изделия, но не рассматривает межоперационный контроль. Основной акцент ставится

на необходимости контроля максимально возможного числа параметров ТП и качества продуктов.

Такая организация контроля характеризуется отсутствием гибкости, избыточными испытаниями и большими потерями ресурсов;

б) структура и содержание контроля и испытаний в действующий руководящих технологических документах недостаточно формализованы.

Государственные стандарты, регламентирующие методики и объем проведения контроля и испытаний направлены на изделия в общем, без привязки к типу производства, номенклатуре изделий,

условий отбора изделий, направляемых на контроль и испытаний. В настоящее время конкретизация по объему и содержанию контроля, видам контролируемых изделий находит отражение только для сварных швов в такой документации, как отраслевые стандарты, нормы и руководящие документы.

Таким образом, в настоящее время для конкретного машиностроительного изделия не может быть точно определена упорядоченная структура контроля и испытаний;

в) включение операций контроля и испытаний ориентировано на обобщенные группы ТП.

Как было отмечено ранее руководящая технологическая документация направлена на изделия в общем. Действующие стандарты рассматривают методику испытаний изделий из материала определенного состава (например, из композитных материалов), видов покрытий (например, металлических) или оборудования определенной группы (например, металлорежущие станки) и пр. Стандарты, регламентирующие контроль, как правило описывают, только сведения о методе контроля.

Таким образом действующая система ГОСТ не позволяет точно определить места включения контроля и испытаний в ТП для индивидуального изделия, которое может включать в себя несколько признаков, по которым должен осуществляться контроль или испытания.

г) устаревшая система ГОСТ.

Данная система, зародившаяся еще в начале прошлого века, делает российские предприятия менее конкурентоспособными: стандарты обязательны к исполнению, помимо этого, их количество велико. В настоящее время существует необходимость реформы о создании новой документации, регулирующей минимальные

обязательные требования к продукции и регламентирующих методы достижения заданных требований [14].

Таким образом, для устранения недостатков с целью прогнозирования и обеспечения заданного качества продукции необходимо создание методики оценки надежности ТП.

1.4 Обзор методов расчета надежности технологических процессов

В основе разработки методики оценки надежности ТП лежит задача выбора метода моделирования и расчета надежности ТП.

В работе были рассмотрены основные методы, применяемые при расчете надежности ТС. Так как элементы ТП являются элементами ТС, то они обладает теми же признаками, следовательно, эти методы могут быть применены для определения количественных характеристик ТП.

Для составления примера модели в соответствии с расчетным методом используется ТП (система), состоящий из трех технологических операций (элементов системы). Вероятность безотказной работы каждой операции будет составлять P_1 , P_2 и P_3 соответственно. Под вероятностью безотказной работы технологической операции (далее - ТО) можно понимать ее свойство непрерывного выполнения на данном виде оборудования. Под безотказной работой ТП понимается его свойство выполняться непрерывно.

В качестве отказов технологических операций можно рассматривать отказ оборудования, наличие дефектов материала, нарушение выполнения технологии рабочим и т.д.

1.4.1 Метод структурных схем

Метод структурных схем применяется для простых систем при следующих условиях:

- для элементов системы характерен только один вид отказов;
- система может быть представлена в виде единой структурной схемы, элементы которой соединены последовательно или параллельно;
- одно и то же событие представляется одним и тем же элементом [9].

Сущность метода заключается в задании условий безотказности ТП, составлении структурной схемы ТП, на которой прямоугольниками обозначаются события безотказной работы элементов, составлении уравнения для оценки вероятности безотказной работы ТП и последующей оценки уровня надежности данного ТП.

Структурная схема ТП, состоящего из параллельного и последовательного соединения элементов, представлена на рисунке 1.2.

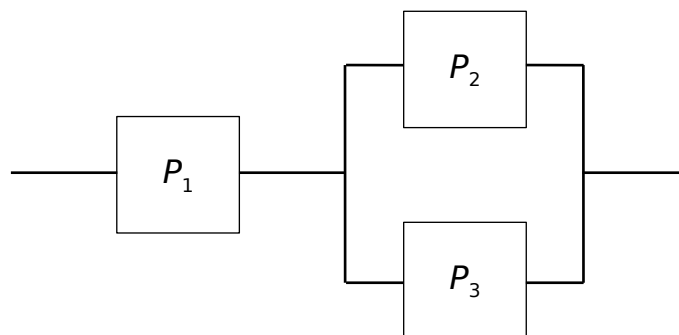


Рисунок 1.2 - Структурная схема ТП

Исходя из формул теории надежности для нахождения вероятности безотказной работы системы с последовательным соединением элементов [9]

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

(1.2)

где $P_i(t)$ - вероятность безотказной работы i -й операции,

и параллельным соединением элементов

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t),$$

(1.3)

где $Q_c(t)$ - вероятность отказа ТП,

для заданной схемы ТП уравнение безотказной работы будет иметь следующий вид:

$$P = P_1(1 - (1 - P_2)(1 - P_3)).$$

(1.4)

1.4.2 Метод логических схем

Метод логических схем позволяет оценить надежность всего ТП и отдельных его частей.

Данный метод применяется:

- для сложных функциональных систем;
- систем с резервированием с дробной кратностью;
- систем с различными видами отказов для одних и тех же элементов;

- систем, выполняющих несколько функций.

Сущность данного метода заключается в следующем:

- формирование условий безотказной работы ТП;
- составлении графической схемы условий безотказной работы ТП с цепочкой логических связей его работоспособности и возможных отказов элементов ТП;
- составление логического уравнения событий безотказной работы ТП с использованием алгебры Буля;

- построении логического уравнения, характеризующего состояние работоспособности системы в целом, и последующая оценка надежности ТП и отдельных ТО [9].

Рассматриваемый ТП состоит из трех операций, предположим, что каждая операция имеет по два вида отказов: отказ по оборудованию q' и отказ по ошибке рабочего q'' .

Сформулируем условие безотказности ТП:

- а) все элементы работают безотказно;
- б) произойдет отказ 2-й операции по отказу q' при условии безотказной работы 1-й и 3-й операции;
- в) произойдет отказ 3-й операции по отказу q' при условии безотказной работы 1-й и 2-й операции.

Данные условия выполнимы при осуществлении 2-й и 3-й операции на оборудовании, применяемом на 1-й операции.

Отказ ТП по отказу q'' недопустим, так как в этом случае изделие не будет соответствовать его показателям качества.

Таким образом логическая схема безотказной работы ТП будет иметь следующий вид:

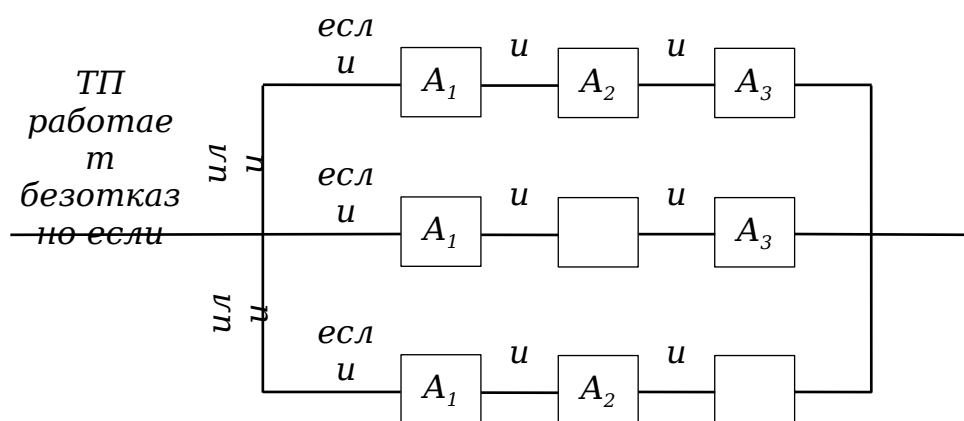


Рисунок 3.2 - Логическая схема работоспособности ТП

Логическое уравнение безотказности ТП будет иметь вид:

$$S = A_1 A_2 A_3 + A_1 A'_2 A_3 + A_1 A_2 A'_3,$$

(1.5)

где A'_2, A'_3 - отказы ТО по оборудованию.

Уравнение безотказной работы для данной схемы будет выглядеть следующим образом:

$$P = P_1 P_2 P_3 + P_1 q'_2 P_3 + P_1 P_2 q'_3.$$

(1.6)

Вероятность безотказной работы операции P_i :

$$P_i = 1 - q = 1 - (q' + q'').$$

(1.7)

Уравнение безотказной работы для полной группы событий:

$$P = (1 - q'_1 - q''_1)(1 - q'_2 - q''_2)(1 - q'_3 - q''_3) + q'_2(1 - q'_1 - q''_1) \times (1 - q'_3 - q''_3) + q'_3(1 - q'_1 - q''_1)(1 - q'_2 - q''_2) + q'_1(1 - q'_2 - q''_2)(1 - q'_3 - q''_3) + q'_1(1 - q'_3 - q''_3)(1 - q'_2 - q''_2) + q'_2(1 - q'_3 - q''_3) + q'_3(1 - q'_1 - q''_1) + q'_1(1 - q'_2 - q''_2) + q'_2(1 - q'_3 - q''_3) + q'_3(1 - q'_1 - q''_1).$$

1.4.3 Схемно-функциональный метод

Схемно-функциональный метод используется для сложных систем, когда применение первых двух методов невозможно. В данном методе производится анализ надежности ТП с оценкой вероятности безотказного выполнения его функций в условиях проявления различных отказов ТО.

Сущность метода заключается в следующем:

- определение функций ТП;
- определение возможных отказов и их влияния на выполнение функций;
- построение таблицы возможных несовместных событий для всех элементов ТП с характеристикой их влияния на выполнение функций ТП (таблица 1.1);
- составление алгебраических уравнений для оценки вероятностей

и последующая оценка надежности ТП [10].

Таблица 1.1 – Характеристика влияния отказов на функционирование ТП

Элемент j	Отказы v	Функции ТП i			
		1	2	...	s
Технологическая операция 1	Отказ 1	1	0	1	1
	Отказ 2	0	0		0
Технологическая операция 2	Отказ 1	0	0		0
	Отказ 2	1	0		0
Технологическая операция 3	Отказ 1	0	0		1
	Отказ 2	1	0		1

Под функциями ТП, например, может пониматься обеспечение постоянного выпуска изделий, постоянство функционирования оборудования, обеспечение качества изделий на заданном уровне и др. Для отказов, не влияющих на выполнение функции в графе таблицы несовместных событий ставится 0, для отказов, влияющих на выполнение функции – 1 (невыполнение функции).

Для каждой функции оценивается вероятность ее выполнения по формуле:

$$P_{ij} = \prod_{j=1}^m P_j \left(1 - \frac{\prod_{v=1}^k q_{jv}}{P_j} \right),$$

(1.8)

где m – количество элементов;
 k – количество отказов;
 P_j – вероятность безотказной работы j -го элемента;
 q_{jv} – вероятность отказа j -го элемента по отказу v при выполнении функции i .

Вероятность обеспечения нормального выполнения функции ТП определяется по формуле (только для отказов элементов, влияющих на выполнение функции) алгебры логики для несовместных событий:

$$P_i = \prod_{j=1}^m P_{ij},$$

(1.9)

где s – количество функции ТП.

1.4.4 Матричный метод

Матричный метод используется для сложных систем, состоящих из элементов, чьи отказы или работоспособность влияют на состояния системы, в которых она может находиться.

В данном методе используются функции алгебры логики для аналитической записи условий работоспособности ТС и их строгой взаимосвязи с вероятностными функциями.

Сущность данного метода заключается в следующем:

- формирование матрицы несовместных событий;
- определение вероятностей отказов элементов ТО;

- составление логического уравнения нахождения ТП в данном состоянии;
- определение условий работоспособности ТП;
- построение логического уравнения, характеризующего состояние работоспособности системы в целом, и последующая оценка надежности ТП [11].

Вероятность пребывания системы в любом состоянии (для каждой из гипотез определяется построчно) определяется по формуле [11]

$$P_{\text{сост}} = \prod_{k=1}^{n-m} P(A_{ik}) \prod_{l=1}^m P(\acute{A}_{il}),$$

(1.11)

где m - количество отказавших элементов;

$A_{ik}(\acute{A}_{il})$ - работоспособное (неработоспособное) состояние элемента.

Вероятность безотказной работы определяется как сумма вероятностей пребывания ТП в работоспособном состоянии:

$$P = \sum_{j=1}^r P_{\text{сост}_j},$$

(1.12)

где r - общее количество работоспособных состояний ТП.

Для ТП, состоящего из $n=3$ операций, строится матрица несовместных состояний (1.10). Состояния ТП, в которых он может находиться зависят от состояний ТО.

$$\begin{matrix}
 H_0 \\
 H_1 \\
 H_2 \\
 H_3 \\
 H_{1,2} \\
 H_{1,3} \\
 H_{2,3} \\
 H_{1,2,3}
 \end{matrix}
 \left(
 \begin{array}{ccc}
 A_1 & A_2 & A_3 \\
 \dot{A}_1 & A_2 & A_3 \\
 A_1 & \dot{A}_2 & A_3 \\
 A_1 & A_2 & \dot{A}_3 \\
 \dot{A}_1 & \dot{A}_2 & A_3 \\
 \dot{A}_1 & A_2 & \dot{A}_3 \\
 A_1 & \dot{A}_2 & \dot{A}_3 \\
 \dot{A}_1 & \dot{A}_2 & \dot{A}_3
 \end{array}
 \right)'$$

(1.10)

где H_0 - гипотеза работоспособности всех элементов ТП;
 $A_i(\dot{A}_i)$ - работоспособное (неработоспособное) состояние i -го элемента;

H_i - гипотеза отказа i -го элемента;

$H_{\alpha\beta}$ - гипотеза отказа двух элементов $\alpha\beta$;

$H_{1,2,\dots,n}$ - гипотеза отказов n элементов.

1.4.5 Метод графов

Метод графов используется для восстанавливаемых систем, которые могут находиться в различных состояниях.

В данном методе расчет надежности систем производится с учетом реальных потоков событий, в результате которых происходит эволюция рассматриваемой системы из состояния в состояние. Потоки событий возникают по причинам отказов, восстановлений, ремонтов и тому подобных факторов. Эволюция состояний описывается с помощью графа переходов методом Марковских цепей. Каждому узлу соответствует определенное состояние системы, стрелками обозначаются направления переходов с интенсивностями переходов из одного состояния в другое [9].

Сущность метода заключается в следующем:

- определение состояний, в которых может находиться ТП;
- составление графа переходов и состояний ТП;
- определение интенсивности переходов из одного состояния в другое (статистические данные);

- составление системы дифференциальных уравнений, каждое из которых соответствует вероятности нахождения ТП в определенном состоянии в определенный момент времени;
- определение вероятностей нахождения ТП в различных состояниях.

Предположим, что ТП может находиться в трех состояниях (рисунок 3.3):

- а) ТП полностью налажен;
- б) отказ оборудования;
- в) ремонт оборудования.

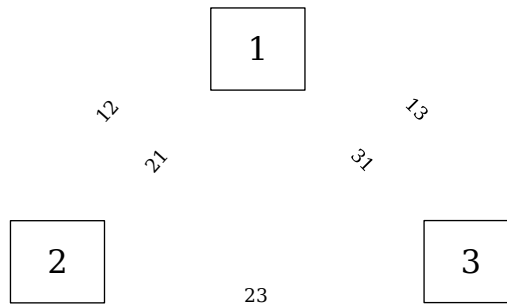


Рисунок 3.3 - Граф переходов и состояний ТП

Система дифференциальных уравнений, каждое из которых соответствует вероятности нахождения системы в определенном состоянии:

$$\begin{cases}
 \frac{dP_1(t)}{dt} = \mu_{21}P_2(t) + \mu_{31}P_3(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - (\mu_{21} + \mu_{23})P_2(t)
 \end{cases}$$

(1.13)

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{23}P_2(t) + \lambda_{13}P_1(t) - \mu_{31}P_3(t),$$

где $P_i(t)$ - вероятность нахождения ТП в состоянии i в момент времени t ,

λ_{ij} - интенсивность отказа при переходе из состояния i в состояние j ;

μ_{ji} – интенсивность восстановления при переходе из состояния j в состояние i .

1.3 Сравнительный анализ методов расчета и моделирования надежности ТП

Для моделирования и расчета надежности ТП были рассмотрены основные методы расчета надежности ТС. Данные методы могут быть использованы для расчета и моделирования надежности ТП.

Описанные методы применимы для различных ТС. Для выбора метода и модели надежности необходимо провести сравнительный анализ по различным критериям.

Одной из характеристик методов расчета надежности является сложность ТС, к которой они могут быть применены: системы с последовательным и параллельным соединением элементов, с резервированием, восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем, а также систем с элементами, для которых характерен один или несколько видов отказов.

В зависимости от сложности ТС методы позволяют оценивать надежность всей системы либо всей системы и ее отдельных элементов и подсистем.

Каждый метод расчета надежности основывается на классических формулах теории вероятностей, однако, некоторые методы подразумевают использование функций алгебры логики, взаимосвязанных с вероятностными функциями, что позволяет оценить надежность ТС в зависимости от сочетания отказов различных элементов.

Некоторые методы позволяют оценить влияние выполнения функций на надежность всей ТС, если система является многофункциональной.

Также все методы требуют числовых данных о надежности элементов ТС и/или статистических данных об интенсивности отказов.

Построение моделей надежности и проведение расчетов можно осуществлять с использованием программного обеспечения, позволяющего стандартизировать процесс расчета надежности ТП.

Данные по критериям сравнения приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Сравнительная характеристика методов расчета надежности ТП

Характеристика метода	Метод расчета надежности ТП				
	структурных схем	логических схем	схемно-функциональный	матричный	графов
1	2	3	4	5	6
Тип системы	Простые	Сложные с резервированием с различными видами отказов элементов	Сложные функциональные	Сложные функциональные	Сложные функциональные
Оценка влияния надежности каждого элемента на надежность ТП	-	-	+	+	+

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
Оценка надежности ТП в зависимости от сочетания отказов различных элементов	-	+	+	+	+
Оценка вероятности выполнения функций ТП	-	-	+	-	-
Необходимость статистических данных	-	-	+	-	+

Возможность стандартизации расчетов и автоматизации моделирования надежности	-	-	+	+	+
--	---	---	---	---	---

Применение того или иного метода для расчета надежности ТП зависит от характеристик ТС технологического процесса. Так метод структурных схем может быть использован только для простых систем, а остальные – для сложных. Помимо этого, метод графов и матричный метод являются универсальными, то есть применимы для систем любой сложности.

Применение метода структурных схем не может быть реализовано для оценки надежности ТП, так как для элементов ТП характерны различные виды отказов и ТП может иметь в своем составе элементы с резервированием (например, одинаковые станки на участке для выполнения одно и той же ТО).

Такие методы как метод логических схем, схемно-функциональный, матричный и метод графов позволяют оценить влияние надежности каждого элемента или подсистемы на надежность всего ТП, так как работоспособность ТП зависит от различных сочетаний отказов отдельных элементов.

Метод логических схем позволяет оценить безотказность ТП при определенном условии работоспособности элементов, входящих в ТП, но не позволяет оценить влияние отказов различных элементов на выполнение функций объекта. Оценку вероятности выполнения функций позволяет осуществить схемно-функциональный метод, однако, он не дает комплексной оценки надежности ТП.

Метод графов, схемно-функциональный и матричный методы позволяют автоматизировать расчеты и ускорить их выполнение с

помощью ЭВМ, но метод графов требует статистических данных о потоке отказов и восстановлений, что усложняет его применение на новом или единичном производстве.

Представленные методы сравнимы по всем показателям, но следует выбирать схемно-функциональный метод, так как ТП является сложной многофункциональной системой, которая может состоять из большого количества элементов, для которых характерно несколько видов отказов. Данный метод позволяет оценить работоспособность ТП с точки зрения выполнения всех его функций.

Преимуществом схемно-функционального метода является также то, что унифицированный вид таблицы состояний системы позволяет стандартизировать и автоматизировать моделирование ТП и расчет показателей его надежности. Модель, представленная в виде схемы, упрощает выявление критических элементов ТП и управление надежностью ТП в целом.

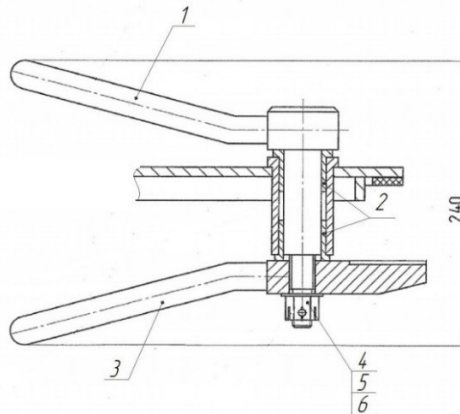
Таким образом, для разработки методики оценки надежности ТП целесообразнее выбирать схемно-функциональный метод расчета надежности.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для применения методики оценки надежности на реальном машиностроительном изделии необходимо спроектировать ТП его изготовления. Рассмотрим проектирование ТП для изделия «Стержень». Чертеж детали приведен в приложении А.

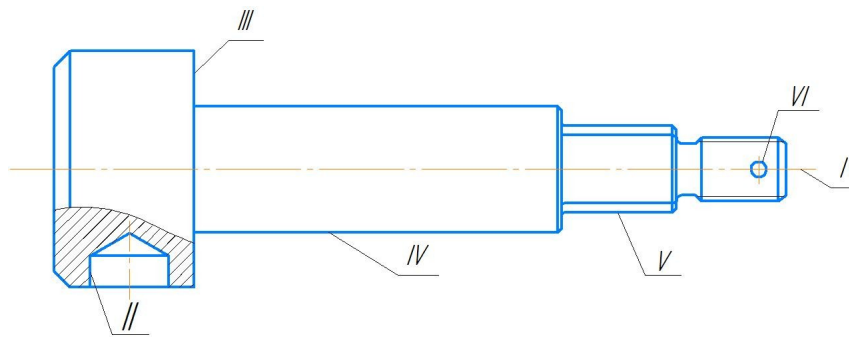
2.1 Анализ конструктивно-технологических особенностей детали «Стержень»

Деталь «Стержень» относится к типу валов комбинированной формы, так как имеет элемент – не поверхность вращения, а также отверстия. Квадратная в сечении ступень детали и глухое отверстие являются базовыми поверхностями для установки рукоятки и задраивающего устройства. Стержень предназначен для передачи крутящего момента на рукоятку и задраивающее устройство (рисунок 2.1).



1 - ручка, 2 - втулки, 3 - задрайка, 4 - шайба, 5 - гайка, 6 - шплинт
Рисунок 2.1 - Сборочная единица «Рукоятка»

Конструкторские базы указаны на рисунке 2.2.



I - основная и вспомогательная конструкторская база, II - VI - вспомогательные конструкторские базы

Рисунок 2.2 - Эскиз детали с конструкторскими базами

При проведении анализа чертежа было выявлено, что 2 поверхности являются основными, 2 - вспомогательными, 2 - исполнительными и 11 - свободными. Эскиз с обозначением поверхностей приведен на рисунке 2.3.

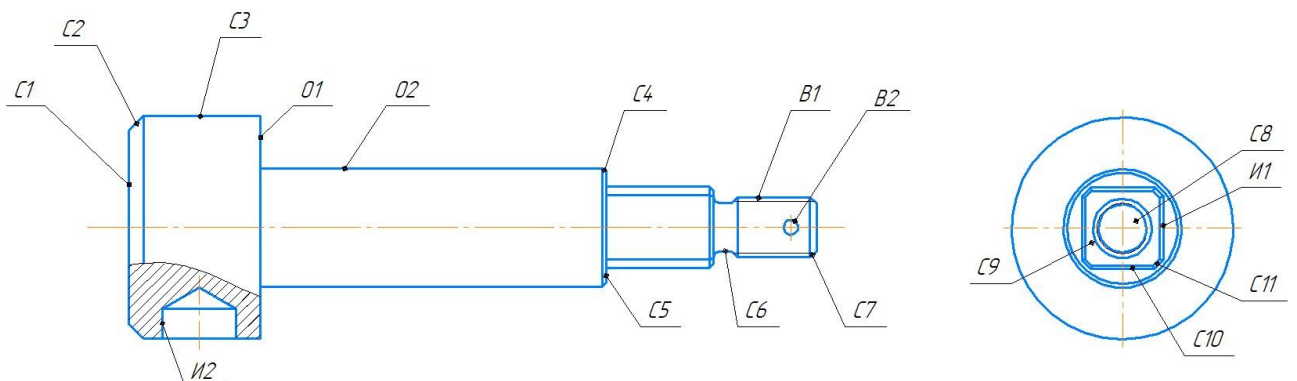


Рисунок 2.3 - Эскиз с обозначением поверхностей

Основные - O1, O2 - определяют положение детали «Стержень» в изделии «Рукоятка».

Вспомогательные: B1 - поверхность, на которую устанавливается гайка, B2 - определяет положение штифта.

Исполнительные - И1, И2 - поверхности, через которые передается крутящий момент на «Задрайку» и «Ручку».

Свободные C1 - C11 - не соприкасаются с другими деталями сборки.

Кроме этого, в ходе анализа выявлено, что к каждой поверхности предъявляются требования. Данные, полученные в ходе анализа чертежа, сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Характеристики элементарных поверхностей

№ поверхности по эскизу	Обозначение размера и поля допуска	Шероховатость Ra , мкм	Форма	Величина допуска на размер, мм	Заключение
1	2	3	4	5	6
1, 4	-	25	Цилиндрическая поверхность	1	Верно
1, 14	186±1	25	Торец	1	Верно
2, 6, 13, 14, 18	4×45°, 1×45°, 1,5×45°, 2×45°	25	Фаска	-	Верно
3	-	25	Цилиндрическая поверхность	-	Верно
4, 7	93,5±0,5	25	Торец	0,5	Верно

Окончание таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6
5	Ø32d11	6,3	Цилиндрическая поверхность	0,32	Верно
7, 11	28,5±0,5	25	Торец	0,5	Верно
9	Ø28h14	25	Цилиндрическая поверхность	0,52	Не верно
10	22b12	12,5	Массив плоскостей	0,53	Не верно
11, 15	28±1	25	Торец	1	Верно
12	Ø13h14 5	25	Резьбовая канавка	0,43	Не верно
13	M16-6g	25	Резьба	0,132	Не верно
16	Ø4H12	25	Отверстие	0,12	Не верно
19	Ø20H14	25	Отверстие	0,52	Не верно

Из таблицы видно, что к отдельным поверхностям предъявляются более строгие требования по шероховатости и размерам. Наиболее строгий допуск в соответствии с 6-м качеством предъявляется к резьбе M16-6g, отверстию Ø4H12

и цилиндрической поверхности Ø32 мм; наиболее высокое требование по шероховатости составляет 6,3 мкм.

На резьбу параметр шероховатости указан Ra25, что не будет соответствовать заданному классу точности 6g. Для 4-6 класса обработки рядовых резьб предпочтительной будет шероховатость Ra 6,3 - 1,6 мкм [15]. Те же требования по шероховатости Ra25 не соответствуют заданной точности: для цилиндрических поверхностей Ø28h14, Ø13h14, Ø20H14, размера 22b12 рекомендуется шероховатость Ra12,5, а для отверстия Ø4H12 - Ra6,3 [16].

Требования по механическим свойствам к детали не предъявляются. Допуски размеров и формы - общемашиностроительные по 14 качеству.

Таким образом, деталь «Стержень» не является ответственной и к ней не предъявляются высокие требования по шероховатости, точности размеров и форм.

2.2 Анализ материала изделия «Стержень»

Деталь изготовлена из стального круглого горячекатаного проката

Круг В1-60 ГОСТ 2590-2006. Точность проката В1 - обычная. Марка стали - 20-2ГП-М1-ГС-ТО ГОСТ 1050-2013. Металл термически обработанный с гарантией свариваемости.

Плотность материала $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$. Механические свойства стали 20 и ее химический состав в соответствии с ГОСТ 1050-2013 приведены в таблице 2.2 и 2.3 соответственно [17].

Таблица 2.2 - Механические свойства стали 20

Временное сопротивление σ_b , МПа	Предел текучести σ_t , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Твердость HB 10 ⁻¹ , МПа
--	-----------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------

410	245	25	55	163
-----	-----	----	----	-----

Таблица 2.3 - Химический состав стали 20

Класс стали	Массовая доля элементов, %							
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера	Хром	Никель	Медь
Нелегированная качественная	0,17 - 0,24	0,17 - 0,37	0,35 - 0,65	0,03 0	0,03 5	0,2 5	0,3 0	0,3 0

Исходя из назначения детали «Стержень» и учитывая условия ее работы, применение проката из стали 20 является целесообразным, так как данная сталь относится к конструкционным углеродистым качественным, может применяться для изготовления валов и других изделий не ответственного назначения ввиду своей мягкости. Также необходимо учитывать влияние химического состава сталей: у данной марки стали содержание углерода составляет примерно 20%, поэтому при ее обработке получают большую шероховатость.

2.2 Определение типа производства

На этапе проектирования тип производства может быть определен предварительно в зависимости от массы детали и объема выпуска изделий. Выбираем тип производства «мелкосерийное» по массе детали 1,5 кг и годовому объему выпуска 72 шт [18]. При данном типе производства, как правило, используют универсальное оборудование.

2.3 Определение методов обработки

По результатам конструктивно-технологического анализа было принято предварительное решение о методах обработки детали (таблица 2.4) [18].

Таблица 2.4 - Выбор методов обработки

Вид поверхности	Квалитет точности и параметр шероховатости	Метод обработки	Вид обработки	Получаемые квалитет точности и параметр шероховатости
Наружная цилиндрическая поверхность	IT=14, Ra=25	Точение	Черновое	IT=14, Ra=25
Наружная цилиндрическая поверхность	IT=11, Ra=6,3	Точение	Черновое	IT=12, Ra=12
			Получистовое	IT=11, Ra=6,3
Резьбовая канавка	IT=14, Ra=25	Точение	Черновое	IT=14, Ra=25
Отверстие	IT=14, Ra=25	Сверление	-	IT=13, Ra=25
Плоскость	IT=12, Ra=12,5	Фрезерование	Черновое	IT=12, Ra=12,5
Наружная резьба	IT=6, Ra=25	Нарезание резьбы	-	IT=6, Ra=6,3

По результатам предварительной оценки деталь можно получить практически полностью при черновой обработке, единственная поверхность, требующая вторую ступень обработки - цилиндрическая поверхность Ø32d11, однако, современные инструменты позволяют получить высокое качество поверхности при обработке за один раз. Количество операций - 3: токарная, фрезерная, сверлильная. Данные операции можно сконцентрировать в одной токарной операции с ПУ с двумя установками (переустановка вручную) или, при наличии двух шпинделей и двух револьверных головок, с автоматической переустановкой, или при автоматической подаче прутка с одним установом.

2.4 Выбор технологических баз

При большинстве операций при обработке деталей типа «Вал» за технологические базы принимают поверхности центровых отверстий, что позволяет обрабатывать почти все наружные поверхности деталей на постоянных базах с установкой детали в центрах. Для обеспечения жесткости при

обработке можно осуществить установку детали в самоцентрирующий патрон с поджатием центром.

Таким образом, в качестве технологических баз выбираются цилиндрические поверхности детали, ось и ее торцы. Теоретическая схема базирования приведена на рисунке 2.4.



1,3; 2,4 - двойная направляющая, 5 - опорная база

Рисунок 2.4 - Теоретическая схема базирования

2.5 Разработка маршрутного технологического процесса изготовления изделия «Стержень»

Базовый маршрутный ТП представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Маршрутный ТП

№ ТО	ТО	Технологическая база	Оборудование
005	Заготовительная	-	Отрезной
010	Слесарная	-	
015	Токарная	Наружная цилиндрическая поверхность, центровое отверстие	Токарный
020	Фрезерная	Наружная цилиндрическая поверхность, ось	Фрезерный
025	Слесарная	-	
030	Сверлильная	Наружная цилиндрическая поверхность, ось	Сверлильный

Принимая во внимание простую конфигурацию детали и малую производительность фрезерной и сверлильной операций, а также применяя принцип концентрации операций, токарную, фрезерную и сверлильную операции можно объединить при обработке детали «Стержень» на токарном станке с ЧПУ.

Разработанный маршрутный ТП с применением программно управляемого оборудования приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Маршрутный ТП с применением программно управляемого оборудования

№ ТО	Название и краткое описание операции	Технологическая база	Оборудование
1	2	3	4
005	Заготовительная	-	Отрезной
010	Токарная с ПУ		Токарный
	Точение торца, сверление центрального отверстия	Наружная цилиндрическая поверхность	

Окончание таблицы 2.6

1	2	3	4
010	Точение наружных диаметров и фасок, фрезерование плоскостей, фрезерование фасок, точение резьбовой канавки, нарезание резьбы, сверление отверстия	Наружная цилиндрическая поверхность, центровое отверстие	
015	Контрольная	Проконтролировать деталь	Штангенциркуль, шаблон угловой, микроскоп, образцы шероховатости

Последовательность механической обработки изделия «Стержень» представлена в приложении Б.

2.6 Разработка операционной технологии изготовления изделия «Стержень»

После анализа исходных данных приступают к непосредственному проектированию ТП с разработкой маршрутной и операционной технологии. Разработка операционной технологии была рассмотрена на примере операции 010 Токарная с ПУ.

2.6.1 Выбор технологического оборудования

В качестве применяемого оборудования может выступать токарный станок с ЧПУ или токарный обрабатывающий центр с ЧПУ. Для обработки партии деталей максимально производительно, за один установ, необходимо подключить к станку устройство подачи прутка. Основным параметром, определяющим выбор технологического оборудования, является максимальный диаметр подаваемого прутка, который не должен быть меньше 60 мм, а также наличие приводного инструмента, обеспечивающего фрезерование и сверление.

В качестве применяемого оборудования был выбран токарный станок EMCOTURN e65 TCM с устройством автоподачи прутка EMCO COMPACT LOAD LM1200. Внешний вид станка представлен на рисунке 2.5. Технические характеристики приведены в таблице 2.7 [19].



Рисунок 2.5 – Внешний вид токарного станка EMCOTURN e65 TCM с подключенным устройством автоматической подачи прутка COMPACT LOAD LM1200

Таблица 2.7 – Технические характеристики станка EMCOTURN e65

№	Параметр	Значение
1	2	3
1	Зона обработки	
1. 1	Ход в осях X/Z, мм	260/610
1.	Максимальный диаметр прутка, мм	65

2		
1. 3	Максимальный диаметр обработки, мм	310
1. 4	Расстояние над станиной, мм	540
1. 5	Расстояние между центрами, мм	680
2	Шпиндель	
2. 1	Мощность двигателя шпинделя, кВт	18
2. 2	Максимальное число оборотов шпинделя, об/мин	4200
2. 3	Максимальный крутящий момент, Н·м	192
2. 4	Посадочный размер под токарный патрон	A2-6
3	Автоматическая задняя бабка	
3. 1	Внутренний конус	MТ4
3. 2	Ход пиноли, мм	500
4	Ось С	
4. 1	Дискретность поворота, град	0,001
4. 2	Скорость вращения, об/мин	1000
5	Инструментальная система (револьверная головка)	
5. 1	Количество инструментов	12
5. 2	Зажимы инструментов согласно DIN 69880	VDI 30
5. 3	Время смены инструмента, с	0,2
5. 4	Поперечное сечение инструмента, мм	20×20
6	Приводной инструмент	
6. 1	Количество приводных инструментов	12
6. 2	Диапазон скоростей, об/мин	0 - 5000
6. 3	Крутящий момент, Н·м	20
6. 4	Мощность, кВт	5
7	Привод подачи	
7. 1	Скорость быстрого перемещения по X/Z, м/мин	24/24
7. 2	Сила подачи X/Z, Н	5000/7000

Окончание таблицы 2.7

1	2	3
8	Габариты	
8.1	Длина×ширина×высота, мм	2582×1722×1880
8.2	Масса станка, кг	4300
9	Система управления	SINUMERIK 810D/FANUC 0i TC

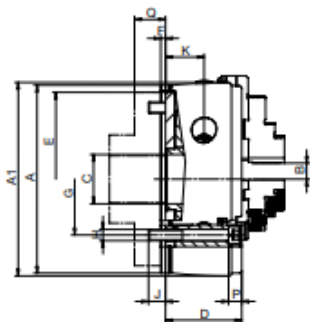
Устройство подачи прутка EMCO COMPACT LOAD LM1200 позволяет загружать пруток длиной до 1200 мм.

Данный станок соответствует требованиям по точности, габаритам рабочего пространства, наличию инструмента с приводом, а также размерам обрабатываемых заготовок, необходимым для обработки детали «Стержень».

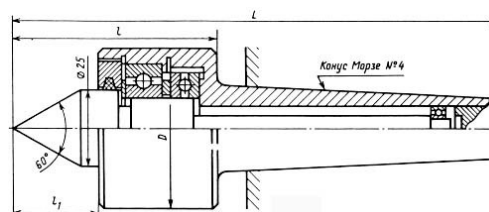
2.6.2 Выбор станочных приспособлений

Для установки детали «Стержень» на токарном станке по выбранной схеме базирования наиболее подходящими являются кулачковый патрон и центр.

В комплектацию выбранного станка модели EMCOTURN e65 входят: вращающийся центр с конусом Морзе 4 и трехкулачковый механизированный патрон производства фирмы RÖHM. Для обработки детали «Стержень» был выбран патрон RÖHM DURO-T 250 диаметром 256 мм с внутренним отверстием диаметром 72 мм [20]. Данный патрон обеспечивает высокую точностью центрирования. Эскиз патрона и центра представлены на рисунке 2.6.



а) трехкулачковый патрон



б) вращающийся центр

Рисунок 2.6 – Станочные приспособления

2.6.3 Выбор режущего и вспомогательного инструмента

Механическая обработка включает в себя следующие переходы: контурную обработку, фрезерование плоскостей, фрезерование фасок на плоскостях и точение резьбовой канавки.

Для обработки детали на выбранном станке необходимо применять инструмент с типоразмером хвостовика VDI 30. Первым этапом обработки является обработка торца и сверление центрального отверстия. Для этого необходимо использовать проходной резец и центровое сверло. Контурная обработка цилиндрических поверхностей, фасок и галтельных переходов обеспечивается тем же проходным резцом, что и для обработки торца. Обработка плоскостей подразумевает применение концевой фрезы. Так как на плоскостях имеются фаски, то их необходимо обработать угловой фрезой с углом наклона 45° . Обработка резьбы осуществляется резьбовым резцом для данного типа резьбы, допуска и шага резьбы. Для обработки отверстия необходимо подобрать сверло диаметром 20 мм. Последним этапом обработки является отрезка детали и снятие фаски $4 \times 45^\circ$, что обеспечивается отрезным резцом. Для обработки резьбовой канавки применяется фасонный резец, с помощью которого можно обеспечить угол фаски 45° и радиусы скругления 0,5 и 1,6 мм. Фасонный резец спроектирован индивидуально для данной детали.

Выбор инструмента определялся по каталогам Hoffman и Iscar с учетом рекомендаций по обработке, приведенных в каталоге. [22, 23]. Токарные резцы – сборные. Фрезерные и сверлильные инструменты – монолитные.

Параметры выбранного режущего инструмента представлены в таблице 2.8.

2.6.3.1 Проектирование фасонного резца для изделия «Стержень»

При точении деталей со сложным профилем применяются фасонные резцы различных конструкций. Для расчета и конструирования был выбран стержневой тангенциальный резец.

Стержневые фасонные резцы подобны обычным токарным резцам, но имеют фасонную режущую кромку, соответствующую форме детали.

Тангенциальные резцы имеют радиальную подачу по касательной к внутренней окружности профиля детали. Принцип работы тангенциальных резцов основан на постепенном срезании подлежащего удалению объема металла с поверхности обрабатываемой детали, что способствует повышению стойкости резцов, уменьшает величину силы резания и связанные с ней вибрации [21].

Для экономии инструментальной стали применяют составные резцы. В качестве аналога взят резец, состоящий из державки GHGL 20-630 для канавочной пластины, тип крепления – механическое. Пластина спроектирована на основе стандартной канавочной пластины GIMY 808 с максимальной шириной резания 8 мм [22].

Геометрические параметры режущей части были выбраны на основании материала заготовки: для обеспечения нормальной обрабатываемости стали 20 ($\sigma_b=410$ Мпа) передний угол будет составлять $\gamma=20^\circ$, задний угол $\alpha=7^\circ$.

Профилирование фасонного резца было определено графическим методом в следующей последовательности:

- а) построение профиля обрабатываемого участка детали;

- б) построение профиля резца;
- в) создание 3D модели резца;
- г) выполнение рабочего чертежа резца.

Чертеж фасонного резца приведен в приложении В.

Таблица 2.8 – Параметры режущего инструмента

Поверхность обработки	Тип режущего инструмента	Параметры корпуса	Параметры пластины
1	2	3	4
Обработка правого торца	Резец проходной	Тип хвостовика – призматический; размеры – 20×20×125 мм; исполнение – левое; угол $\varphi = 95^\circ$; крепление пластины – рычажное; обозначение PWLNL 2020K-06	Форма – тригон; углы $\varepsilon=80^\circ$, $\alpha=0^\circ$; длина – 6,5 мм; толщина – 3,97 мм; радиус скругления вершины – 0,8 мм; материал – IC8250; обозначение – WNMG 06T308-M3P
Центровое отверстие	Центровочное сверло	Тип хвостовика – призматический; диаметр – 6,3 мм; длина – 45 мм; обозначение – Твердосплавное центровочное сверло А 2,5 мм	

Продолжение таблицы 2.8

1	2	3	4
Контурная обработка наружных диаметров	Резец проходной	Тип хвостовика – призматический; размеры – 20×20×125 мм; исполнение – левое; угол $\varphi = 95^\circ$; крепление пластины – рычажное; обозначение PWLNL 2020K-06	Форма – тригон; углы $\varepsilon=80^\circ$, $\alpha=0^\circ$; длина – 6,5 мм; толщина – 3,97 мм; радиус скругления вершины – 0,8 мм; материал – IC8250; обозначение – WNMG 06T308-M3P
Фрезерование плоскостей	Концевая фреза	Тип хвостовика – цилиндрический; диаметр хвостовика – 16 мм диаметр фрезы – 16 мм; число зубьев – 6;	

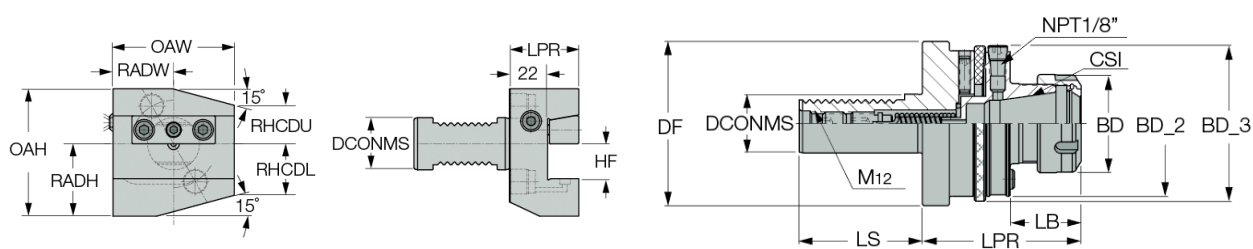
		<p>угол наклона режущих кромок – 37°, 35°; длина режущей части – 32 мм; радиус скругления – 0,8 мм; угол в плане $\phi = 90^\circ$; материал – IC900; обозначение – EC-H4L 16-32/50C16CFR.8</p>	
Снятие фасок	Угловая фреза	<p>Тип хвостовика – цилиндрический; диаметр хвостовика – 12 мм; диаметр фрезы – 16 мм; высота фрезы – 4 мм; число зубьев – 6; угол наклона режущей кромки – 45°; материал – HSS Co5; обозначение – Грибковая фреза формы D 45° 16 мм</p>	
Точение резьбовой канавки	Фасонный резец	<p>Тип хвостовика – призматический; размеры – 20×20×120 мм; исполнение – левое; крепление пластины винтом; обозначение – Державка для внешнего глубокого точения и отрезания GHGL 20-630</p>	углы $\gamma=20^\circ$, $\alpha=7^\circ$
Нарезание резьбы	Резьбовой резец	<p>Тип хвостовика – призматический; размеры – 20×20×125 мм; исполнение – левое; крепление пластины винтом; обозначение – SEL 2020K16</p>	<p>Длина – 16,49 мм; толщина – 3,8 мм; материал – IC228; обозначение – 16EL 2.00 ISO</p>
Сверление отверстия	Сверло	<p>Тип хвостовика – цилиндрический; диаметр – 20 мм; длина режущей части – 79 мм; длина сверла – 131 мм; число зубьев – 2; угол при вершине – 140°; материал – IC908; обозначение – SCD 200-055-200 AP3</p>	

Окончание таблицы 2.8

1	2	3	4
Отрезка детали	Отрезной резец	Тип хвостовика – призматический;	Толщина – 8 мм, материал – IC20;

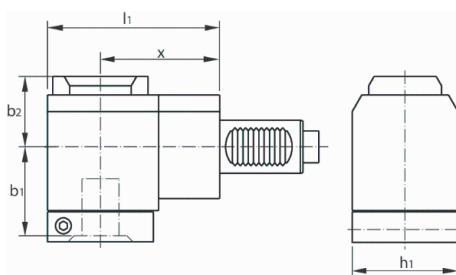
		размеры - 26×4,1×110 мм; исполнение - левое; крепление пластины самозажимом; обозначение - GHGL 20-630	обозначение - GIMY 808
--	--	--	---------------------------

Для установки инструмента в инструментальный магазин необходима вспомогательная оснастка. Так как в имеющейся комплектации станка имеется аксиальная револьверная головка, то в качестве вспомогательной оснастки (рисунок 2.7) необходимо использовать радиальный держатели для резцов (а), а также цанговый патрон для центровочного сверла (б). При обработке фрезами и сверлами необходимо придавать им вращательное движение, что обеспечивается использованием приводных держателей радиального типа (в). Хвостовики держателей соответствуют посадочным поверхностям револьверной головки (VDI 30).



а) радиальный держатель

б) цанговый патрон



г) аксиальная приводная головка

Рисунок 2.7 - Вспомогательная оснастка

2.6.4 Выбор контрольно-измерительного инструмента

Измерения геометрических параметров изделий включает в себя проверку размеров, шероховатости, расположения

поверхностей и отклонений от формы. Выбор форм контроля и измерительных средств осуществляется в зависимости от типа производства и заданных допусков.

В единичном производстве применяют преимущественно универсальные измерительные средства.

Для контроля размеров с допусками по 9 - 14 качеству возможно использовать штангенциркуль. Для диапазона размеров от 0 до 200 мм применяют штангенциркуль ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89 с цифровым отсчетным устройством, позволяющим проводить измерения наиболее точно.

Для контроля малых радиусов применяют шаблонные радиусомеры, однако, при малых радиусах (0,5 и 1,6 мм) необходимо использовать инструментальный микроскоп с радиусной головкой.

Контроль шероховатости при значении $Ra \geq 0,63$ мкм, как правило, оценивают визуально или с помощью лупы посредством сравнения с образцами. Образцы шероховатости ГОСТ 9378-93 Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия имеют известные параметры шероховатости.

Контроль угловых размеров (фасок) можно производить с помощью углового шаблона ШУ-20 [24].

Для контроля резьб чаще всего применяются резьбовые калибры. Наружная резьба проверяется проходным резьбовым кольцом для резьбы М16 с полем допуска 6g. Правильность резьбы определяют на ощупь по отсутствию качания и трудности свинчивания калибра и детали.

После того как определено оборудование, оснастка и инструмент, был спроектирован ТП изготовления изделия «Сетрежень».

2.6.5 Выбор схемы построения операции

Технологическим процессам при единичном производстве характерны операции, построенные по принципу концентрации

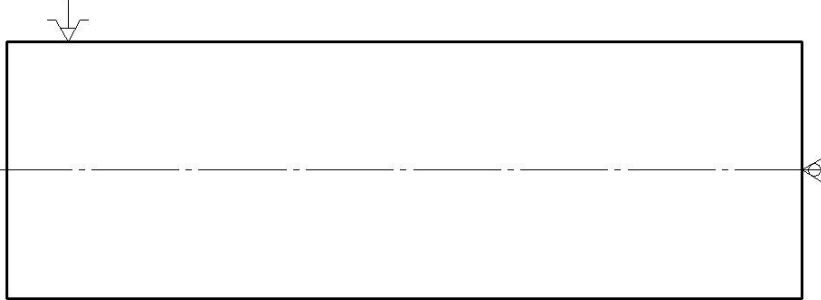
переходов. Это связано с применением универсального оборудования и стремлением к сокращению времени перемещения заготовок со станка на станок.

Для ТО 010 Токарная с ПУ, была принята одноступенчатая, последовательная и одноинструментальная схема построения операции.

Описание разработанной операционной технологии токарно-сверлильно-фрезерной обработки представлено в таблице 2.9.

Таблица 2.9 - Разработанная операционная технология

№ ТО	Название и содержание операции Схема установки	Модель оборудования
		Приспособление Режущий инструмент Контрольно-измерительный инструмент
1	2	3
010	Токарная с ПУ	Токарный станок с ЧПУ модели EMCOTURN e65
	Установ А Подать прутки с вылетом 206 мм	Трехкулачковый механизированный патрон RÖHM DURO-T 250, вращающийся центр МТ4
	а) Точить торец, выдерживая размер 205 мм	Проходной резец с державкой PWLNL 2020K-06 с СМП WNMG 06Т308-МЗР из IC8250 ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89
	б) Сверлить центровое отверстие, поджать центром	Твердосплавное центровочное сверло А 2,5, подвижный центр
	в) Точить контур Ø16 на $l=28\pm 1$ мм с фаской $2\times 45^\circ$, Ø28h14 на $l=28,5\pm 0,5$ мм с фаской $1\times 45^\circ$, Ø32d11 на $l=93,5\pm 0,5$ мм с фаской $1\times 45^\circ$ окончательно; острые кромки притупить, обеспечить галтельные переходы геометрией инструмента	Проходной резец с державкой PWLNL 2020K-06 с СМП WNMG 06Т308-МЗР из IC8250 ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89, Шаблон угловой ШУ-20, образцы шероховатости по ГОСТ 9378-93
	г) Фрезеровать 4 плоскости $22b12\times 28,5\pm 0,5$ мм на глубину 2,5 мм окончательно	Концевая фреза EC-H4L 16-32/50C16CFR.8 ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89, образцы шероховатости по ГОСТ 9378-93
	д) Снять фаски $1\times 45^\circ$ с 4 плоскостей $22b12\times 28,5\pm 0,5$ мм	Грибковая фреза формы D 45° 16 мм Шаблон угловой ШУ-20
	е) Точить резьбовую канавку	Фасонный резец

	шириной 5 мм на Ø13h14 окончательно	ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89, инструментальный микроскоп
	ж) Нарезать резьбу M16-6g	Резьбовой резец SEL 2020K16 с СМП 16EL 2.00 ISO из IC228 Резьбовое кольцо
	з) Сверлить отверстие Ø20H14 на $l=8^{+2}$ мм	Сверло SCD 160-045-160 AP3 из IC908 ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89
	и) Отрезать деталь в размер 186 ± 1 мм с фаской $4\times 45^\circ$ на левом торце	Отрезной резец GHGL 20-630 с СМП GIMY 808 из IC20 ШЦЦ-I-0-200-0,01 ГОСТ 166-89, Шаблон угловой ШУ-20
	Схема установки 	

Таким образом, обработка детали «Стержень» осуществляется пооперационно одним инструментом. Количество инструментов – 6. После записи операционной технологии необходимо определить режимы резания для данных переходов.

2.6.6 Определение режимов резания и нормирование переходов

К режимам резания относится совокупность значений глубины t (для фрезерования также B – ширины фрезерования), подачи S , скорости резания V , частоты вращения рабочих органов станка n . Рекомендуемые режимы резания приведены в каталоге для каждого инструмента [23]. Однако рекомендации представляют собой определенный диапазон значений параметров, поэтому для более точного задания значений t , S , V и n воспользуемся формулами и рекомендациями [25].

Глубина резания t , мм определяется по формулам:

а) для точения

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (2.1)$$

где $D_{заг}$, $D_{дет}$ - диаметры заготовки и детали, мм;

б) для сверления

$$t = \frac{D}{2}, \quad (2.2)$$

где D - диаметр отверстия, мм.

Значение подачи S определяется видом технологического перехода. При черновом переходе ее назначают в зависимости от свойств обрабатываемого материала, глубины резания t и метода обработки. При подрезке торцов подачу уменьшают в два раза по сравнению с продольной обработкой. При нарезании резьбы подача равна величине шага резьбы [25].

Частоту оборотов шпинделя n , об/мин определяется по формуле [25]:

$$n = \frac{1000V}{\pi D}, \quad (2.3)$$

где V - скорость резания, м/мин;

D - при точении - обрабатываемый диаметр, при сверлении и фрезеровании - диаметр инструмента, мм.

После того как определены все режимы резания необходимо вычислить основное время T_o , мин обработки детали:

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_{oi}, \quad (2.4)$$

где T_{oi} - основное время i -го перехода, мин.

Основное время для подрезки торца, продольного точения, нарезания резьбы, фрезерования определяется из формулы по формуле [26]:

$$T_o = \frac{l_1 + l + l_2}{S} i, \quad (2.5)$$

где l_1 - величина врезания инструмента, мм;
 l - длина резания, мм;
 l_2 - длина перебега инструмента в направлении подачи, мм;
 S - подача, мм/мин;
 i - число проходов.

Основное время для центrovания, сверления, отрезки и вытачивания канавок определяется по формуле [27]:

$$T_o = \frac{l_1 + l + l_2}{S}.$$

(2.6)

Величины врезания и перебега инструмента определены из справочников для каждого вида обработки [26], [27].

Расчетные параметры режимов резания и нормативов времени на каждый переход представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Расчет параметров операции

Содержание перехода	t , м	B , мм	S , мм/об	V , м/мин	n , об/мин	i , шт	l_1 , мм	l , мм	l_2 , мм	T_o , мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
а) подрезать правый торец в размер 195 мм	1		0,2	120	636,6 2	1	2	30	2	0,27
б) сверлить центровое отверстие	6		0,05	40	795,7 7	1	4,8	13,98	4,8	0,59
Окончание таблицы 2.10										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
в) точить контур Ø16 на $l = 28 \pm 1$ мм с фаской $2 \times 45^\circ$, Ø28h14 на $l = 28,5 \pm 0,5$ мм	1		0,3	120	636,6 2	1	5	920	5	15,1 9

с фаской 1×45°, Ø32d11 на l = 93,5±0,5 мм с фаской 1×45° окончательно; острые кромки притупить, обеспечить галтельные переходы											
г) фрезерова ть 4 плоскости 22b12×28,5±0, 5 мм на глубину 2,5 мм окончательно	1	15, 5	0,1	40	821,4 4	3	7,7 5	28, 5	4	1,47	
д) снять фаски 1×45° с 4 плоскостей 22b12×28,5±0, 5 мм	1	1	0,09	35	696,3 0	1	11, 31	88	4	0,93	
е) точить резьбовую канавку шириной 5 мм на Ø13h14 окончательно	1		0,2	120	2938, 25	2	2	1,5	2	0,02	
ж) нарезать резьбу М16-6g	0, 4		2	150	2984, 16	7	4	20	4	0,03	
з) сверлить отверстие Ø20H14	8		0,3	80	1273, 24	1	6	8	6	0,05	
и) отрезать деталь в размер 186±1 мм с фаской 4×45° на левом торце	3, 1		0,15	120	636,6 2	1	2	32	2	0,38	

Основное время на всю операцию составит 18,93 мин.

Эскиз технологической обработки детали «Стержень», включающий в себя эскизы всех инструментов, траектории их движения и параметры режимов резания представлен в приложении Г.

3 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

3.1 Разработка методики оценки надежности технологического процесса

Для организации процесса определения надежности ТП необходимо установить последовательность этапов, определить методы выполнения этих этапов, предусмотреть при необходимости возврат к предыдущим этапам. Такая последовательность определенным образом выделенных и упорядоченных этапов и подэтапов с описанием приемов их выполнения представляет собой структуру методики оценки надежности ТП.

В качестве метода моделирования и расчета надежности был выбран схемно-функциональный метод, заключающийся в оценке вероятности безотказного выполнения функций системы в условиях проявления различных отказов элементов. Объектом оценки надежности является индивидуальный ТП, не имеющий в своем составе контрольных и испытательных операций. По результатам проведения расчетов должны быть выявлены наименее надежные ТО или технологические переходы, входящие в состав ТО, с целью ввода после ненадежных операций контроля и/или испытаний.

Методика оценки надежности ТП заключается в следующем:

- а) определение целевых функций ТП;
- б) определение элементов ТП (ТО, технологических переходов в составе ТО);
- в) определение вероятностей безотказной работы каждого элемента;

Примечание: Под безотказной работой элемента ТП можно понимать его способность непрерывно сохранять работоспособное состояние при заданном объеме работы в заданных условиях.

Работоспособное состояние элемента ТП – такое его состояние, при котором элемент функционирует в поле допустимых значений параметров.

Поле допустимых значений параметров – поле допускаемых отклонений параметров элемента ТП.

Параметр элемента ТП – переменная, влияющая на работоспособность элемента ТП.

Вероятностью безотказной работы элемента ТП называется вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации, в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Вероятность безотказной работы элемента ТП может быть определена по формуле

$$P_j(t) = 1 - \frac{r(t)}{N_0},$$

(3.1)

где N_0 – общее число технологического оборудования на участке, на котором возможно осуществление данной ТО или данного технологического перехода;

$r(t)$ – число отказов технологического оборудования к моменту наработки.

Следует отметить, что информация об отказах технологического оборудования записывается в учетной документации предприятия. Источниками сведений об отказах являются: формуляры и карточки неисправности технологических устройств; периодические отчёты об эксплуатации технологических устройств и оперативные журналы;

г) определение отказов каждого элемента;

д) определение вероятности отказа каждого элемента по каждому виду отказа при выполнении каждой функции ТП;

Показатели безотказности средств технологического оснащения (далее – СТО) проявляются только при их эксплуатации и зависят от качества их изготовления, условий эксплуатации, системы ремонта и технического обслуживания, квалификации обслуживающего персонала и пр.

При использовании модели пуассоновского потока событий (экспоненциальный закон) вероятность возникновения отказа будет противоположна формуле (1.1):

$$q_{jv} = 1 - p_{jv} = 1 - e^{-\lambda t}.$$

(3.2)

Интенсивность отказа может быть определена при эксплуатации СТО или из формулы [10]:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda},$$

(3.3)

где T_{cp} – среднее время наработки на отказ. Информация о среднем времени наработки на отказ, как правило, приводится в паспортах технологического оборудования.

Для определения вероятности отказа по причине ошибки рабочего можно использовать классификатор ориентировочных значений вероятности ошибки [13].

е) построение таблиц несовместных событий (для каждой функции ТП) для всех отказов элементов с характеристикой их влияния на выполнение функции (для отказов, влияющих на выполнение функции в графе ставится

«1», для отказов, не влияющих на выполнение функции - «0»).

Примечание: для контрольных и испытательных операций данный пункт пропустить.

Примеры таблиц при разбиении ТО на технологические переходы и при разбиении ТП только на ТО представлены в таблице 3.1 и 3.2 соответственно.

Таблица 3.1 - Функциональная таблица для ТП

ТО	Технологический переход j	Отказы v	Функции ТП i			
			1	2	...	s
Технологическая операция 1	Технологический переход 1	Отказ 1	1	0	1	1
		Отказ 2	1	0	1	0
	Технологический переход 2	Отказ 1	0	0	1	0
	
	Технологический переход m	Отказ 1	1	0	0	0
		Отказ 2	0	1	1	0
	
		Отказ k	0	1	1	1

Таблица 3.2 - Функциональная таблица для ТП

ТО j	Отказы v	Функции ТП i			
		1	2	...	s
Технологическая операция 1	Отказ 1	1	0	1	1
	Отказ 2	0	0	1	0
Технологическая операция 2	Отказ 1	0	0	1	0
	Отказ 2	1	0	1	0
...	Отказ 1	0	0	0	1
	Отказ 2	1	0	0	1
Технологическая операция m	Отказ 1	1	0	0	0
	Отказ 2	0	1	1	0

	Отказ k	0	1	1	1

ж) оценка вероятности выполнения функции (столбцы 1, 2, ..., s) по формуле (1.8).

При появлении хотя бы одного из отказов q_{jv} функция ТП не выполняется.

Суммирование производится только по строкам видов отказов, где для функции i проставлена единица.

Примечание: Для контрольных и испытательных операций проводится оценка вероятности выполнения функции обнаружения брака. Оценка включает в себя все виды отказов;

з) оценка надежности ТП при выполнении функции по формуле (1.9).

Структурная схема методики приведена в приложении Д.

3.2 Применение методики оценки надежности на примере технологического процесса изготовления изделия «Стержень»

Базовый ТП изготовления изделия «Стержень» с нормами времени представлен
в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Базовый ТП изготовления детали «Стержень»

№ ТО	ТО	Оборудование	Штучное время $T_{шт}$, мин
005	Заготовительная	Станок ножовочный 8725	2,85
010	Слесарная	Напильник	2,28
015	Токарная	Станок токарно-винторезный 1В62Г	64,39
020	Фрезерная	Станок вертикальный консольно-фрезерный ВМ127	12,01
025	Слесарная	Напильник	2,28
030	Сверлильная	Станок вертикально-сверлильный одношпиндельный универсальный 2С132	10,95

Расчет надежности был проведен для следующей целевой функции ТП: обеспечение постоянного выпуска изделий, то есть ритмичности производства. Среди прочих целевых функций ТП можно выделить сохранение постоянного порядка действий по изменению и (или) определению состояния заготовки/изделия, обеспечение постоянства штучно-калькуляционного времени и др.

Заполнение таблицы несовместных событий приведено на примере таблицы 3.2 (без разбиения ТО на технологические переходы).

Технологические операции каждого ТП являются его элементами, вероятность работоспособности каждой операции занесена в столбце P_j . Виды отказов, влияющие на выполнение технологическим процессом выделенной целевой функции, для каждой ТО (графа «Отказы»), вероятность появления каждого вида отказа (графа q_{jv}) занесены в таблицу несовместных событий (таблица 3.4).

Для каждого вида отказа определено влияние/отсутствие влияния на выполняемую ТП целевую функцию (графа i).

Вероятность выполнения функции каждой ТО (графа P_{ij}) и вероятность выполнения функции всем ТП (графа P_i) определены с использованием формулы (1.8). Так, например, для заготовительной операции 005 вероятность выполнения функции P_{ij} будет определяться следующим образом:

$$P_{1,005} = P_{005} \cdot \left(1 - \frac{q_{11} q_{12}}{P_{005}} \right) = 0,99 \cdot \left(1 - \frac{0,001 \cdot 0,001}{0,99} \right) = 0,989999.$$

Определение вероятности отказа каждой ТО по данному виду отказа, а также вероятности безотказной работы каждой ТО осуществляются на основе статистической обработки производственных данных, определенных для данной серийности производства, вида оборудования, оснастки, инструмента, квалификации рабочего и прочих факторов.

Таблица 3.4 – Характеристика влияния отказов на функционирование базового ТП изготовления изделия «Стержень»

№ ТО	Наименование ТО	Вероятность безотказной работы ТО $P_j(t)$	Отказ v	Вид отказа	Функция i	Вероятность появления отказа q_{jv}	Вероятность выполнения функции
					1		

1	2	3	4	5	6	7	8
00 5	Заготовительная	0,99	1	Износ оборудования	1	0,001	0,989999
			2	Износ измерительного инструмента	1	0,001	
			3	Ошибка рабочего	0	0,005	
01 0	Слесарная	1	-	-	0	0	1,000000
01 5	Токарная	0,85	1	Износ режущего инструмента	1	0,05	0,849800
			2	Износ технологической оснастки	1	0,01	
			3	Износ оборудования	1	0,02	
			4	Износ измерительного инструмента	0	0,001	
			5	Неточность изготовления режущего инструмента	0	0,002	
			6	Неточность выставления режущего инструмента	0	0,01	
			7	Ошибка рабочего	0	0,05	

Окончание таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8
02 0	Фрезерная	0,9	1	Износ режущего инструмента	1	0,01	0,899998
			2	Износ технологической оснастки	1	0,01	
			3	Износ оборудования	1	0,02	
			4	Износ измерительного инструмента	0	0,001	
			5	Неточность изготовления режущего инструмента	0	0,001	
			6	Неточность выставления режущего инструмента	0	0,01	
			7	Ошибка рабочего	0	0,02	
02 5	Слесарная	0,99	1	Ошибка рабочего	1	0,001	0,989000
03 0	Сверлильная	0,9	1	Износ режущего инструмента	1	0,01	0,899999
			2	Износ технологической оснастки	1	0,01	
			3	Износ оборудования	1	0,01	
			4	Износ измерительного инструмента	0	0,001	
			5	Неточность изготовления режущего инструмента	0	0,002	
			6	Неточность выставления режущего инструмента	0	0,01	

		7	Ошибка рабочего	0	0,02	
--	--	---	-----------------	---	------	--

После того, как найдены все вероятности безотказной работы ТО была определена вероятность выполнения ТП функции $i=1$ путем перемножения всех вероятностей выполнения функции P_{ij} технологическими операциями по формуле (1.9):

$$P_1 = P_{1,005} \cdot P_{1,010} \cdot P_{1,015} \cdot P_{1,020} \cdot P_{1,025} \cdot P_{1,030} = 0,989999 \cdot 1,000000 \times 0,849800 \cdot 0,899$$

Таким образом, обеспечение постоянного выпуска изделий произойдет с вероятностью $P_1=0,673956$. Наименее надежными операциями с точки зрения влияния на данную целевую функцию являются токарная 015 и сверлильная 030 операции.

Рассмотрим методику оценки надежности ТП изготовления детали «Стержень» для спроектированного ТП. Порядок усовершенствованного ТП приведен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Усовершенствованный ТП изготовления детали «Стержень»

№ ТО	ТО	Оборудование
005	Заготовительная	Станок ножовочный 8725
010	Токарная с ПУ	Токарный станок EMCOTURN e65

Результаты расчетов представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Характеристика влияния отказов на функционирование ТП с использованием программируемого оборудования

№ ТО	Наименование ТО	Вероятность работоспособности ТО P_j	Отказ v	Вид отказа	Функция i	Вероятность появления отказа q_{iv}	Вероятность выполнения функции i ТО P_{ij}
					1		
00	Заготовитель	0,99	1	Износ	1	0,001	0,989999

5	ная			оборудования		
			2	Износ измерительного инструмента	1	0,001
			3	Ошибка рабочего	0	0,005
01 0	Токарная с ПУ	0,99	1	Износ режущего инструмента	1	0,001
			2	Износ измерительного инструмента	0	0,001
			3	Сбой в управляющей программе (сбой работы электронной части и приводов)	1	0,001
						0,989999

Вероятность обеспечения постоянного выпуска изделий для ТП с применением СЧПУ составит

$$P_1^i = P_{1,005} \cdot P_{1,010} = 0,989999 \cdot 0,989999 = 0,980098.$$

По результатам расчетов видно, что во втором случае надежность функционирования ТП значительно выше, чем в базовом ТП. Можно сделать вывод о том, что уменьшение количества ГО, при прочих равных условиях, повышает надежность функционирования ТП, а также надежность самого ТП.

Для определения причины и характера влияния на надежность ТП при одинаковых вероятностях появления отказов можно осуществить дальнейшую декомпозицию ТП на технологические переходы с выделением видов отказов для каждого из переходов и применить вышеизложенную методику в том же порядке.

3.2 Оценка надежности технологического процесса при введении контрольных и испытательных операций

После того как были выявлены наиболее критичные операции и виды отказов, необходимо провести оценку надежности ТП, введя в него операции контроля.

Для базового ТП был введен межоперационный контроль после операций, дающих наибольшее количество брака: токарной, фрезерной, сверлильной. Для ТП с применением СЧПУ был введен итоговый контроль, так как вся партия деталей может быть обработана за один раз.

Для контрольной операции были определены вероятность безотказной работы, возможные виды отказов, влияющие на выполнение основной функции контроля - предупреждении брака, и вероятность появления каждого вида отказа (графа q_{jv}). Вероятность выполнения функции выявления брака определена по формуле (1.8).

После проведения контроля была определена вероятность выполнения функции $i=1$ технологическим процессом по формуле полной вероятности:

$$P_i = \frac{\prod P_{ij}}{P_j},$$

(3.1)

где $\prod P_{ij}$ - произведение вероятностей выполнения технологическими операциями, предшествующими контролю/испытанию, функции ТП $i=1$;

P_j - вероятность выполнения функции выявления брака операцией контроля или испытания.

Например, вероятность выполнения функции обеспечения ритмичности производства для базового ТП после введения операции контрольная 017, будет определена следующим образом:

$$P_{1,017} = \frac{P_{1,005} \cdot P_{1,010} \cdot P_{1,015}}{P_{017}} = \frac{0,989999 \cdot 1,000000 \cdot 0,849800}{0,990000} = 0,849799.$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Характеристика влияния контроля на функционирование базового ТП изготовления изделия «Стержень»

№ ТО	Наименование ТО	Вероятность безотказной работы ТО $P_j(t)$	Отказ v	Вид отказа	Функция i	Вероятность появления отказа q_{iv}	Вероятность выполнения функции i ТО P_{ij}
					1		
1	2	3	4	5	6	7	8
005	Заготовительная	0,99	1	Износ оборудования	1	0,001	0,989999
			2	Износ измерительного инструмента	1	0,001	
			3	Ошибка рабочего	0	0,005	
010	Слесарная	1	-	-	0	0	1,000000
015	Токарная	0,85	1	Износ режущего инструмента	1	0,05	0,849800
			2	Износ технологической оснастки	1	0,01	
			3	Износ оборудования	1	0,02	
			4	Износ измерительного инструмента	0	0,001	
			5	Неточность изготовления режущего инструмента	0	0,002	
			6	Неточность выставления режущего инструмента	0	0,01	
			7	Ошибка рабочего	0	0,05	
017	Контрольная	0,99	1	Неточность измерительного оборудование	1	0,002	0,990000
			2	Ошибка рабочего	1	0,005	
			3	Неверно подобранная методика	1	0,001	
			4	Внешние факторы	1	0,0009	
Вероятность выполнения функции после контроля $P_{1,017}$							0,849799
020	Фрезерная	0,9	1	Износ режущего инструмента	1	0,01	0,899998
			2	Износ технологической оснастки	1	0,01	
			3	Износ оборудования	1	0,02	
			4	Износ измерительного инструмента	0	0,001	
			5	Неточность изготовления режущего инструмента	0	0,001	
			6	Неточность выставления режущего инструмента	0	0,01	
			7	Ошибка рабочего	0	0,02	
022	Контрольная	0,99	1	Неточность измерительного оборудование	1	0,002	0,990000
			2	Ошибка рабочего	1	0,005	
			3	Неверно	1	0,001	

				подобранная методика			
			4	Внешние факторы	1	0,0009	
Вероятность выполнения функции после контроля $P_{1,022}$							0,909089
02 5 03 0	Слесарная	0,99	1	Ошибка рабочего	1	0,001	0,989000
			1	Износ режущего инструмента	1	0,01	
			2	Износ технологической оснастки	1	0,01	
			3	Износ оборудования	1	0,01	
	Сверлильная	0,9	4	Износ измерительного инструмента	0	0,001	0,899999
			5	Неточность изготовления режущего инструмента	0	0,002	
			6	Неточность выставления режущего инструмента	0	0,01	
			7	Ошибка рабочего	0	0,02	

Окончание таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8
03 3	Контрольная	0,99	1	Неточность измерительного оборудование	1	0,002	0,990000
			2	Ошибка рабочего	1	0,005	
			3	Неверно подобранная методика	1	0,001	
			4	Внешние факторы	1	0,0009	
Вероятность выполнения функции после контроля $P_{1,033}$							0,899090

После того, как найдены все вероятности безотказной работы ТО после операций контроля была определена вероятность выполнения ТП функции $i=1$ по формуле (1.9):

$$P_1^i = P_{1,017} \cdot P_{1,022} \cdot P_{1,033} = 0,849799 \cdot 0,909089 \cdot 0,899090 = 0,694586.$$

Таким образом, обеспечение постоянного выпуска изделий произойдет

с большей вероятностью при контролировании ТП, чем без него ($P_1^i = 0,694586 > P_1 = 0,673956$).

Рассмотрим влияние контроля на надежность ТП изготовления детали «Стержень» для спроектированного ТП. Результаты расчетов представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Характеристика влияния отказов на функционирование ТП с использованием программируемого оборудования

№ ТО	Наименование ТО	Вероятность работоспособности ТО P_j	Отказ v	Вид отказа	Функция i	Вероятность появления отказа q_{iv}	Вероятность выполнения функции i ТО P_{ij}
					1		
005	Заготовительная	0,99	1	Износ оборудования	1	0,001	0,989999
			2	Износ измерительного инструмента	1	0,001	
			3	Ошибка рабочего	0	0,005	
010	Токарная с ПУ	0,99	1	Износ режущего инструмента	1	0,001	0,989999
			2	Износ измерительного инструмента	0	0,001	
			3	Сбой в управляющей программе (сбой работы электронной части и приводов)	1	0,001	
012	Контрольная	0,99	1	Неточность измерительного оборудование	1	0,002	0,990000
			2	Ошибка рабочего	1	0,005	
			3	Неверно подобранная методика	1	0,001	
			4	Внешние факторы	1	0,0009	
Вероятность выполнения функции после контроля $P_{1,012}$							0,989998

Вероятность выполнения функции обеспечения постоянного выпуска изделий для спроектированного ТП составит

$$P_1^i = \frac{P_{1,005} \cdot P_{1,010}}{P_{012}} = \frac{0,989999 \cdot 0,989999}{0,990000} = 0,989998.$$

Как и в предыдущем случае вероятность выполнения заданной функции ТП увеличится ($P_1^i = 0,989998 > P_1 = 0,980098$).

Межоперационный контроль имеет своей целью проверку качества выполнения операций и своевременное выявление и изъятие брака.

По результатам расчетов видно, что при введении контроля надежность функционирования ТП увеличивается. Однако во втором

случае надежность функционирования ТП выше, чем в базовом ТП. Можно сделать вывод о том, что повышение надежности функционирования ТП не должно осуществляться только за счет постоянного увеличения операций контроля и испытаний, необходимо обращать внимание на структуру ТП.

Таким образом, предлагаемая методика оценки надежности ТП позволяет решать как прямую задачу - нахождение надежности ТП по надежности его элементов, так и обратную задачи - унифицированным образом устанавливать наименее надежные элементы ТП и наиболее вероятные виды отказов, что позволяет корректировать структуру ТП, устраняя критичные элементы или меняя их параметры путем введения контрольных и испытательных процедур и операций.

4 РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ «СТЕРЖЕНЬ»

Для обоснования эффективности применения методики необходимо произвести расчет экономических характеристики базового и усовершенствованного ТП.

4.1 Расчет численности персонала и количества технологического оборудования

Основой для расчета численности персонала и количества необходимого оборудования является годовой эффективный фонд времени работы оборудования, ч:

$$\Phi_0 = \Phi_{ном} \left(1 - \frac{a}{100} \right),$$

(4.1)

где $\Phi_{ном}$ - номинальный фонд рабочего времени при односменной рабочей неделе
(на 2019 г $\Phi_{ном} = 1970$ ч);

a - плановый процент простоя оборудования в связи с ремонтом и переналадкой (примем $a = 5$ %).

$$\Phi_0 = 1970 \cdot \left(1 - \frac{5}{100} \right) = 1872 \text{ ч.}$$

Годовой эффективный фонд времени работы одного рабочего, ч:

$$\Phi_p = \Phi_{ном} \left(1 - \frac{b}{100} \right),$$

(4.2)

где b - разрешенный трудовым законодательством максимальный для промышленности процент невыходов на работу по отношению к номинальному фонду времени ($b = 12,8$ %).

$$\Phi_p = 1970 \cdot \left(1 - \frac{12,8}{100} \right) = 1718 \text{ ч.}$$

Необходимое число i -го технологического оборудования определяют, округляя в большую сторону, по формуле

$$C_{oi} = \frac{NT_{шт.к_i}}{60 \cdot \Phi_o},$$

(4.3)

где N – годовая программа выпуска изделий, шт.;
 $T_{шт.к_i}$ – штучно-калькуляционное время обработки одного изделия на i -м оборудовании, мин:

$$T_{шт.к.} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{N},$$

(4.4)

где $T_{п.з}$ – подготовительно-заключительное время на операцию, мин [24].

Затраты времени, входящие в $T_{п.з}$, определены в соответствии с общемашиностроительными нормативами [25, 26].

Результаты расчета штучно-калькуляционного времени представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Штучно-калькуляционное время на обработку

№ операции	Операция	Норматив времени		
		$T_{п.з}$, мин	$T_{шт}$, мин	$T_{шт.к}$, мин
005	Заготовительная	1,7	2,85	2,87
010	Слесарная	2,6	2,28	2,32
015	Токарная	6	64,39	64,47
020	Фрезерная	27	12,01	12,39
025	Слесарная	1,6	2,28	2,30
030	Сверлильная	15	10,95	11,16
Итого:				95,44

Для усовершенствованного ТП штучное время определяется по формуле:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{отл}$$

(4.5)

где $T_в$ - вспомогательное время, мин ($T_в=0,5$ мин);

$T_{обс}$ - время на обслуживание рабочего места, мин [25]:

$$T_{обс}=0,08 \cdot (T_о+T_в);$$

(4.6)

$T_{отл}$ - время на отдых и личные надобности ($T_{отл}=10$ мин).

Время на обслуживание рабочего места:

$$T_{обс}=0,08 \cdot (18,93+0,5)=1,55 \text{ мин.}$$

Так как устройство подачи прутка позволяет загружать прокат длиной

до 1200 мм, то вся партия деталей может быть обработана за 12 подач прутка (в данном случае $N=12$). Из данной заготовки из прутка можно изготовить 6 деталей. Таким образом, штучно-калькуляционное время для усовершенствованного ТП на всю партию составит:

$$T_{шт.к.}=72 \cdot 18,93+12 \cdot 0,5+1,55+10+\frac{22}{12}=1382,34 \text{ мин.}$$

Для удобства дальнейших расчетов время на операцию 005 Заготовительная так же было рассчитано на всю партию ($N=12$).

Результаты расчета штучно-калькуляционного времени представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Штучно-калькуляционное время на обработку

№ операции	Операция	Норматив времени		
		$T_{п.з}$, мин	$T_{шт}$, мин	$T_{шт.к}$, мин
005	Заготовительная	4,3	34,2	85,80
010	Токарная с ПУ	1,83	1380,51	1382,34
Итого:				1468,24

Численность основных производственных рабочих квалификации i определяют по формуле, округляя до ближайшего целого числа [24]:

$$Ч_{o_i} = \frac{N T_{шт.к_i}}{60 \cdot \Phi_{p_i} K_{вн_i}}, \quad (4.7)$$

где $K_{вн_i}$ - планируемый коэффициент выполнения норм выработки рабочим i -й квалификационной группы (для машиностроения $K_{вн_i} = 1,1$).

Для базового ТП необходимы токарь 2-го разряда, фрезеровщик 2-го разряда и слесарь 2-го разряда, для усовершенствованного ТП - слесарь 2-го разряда и токарь 3-го разряда.

Численность вспомогательных производственных рабочих определяют в процентном соотношении от численности основных рабочих [24]:

$$Ч_{в} = 0,4 \sum Ч_{o_i}. \quad (4.8)$$

Численность инженерно-технических работников (далее - ИТР), служащих и младшего обслуживающего персонала (далее - МОП) определяется в процентном соотношении от численности основных и вспомогательных рабочих по формулам [24]:

$$Ч_{ИТР} = 0,1 \cdot \dot{i}, \quad (4.9)$$

$$Ч_{служ} = 0,03 \cdot \dot{i}, \quad (4.10)$$

$$Ч_{МОП} = 0,02 \cdot \dot{i}. \quad (4.11)$$

Результаты расчетов по формулам (4.3) - (4.11) для базового и усовершенствованного ТП сведены в таблицу 4.2 и 4.3 соответственно.

Таблица 4.2 - Результаты расчета численности персонала и основного производственного оборудования для базового ТП

№ п/п	Параметр	Обозначение	Значение
1	2	3	4
1	Необходимое количество оборудования		
1.1	Станок ножовочный 8725	C_{0005} шт.	1

1.2	Напильник и слесарный верстак	$C_{o_{010}} + C_{o_{025}}$, шт.	1
1.3	Станок токарно-винторезный 1В62Г	$C_{o_{010}}$, шт.	1
1.4	Станок вертикальный консольно-фрезерный ВМ127	$C_{o_{020}}$, шт.	1
1.5	Станок вертикально-сверлильный одношпиндельный универсальный 2С132	$C_{o_{030}}$, шт.	1
2	Численность основных рабочих		
2.1	Токарь 2-го разряда	$Ч_{o_1}$, чел.	1
2.2	Фрезеровщик 2-го разряда	$Ч_{o_2}$, чел.	1

Окончание таблицы 4.2

1	2	3	4
2.2	Слесарь 2-го разряда	$Ч_{o_3}$, чел.	1
3	Численность вспомогательных рабочих	$Ч_{в}$, чел.	1
4	Численность ИТР	$Ч_{ИТР}$, чел.	1
5	Численность служащих	$Ч_{служ}$, чел.	1
6	Численность МОП	$Ч_{МОП}$, чел.	1

Таблица 4.3 - Результаты расчета численности персонала и основного производственного оборудования для усовершенствованного ТП

№ п/п	Параметр	Обозначение	Значение
1	Необходимое количество оборудования		
1.1	Станок ножовочный 8725	$C_{o_{005}}$, шт.	1
1.2	Станок токарный EMCOTURN e65	$C_{o_{010}}$, шт.	1
2	Численность основных рабочих		
2.1	Слесарь 2-го разряда	$Ч_{o_1}$, чел.	1
2.2	Токарь 3-го разряда	$Ч_{o_2}$, чел.	1
3	Численность вспомогательных рабочих	$Ч_{в}$, чел.	1
4	Численность ИТР	$Ч_{ИТР}$, чел.	1
5	Численность служащих	$Ч_{служ}$, чел.	1
6	Численность МОП	$Ч_{МОП}$, чел.	1

4.2 Расчет себестоимости изготовления изделия

Расчет себестоимости является наряду с трудоемкостью одной из важнейших характеристик эффективности ТП. Расчет себестоимости изделия «Стержень» выполнен на основе метода калькулирования по статьям затрат и расходов.

Полная себестоимость изделия включает производственную себестоимость и внепроизводственные расходы (отчисления на научно-исследовательские работы, расходы по подготовке кадров и т.п.). Полную себестоимость принимают как 5% от

производственной себестоимости:

$$C_{пол} = 1,05 \cdot C_{пр}, \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

где $C_{пр}$ - производственная себестоимость, руб.

Производственная себестоимость включает в себя общезаводские хозяйственные расходы и цеховую себестоимость:

$$C_{пр} = C_{ц} + P_{з}, \quad (4.13)$$

где $C_{ц}$ - цеховая себестоимость, руб.;

$P_{з}$ - общезаводские хозяйственные расходы, руб.

Общезаводские хозяйственные расходы принимают как процент от цеховых расходов (для машиностроения эта доля, в среднем, составляет 18 %):

$$P_{з} = 0,18 \cdot P_{ц}, \quad (4.14)$$

где $P_{ц}$ - цеховые расходы, руб.

Цеховые расходы включают затраты на управление производством, на содержание персонала, зданий, сооружений, а также затраты на испытания, исследования и пр.

Цеховые расходы принимают как процент от суммы ОЗП основных производственных рабочих:

$$P_{ц} = K_{ц} \sum ОЗП_i, \quad (4.15)$$

где $K_{ц}$ - коэффициент цеховых расходов (принимается $K_{ц} = 2$).

Цеховая себестоимость включает в себя все затраты цеха на производство продукции:

$$C_{ц} = C_{м} + \sum ЗП_o + \sum ЗП_в + \sum ЗП_{ИТР} + \sum ЗП_{служ} + \sum ЗП_{МОП} + \Phi_n + \Phi_n + \sum Э_{c_i} + \sum P_{мс_i} + \sum A \quad (4.16)$$

где C_m - затраты на основные материалы, руб.;

$\sum 3П_o$ - суммарная заработная плата основных производственных рабочих, руб.;

$\sum 3П_{ИТР}$ - суммарная заработная плата ИТР, руб.;

$\sum 3П_v$ - суммарная заработная плата вспомогательных рабочих, руб.;

$\sum 3П_{служ}$ - суммарная заработная плата служащих, руб.;

$\sum 3П_{МОП}$ - суммарная заработная плата МОП, руб.;

Φ_n - отчисления в непроизводственные фонды, руб.;

Φ_n - отчисления в фонд обязательного страхования производственных рисков, руб.;

$\sum \mathcal{E}_{c_i}$ - суммарные расходы на энергоресурсы для производственных нужд, руб.;

$\sum P_{mc_i}$ - суммарные расходы на технологические среды и вспомогательные технологические материалы, руб. (для обработки изделия «Стержень» не требуется применение смазочно-охлаждающей жидкости, поэтому $\sum P_{mc_i}=0$);

$\sum A_i$ - суммарные амортизационные отчисления, руб.;

$P_{PCЭO}$ - расходы на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования (далее - РСЭO), руб [26].

4.2.1 Расчет затрат на основные материалы

Стоимость основного материала на изготовление изделия, руб. [26]:

$$C_m = C_m M_3 N K_{mз},$$

(4.17)

где C_m - цена 1 кг материала, руб ($C_m=42$ руб.);

M_3 - масса заготовки, кг;

$K_{mз}$ - коэффициент транспортно-заготовительных расходов (в среднем принимают $K_{mз}=1,1$).

Для базового ТП заготовкой является пруток длиной 200 мм ($M_3=4,44$ кг),
в усовершенствованном - пруток длиной 1200 мм ($M_3=26,62$ кг).

Результаты расчетов по формулам (4.12) - (4.17) приведены в таблице 4.12.

4.2.2 Расчет заработной платы персонала и отчислений в фонды

Заработная плата основных производственных рабочих рассчитывается по формуле

$$ЗП_{о_i} = ОЗП_i + ДЗП_i, \quad (4.18)$$

где $ОЗП_i$ - основная заработная плата, руб.;

$ДЗП_i$ - дополнительная заработная плата, руб.

Основная заработная плата основных производственных рабочих определяется по формуле

$$ОЗП_i = З_i + Д_i + П_i, \quad (4.19)$$

где $З_i$ - заработная плата i -й квалификационной группы по тарифу, руб.:

$$З_i = \frac{K_c N T_{шт.к_i} C_{ч_i}}{60}, \quad (4.20)$$

K_c - районный коэффициент (для условий, приравненных к районам Крайнего Севера $K_c = 2,2$);

$C_{ч_i}$ - стоимость 1-го нормо-часа работы рабочего i -й квалификационной группы, руб.;

$Д_i$ - доплаты (в среднем по машиностроительным цехам можно принять 20 % от заработной платы), руб.;

$П_i$ - премии (в среднем по машиностроительным цехам можно принять 30 % от заработной платы), руб.

Дополнительная заработная плата является обязательным дополнением к основной заработной плате:

$$ДЗП_i = K_{ДЗП_i} ОЗП_i, \quad (4.21)$$

где $K_{ДЗП_i}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (для цехов машиностроительного предприятия принимается $K_{ДЗП_i} = 0,3$) [26].

Результаты расчетов ОЗП основных производственных рабочих приведены в таблице 4.4 и 4.5.

Таблица 4.4 - Заработная плата основных производственных рабочих для базового ТП

№	Должность	Параметры								
		K_c	$C_{ч_i}$, руб./ч	$З_i$, руб.	$Д_i$, руб.	$П_i$, руб.	$ОЗП_i$, руб.	$K_{ДЗП_i}$	$ДЗП_i$, руб.	$ЗП_{о_i}$, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Токарь 2-го разряда	2,2	120	20424,10	4084,82	6127,23	30636,15	0,3	9190,85	39827,00
2	Фрезеров		187	6116,7	1223,	1835,	9175,0		2752,	11927,

щик 2-го разряда				0	34	01	5		52	57
------------------------	--	--	--	---	----	----	---	--	----	----

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	Слесарь 2-го разряда	2, 2	59	2904,9 2	580,9 8	871,4 8	4357,3 8	0,3	1307, 21	5664,5 9
Итого:							44168, 58			57419, 16

Таблица 4.5 - Заработная плата основных производственных рабочих для усовершенствованного ТП

№	Должность	Параметры								
		K_c^i	$C_{ч,}^i$ руб./ч	Z_i^i руб.	D_i^i руб.	Π_i^i руб.	$OЗП_i^i$ руб.	$K_{ДЗП_i}^i$	$ДЗП_i^i$ руб.	$ЗП_{о,}^i$ руб.
1	Слесарь 2-го разряда	2, 2	59	185,61	37,12	55,68	278,41	0,3	5245, 98	361,92
2	Токарь 3-го разряда		230	11657, 73	2331, 55	3497, 32	17486, 6			22732, 58
Итого:							17765, 01			23094, 50

Заработную плату вспомогательных рабочих рассчитывают как процент от заработной платы основных рабочих:

$$ЗП_в = 0,4 \cdot ЗП_о. \quad (4.22)$$

Заработная плата ИТР определяется по формуле:

$$ЗП_{ИТР_i} = \frac{Ч_{ИТР_i} T_1 K_{рИТР_i} \Pi_i K_c N \sum T_{шт.к_i}}{60}, \quad (4.23)$$

где T_1 - тарифная ставка станочника наименьшего разряда станочника, обрабатывающего данное изделие (в данном случае разряд 2);

$K_{рИТР_i}$ - коэффициент разряда тарифной ставки;

Π_i - премия (принимается как 40 % от должностного оклада $\Pi_i = 1,4$), руб.

Заработная плата служащих и МОП определяется по формулам, аналогичным (4.23):

$$ЗП_{служ_i} = \frac{Ч_{служ_i} T_{1_{служ}} K_{рслуж_i} \Pi_i K_c N \sum T_{шт.к_i}}{60}, \quad (4.24)$$

где $T_{1_{служ}}$ - базовая тарифная ставка служащего данной категории, руб./ч;

$$ЗП_{МОП_i} = \frac{Ч_{МОП_i} T_{1_{МОП_i}} K_{p_{МОП_i}} \Pi_i K_c N \sum T_{шт.к_i}}{60}, \quad (4.25)$$

где $T_{1_{МОП_i}}$ - базовая тарифная ставка МОП данной категории, руб./ч.

Результаты расчетов заработной платы вспомогательных рабочих, ИТР, служащих и МОП представлены в таблицах 4.6 и 4.7.

Тарифные ставки и стоимость нормо-часов рабочих были приняты на основе общемашиностроительных данных [26].

Таблица 4.6 - Заработная плата ИТР, служащих и МОП для базового ТП

№	Категория	Параметры			
		Π_i , руб.	T_1	K_p	$ЗП$, руб.
1	Вспомогательные рабочие	-	-	-	22967,66
2	ИТР	1,4	24	1,2	10159,09
3	Служащие		19	1,1	7372,4
4	МОП		14	1	4938,45

Таблица 4.7 - Заработная плата ИТР, служащих и МОП при усовершенствованном ТП

№	Категория	Параметры			
		Π_i , руб.	T_1	K_p	$ЗП^i$, руб.
1	Вспомогательные рабочие	-	-	-	9237,80
2	ИТР	1,4	28	1,4	2781,64
3	Служащие		19	1,1	1483,07
4	МОП		14	1	993,44

Помимо затрат на заработную плату необходимо осуществлять отчисления

в непроизводственные фонды (4.26) и фонды обязательного страхования производственных рисков (4.27) [26]:

$$\Phi_n = 0,3 \cdot ЗП_o, \quad (4.26)$$

$$\Phi_n = 0,028 \cdot ЗП_o, \quad (4.27)$$

Результаты расчетов по формулам (4.26) - (4.27) приведены в таблице 4.12.

4.2.3 Расчет расходов на энергоресурсы

Энергоресурсы, необходимые для работы технологического

оборудования, задействованного в ТП определяются по формуле [27]

$$\mathcal{E}_{c_i} = C_{\mathcal{E}_i} \Phi_{o_i} K_{z_i} K_{c_i} M_i, \quad (4.28)$$

где $C_{\mathcal{E}_i}$ - стоимость расхода i -го энергоресурса, руб./ч;

K_{z_i} - коэффициент загрузки i -й единицы оборудования;

$$K_{z_i} = \frac{T_{шт} N}{C_{o_i} \Phi_o}, \quad (4.29)$$

K_{c_i} - коэффициент спроса мощности, учитывающий недогрузку оборудования по потреблению i -го ресурса (по электроэнергии - $K_{c_1} = 0,25$, по воздуху - $K_{c_2} = 0,2$);

M_i - максимально потребляемый ресурс за час [28, 29, 30, 31, 19].

Для работы станков необходима электрическая энергия (ресурс $i=1$), для СЧПУ также необходим сжатый воздух (ресурс $i=2$). Результаты расчетов расходов на энергоресурсы представлены в таблицах 4.8 и 4.9.

Таблица 4.8 - Расход энергоресурсов для изготовления изделия «Стержень» по базовому ТП

№	Оборудование	Параметры				
		$C_{\mathcal{E}_i} \Pi_i$, руб./ч	K_{z_i}	K_{c_i}	M_i , кВт	\mathcal{E}_{c_i} руб.
1	Станок ножовочный 8725	4,5	0,0 02	0,2 5	2,12	8,93
2	Станок токарно-винторезный 1В62Г		0,0 41		7,5	647,60
3	Станок вертикальный консольно-фрезерный ВМ127		0,0 08		11	185,33
4	Станок вертикально-сверлильный одношпиндельный универсальный 2С132ный		0,0 07		4	58,97
Итого						900,83

Таблица 4.9 - Расход энергоресурсов для изготовления изделия «Стержень» по усовершенствованному ТП

№	Оборудование	Параметры								
		$C_{\mathcal{E}_i}$, руб./ч		K_{z_i}	K_{c_1}	M_i		\mathcal{E}_{c_i} , руб.		
		$C_{\mathcal{E}_1}$	$C_{\mathcal{E}_2}$			K_{c_1}	K_{c_2}	M_1 , кВт	M_2 , кВА	\mathcal{E}_{c_1}
1	Станок ножовочный 8725	4,5	4,7	0,0 02	0,2 5	0,2	2,12	-	8,93	-
2	Станок токарный EMCOTURN e65		4,7	0,0 1		0,2	22	20	463,32	351,94
Итого									472,25	351,94

4.2.4 Расчет амортизационных отчислений

Для каждого вида оборудования амортизационные отчисления рассчитываются линейным способом по формуле [27]

$$A_i = \frac{C_i N T_{шт.к_i}}{60 \cdot \Phi_o n_{A_i}},$$

(4.30)

где C_i – балансовая стоимость оборудования на текущий период (для проектируемого производства балансовая стоимость равна первоначальной стоимости), руб;

n_{A_i} – период эксплуатации оборудования, лет (для универсального принимается $n_{A_i} = 7$ лет, а для СЧПУ – $n_{A_i} = 10$ лет).

Результаты расчетов амортизационных отчислений представлены в таблицах 4.10 и 4.11.

Таблица 4.10 – Результаты расчетов амортизационных отчислений для базового ТП

№	Оборудование	Параметры		
		C_i , тыс. руб.	n_{A_i} , лет	A_i , руб.
1	Станок ножовочный 8725	275	7	72,28
2	Станок токарно-винторезный 1В62Г	1470		8667,88
3	Станок вертикальный консольно-фрезерный ВМ127	1400		1588,46
4	Станок вертикально-сверлильный одношпиндельный универсальный 2С132	400		84,25
Итого				10412,87

Таблица 4.11 – Результаты расчетов амортизационных отчислений для усовершенствованного ТП

№	Оборудование	Параметры		
		C_i , тыс. руб.	n_{A_i} , лет	A_i , руб.
1	Станок ножовочный 8725	275	7	12,05
2	Станок токарный EMCOTURN e65	14000	10	17230,02
Итого				17242,07

4.2.5 Расчет расходов на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования

Данную статью расходов принимают как процент от суммы ОЗП основных производственных рабочих [27]:

$$P_{PCЭО} = K_{PCЭО} \sum OЗП_i,$$

(4.31)

где $K_{PCЭО}$ – коэффициент расходов на РСЭО (принимается $K_{PCЭО} = 1,9$).

Результаты расчетов себестоимости изготовления изделия «Стержень» представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Экономические показатели ТП изготовления изделия «Стержень»

№	Наименование затрат	Затраты при базовом ТП, руб.	Затраты при усовершенствованном ТП, руб.	Абсолютное изменение, руб.	Относительное изменение, %
1	Основные материалы	147692,22	14758,13	-11,09	-0,008
2	Заработная плата основных производственных рабочих	57419,16	23094,50	-34324,66	-59,78
3	Отчисления в непроизводственные фонды	17225,75	6928,35	-10297,4	-59,78
4	Отчисления в фонд обязательного социального страхования производственных рисков	1607,74	646,65	-961,09	-59,78
5	Амортизационные отчисления	10412,87	17242,07	6829,20	65,58
6	Расходы на ремонт, содержание и эксплуатацию оборудования	83920,3	33753,52	-50166,78	-59,78

7	Цеховые расходы	114838,32	46189,00	-68649,32	-59,78
8	Цеховая себестоимость	479454,79	157932,36	-321522,43	-67,06
9	Общезаводские расходы	20670,90	8314,02	-12356,88	-59,78
10	Производственная себестоимость	500125,69	166246,38	-333879,31	-66,76
11	Внепроизводственные расходы	25006,28	8312,32	-16693,96	-66,76
12	Полная себестоимость	525131,97	174558,70	-350573,27	-66,76

Таким образом, технико-экономический эффект от применения усовершенствованного ТП по себестоимости составит 350573,27 руб. или 66,76%.

Для определения технико-экономического эффекта по трудоемкости используют показатели абсолютного и относительного изменения трудоемкости:

$$\Delta(Tp) = N(T_{шт.к} - T_{шт.к}^i),$$

(4.32)

$$n = \frac{\Delta(Tp)}{N T_{шт.к}} \cdot 100\%.$$

(4.33)

$$\Delta(Tp) = 72 \cdot 95,44 - 1382,34 = -5489,34 \text{ ч},$$

$$n = \frac{-5489,34}{72 \cdot 95,44} \cdot 100\% = -79,88\%.$$

Экономия по трудоемкости составила 5489,34 ч или 79,98%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ВЫВОДЫ

ТП оказывает прямое действие на показатели надежности выходного продукта.

В работе был рассмотрен график изменения надежности ТП. При увеличении количества элементов ТП его надежность уменьшается, однако, введение контрольных операций обеспечивает ее повышение. Существующая методика введения операций контроля имеет недостатки, такие как недостаточная формализация в действующей документации, интуитивный ввод операций на основании опыта технолога, неприемлемость

для индивидуального ТП. Одним из способов устранения недостатков является разработка методика оценки надежности ТП. Для этого было проведено сравнение пяти методов расчета и моделирования надежности ТП. В результате анализа был выбран схемно-функциональный метод. На основе данного метода была разработана методика оценки надежности ТП, позволяющая произвести расчет надежности выполнения целевых функций данным ТП при заданных производственных условиях.

Применимость методики была подтверждена на примере двух ТП изготовления изделия «Стержень»: базовом и усовершенствованном. Усовершенствованный ТП был спроектирован в технологической части выпускной работы. По сравнению с базовым ТП обработка изделия «Стержень» осуществляется на токарном станке с ЧПУ.

По результатам расчетов надежность функционирования базового ТП составила 0,673956, а усовершенствованного ТП – 0,980098, что говорит о том, что уменьшение количества операций, при прочих равных условиях, позволяет повысить надежность функционирования ТП. Во втором случае (при введении контрольных операций) надежность базового составила 0,694586, а надежность усовершенствованного ТП – 0,989998. Введение контроля повысило надежность функционирования обоих ТП по сравнению с первым вариантом.

Предлагаемая методика оценки надежности ТП позволяет находить числовое значение надежности ТП по надежности его элементов, а также предлагает формализованный подход

к поиску наименее надежных элементов ТП и причин их отказов, что позволяет корректировать структуру ТП, устраняя критичные элементы или меняя их параметры путем введения контрольных и испытательных процедур и операций.

В экономической части приведен расчет экономической эффективности вновь спроектированного ТП изготовления изделия «Стержень». Технико-экономический эффект от применения усовершенствованного ТП по себестоимости для всей партии изделий составит 350573,27 руб., а по трудоемкости 5489,34 ч, что на 79,88% меньше по сравнению с базовым ТП.

Таким образом, предлагаемая в выпускной работе методика оценки надежности позволяет рассчитать действительную надежность выполнения целевых функций ТП, корректировать ТП по результатам расчетов и позволяет наиболее эффективно проводить производственный процесс путем уменьшения на него расходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением N 1) [Текст]. – Введ. 1979-07-01. – М. Стандартиформ, 2009 – 22 с.
- 2 Бочкарев, С.В. Диагностика и надежность автоматизированных систем [Текст] : учеб. пособ. ; Пермский гос. техн. ун-т / С.В. Бочкарев, А.И. Цаплин. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. 485 с.
- 3 Герасимова, Г.А. Управление качеством машиностроительной продукции [Текст] / Г.А. Герасимова // Проблемы и перспективы экономики и управления : материалы III Междунар. науч. конф., 20-23 декабря 2014 г. – СПб.: Заневская площадь, 2014. – С. 191-193.
- 4 ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования [Текст]. – Введ. 2015-11-01. – М. Стандартиформ, 2018 – 32 с.
- 5 ГОСТ ISO 9001-2011 2015 Системы менеджмента качества. Требования [Текст]. – Введ. 2013-01-01. – М. Стандартиформ, 2018 – 33 с.
- 6 Кочегин, А.А. Показатели качества технологических процессов и систем [Текст] / А.А. Кочегин, Е.В. Шендалева // Показатели качества технологических процессов и систем : Современная техника и технологии : сб. тр. XVII междунар. науч.-практ. конф. студ., асп. и мол. ученых, 18-22 апреля 2011 г. / Нац. исслед. Томский политех. ун-т (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – С. 137-138.
- 7 Шмелева, А.А. Оценка качества технологических процессов в системе менеджмента качества организации [Текст] / А.А. Шмелева, И.Е. Парфеньева // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XLIV междунар. науч.-практ. конф. – 2015. № 3(40). – С. 119-129.
- 8 Werbińska-Wojciechowska, S. Reliability assessment of production process – Markov modelling approach [Electronic resource] / S. Werbińska-Wojciechowska [et al] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2018. – Iss. 637. Electronic text data. DOI : 10.1007/978-3-319-64465-3_38, free access (27.04.2019). Title from screen.

9 Мехоношин, В.С. Надежность технических систем и техногенный риск [Текст] : учеб. посою. / В.С. Мехоншин ; Ульянов. высш. авиац. уч. гражд. авиац. (инст.). – Ульяновск, 2005. – 90 с.

10 Федотов, А.В. Основы теории надежности и технической диагностики [Текст] : консп. лекций ; Омск. гос. тезн. ун-т / А.В. Федотов, Н.Г. Скабкин. –Омск. Изд-во ОмГТУ, 2010. – 64 с.

11 Чернов, В.Ю. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов [Текст] : учеб. пос. ; Санкт-Пет. гос. ун-т аэрок. приб. / В.Ю. Чернов, В.Г. Никитин, Ю.П. Иванов. – СПб.: СПбГУАП, 2004. – 96 с.

12 Слышалов В.К. Анализ методов, основанных на теории графов для определения надежности схем ЭЭС [Текст]: / В.К. Слышалов, Г.В. Чекан // Вестник ИГЭУ. – 2010. – № 4. – С. 57-58.

13 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности [Текст] : учеб. для вуз. / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др. – М.: Высшая школа, 2006. – 616 с.

14 Ключкин, А. ПоГОСТ реформы. Краткая история отказа России от системы госстандартов [Электронный ресурс] / Антон Ключкин // Лента.ру : [офиц. сайт] / LENTA.RU Экономика, [2009]. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://lenta.ru/articles/2009/12/18/gost/>, свободный (дата обращения : 18.05.2019). – Загл. с экрана.

15 Машиностроительное проектирование. Параметры шероховатости [Электронный ресурс] / Документация // Машиностроительное проектирование [офиц. сайт] / Машиностроительное проектирование. Электрон. дан. – Режим доступа: https://alexfl.pro/drawing/drawing_sherohovat.html (дата обращения : 19.05.2019). – Загл. с экрана.

16 Цхай, Э.Б. Шероховатость поверхности деталей в зависимости от назначения [Текст] : мет. указ. для вып. курс. и дипл. работ по дет. машин / Э.Б. Цхай, А.А. Клопотов, Р.А. Козырева ; Томский гос. арх.-стр. ун-т. – Томск : ТГАСУ, 2015. – 28 с.

17 ГОСТ 1050-2013 Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия (с Поправкой) [Текст]. – Введ. 2015-01-01. – М. Стандартиформ, 2014 – 44 с.

18 Жуков, Э.Л. Технология машиностроения [Текст] : учеб. пособ. для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения / Э.Л. Жуков [и др.]. – М.: Высшая школа, 2003. – 278 с.

19 Emcoturn E65: Технические характеристики [Электронный ресурс] /Токарные станки с ЧПУ // IMTT : [офиц. сайт] / Italian Machine Tools Technologies. – Электрон. дан. – Режим доступа : http://imtt.ru/e/tokarnye_stanki/s_chpu/emcoturnE65/ro, свободные (дата обращения : 20.05.2019). – Загл. с экрана.

20 Токарные патроны DURO [Электронный ресурс] / Продукты // RÖHM : [офиц. сайт] / Официальное представительство RÖHM в России. – Электрон. дан. – Режим доступа : <http://roehm.ru/d/221513/d/duro-t.pdf> (дата обращения : 20.05.2019). – Загл. с экрана.

21 Владимиров, В.М. Изготовление и ремонт контрольно-измерительных и режущих инструментов [Текст] : уч. для средн. проф.-техн. училищ / В.М. Владимиров. – М.: Высшая школа, 1976. – 280 с.

22 Электронный каталог [Электронный ресурс] / Электронный каталог // ISCAR : [офиц. сайт] / ISCAR, LTD, металлорежущие инструменты. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx> (дата обращения 29.05.2019) – Загл. с экрана.

23 Электронный каталог [Электронный ресурс] / Сервис // Hoffman Group : [офиц. сайт] / Hoffman Group. – Электрон. дан. – Режим доступа : <https://www.hoffmann-group.com/RU/ru/horu/service/downloads/blaetterkatalog> (дата обращения 29.05.2019) – Загл. с экрана.

24 Данилевский, В.В. Справочник молодого машиностроителя [Текст] : справ. для мол. раб. маш. зав. и уч. проф.-техн. училищ / В.В. Данилевский. – М.: «Высш. школа», 1973. – 648 с.

25 Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного при работе на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производство. Дифференцированные (утв. Госкомтруда СССР) [Электронный ресурс] / Главная / Законы, кодексы, нормативные и судебные акты [офиц. сайт] / Законы, кодексы, нормативные и судебные акты/ – Электрон. дан. – Режим доступа :

<https://legalacts.ru/doc/obshchemashinostroitelnye-normativy-vremeni-vspomogatelnogo-na-obsluzhivanie-rabochego/> (дата обращения 15.06.2019) – Загл. с экрана.

26 Общемашиностроительные нормативы времени на заготовительные работы по металлоконструкциям [Текст]. – М.: ЦБНТ при НИИТ ГК СССР по труду и социальны вопросам, 1991 – 236 с.

27 Смирницкий, Е.К. Экономические показатели промышленности [Текст] :справ. / Е.К. Смирницкий. – М.: Экономика, 1989. – 334 с.

28 Станок ножовочный 8725 (8725А) [Электронный ресурс] / Продукция // МП ПромСтройМаш [офиц. сайт] / ООО Машиностроительное предприятие «Промстроймаш». Электрон. дан. – Режим доступа: https://stanki-zavod.ru/produktsiya/oborudovanie_dlya_jbi_i_stroitelnyih_ploschadok/stanok_nojovochnyiy_8725a, свободный (дата обращения : 15.06.2019). – Загл. с экрана.

29 Станок токарно-винторезный 1В62Г [Электронный ресурс] / Продукция // ОАО «Астраханский станкостроительный завод» [офиц. сайт] / ОАО «Астраханский станкостроительный завод». Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.assz.ru/1V62G.php>, свободный (дата обращения : 15.06.2019). – Загл. с экрана.

30 Модернизированный ВМ 127М с бесступенчатым приводом подач [Электронный ресурс] / Продукция // ВСЗ Воткинский станкозавод [офиц. сайт] / ООО «Воткинский станкозавод». Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.vstzavod.ru/catalog/modernizirovannyu-standok-vm-127m-s-besstupenchatym-privodom-podach/>, свободный (дата обращения : 15.06.2019). – Загл. с экрана.

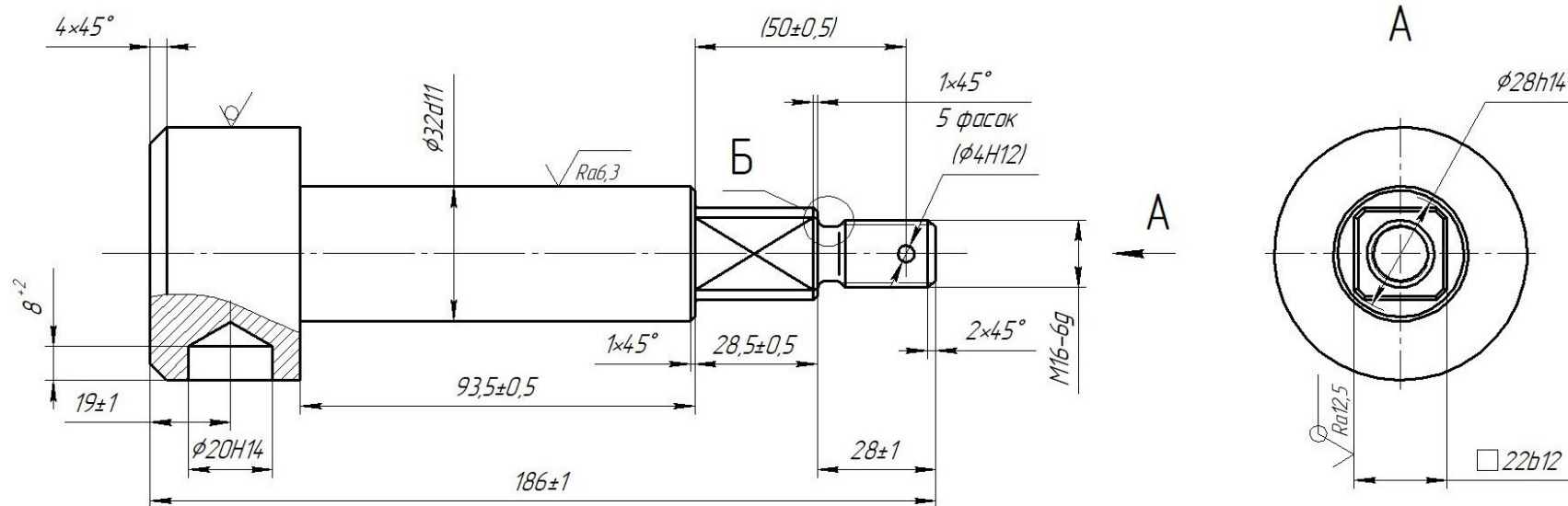
31 Стерлитамакский станкостроительный завод – ООО НПО Станкостроение [Электронный ресурс] / Справочная информация // ООО Рубикон Иллюстрированные каталоги, справочники, базы данных по металлорежущим станкам и кузнечно-прессовому оборудовани [офиц. сайт] / ООО «Рубикон». Электрон. дан. – Режим доступа: http://stanki-katalog.ru/st_sterlitamak.htm, свободный (дата обращения: 15.06.2019). – Загл. с экрана.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

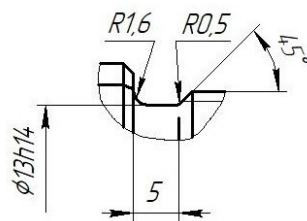
(обязательное)

Чертеж изделия «Стержень»

$\sqrt{Ra25 (\sqrt{1})}$



Б (2:1)



1 Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002: h14, ±IT14/2.

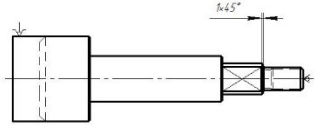
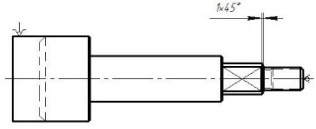
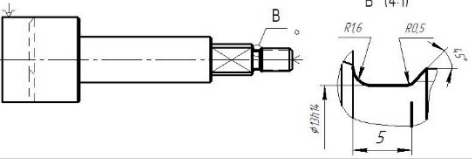
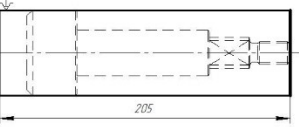
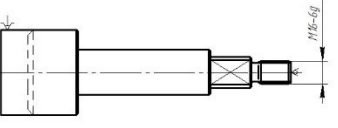
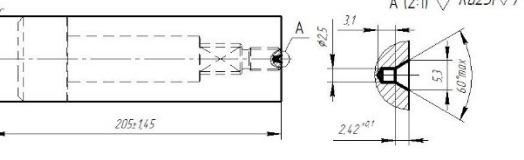
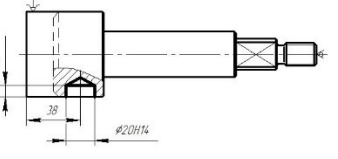
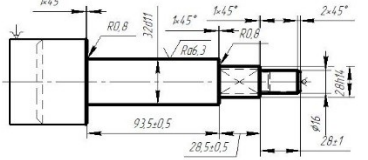
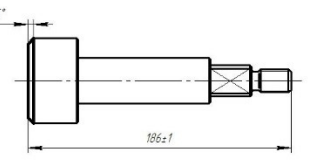
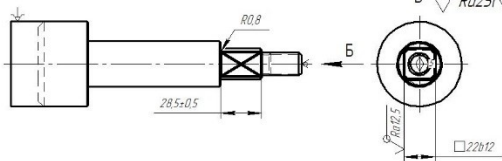
2 Размеры в скобках после сборки.

3 Острые кромки притупить, галтельные переходы обеспечить геометрией инструмента.

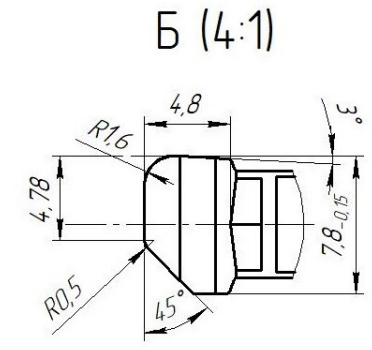
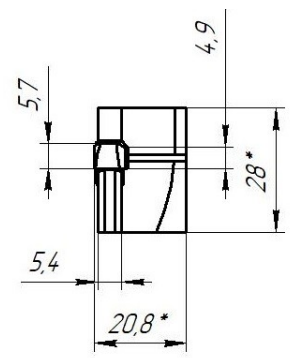
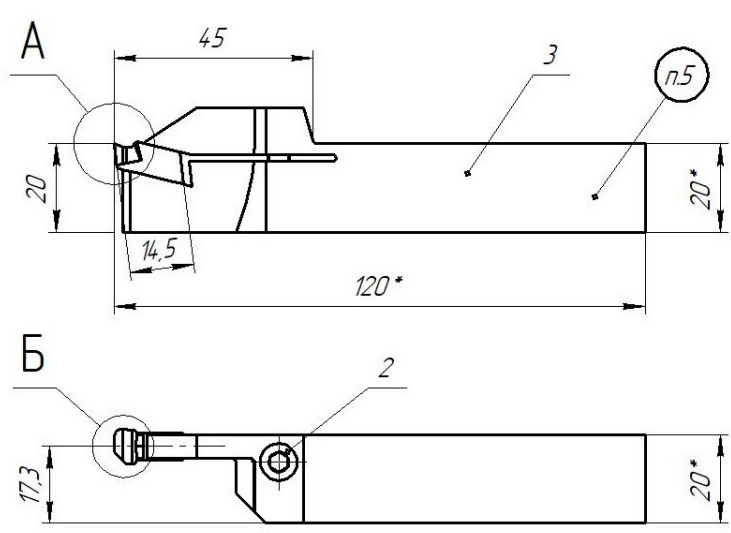
4 В готовой детали допускается наличие центровых отверстий формы А ГОСТ 14034-74.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

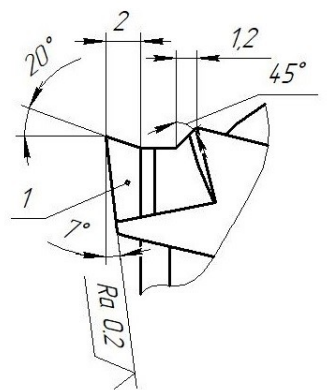
Последовательность механической обработки изделия «Стержень»

Номер и наименование операции, оборудование	Схема базирования и установки/краткое содержание операции		 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$
005 Заготовительная Станок отрезной 8725	Отрезать заготовку длиной 1200 мм	5) Снять фаски 1×45° с 4-х плоскостей 22h12×28,5±0,5 мм	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$
010 Токарная с ПУ Станок токарный EMCOTURN e65	Установ А Подать пруток с вылетом 206 мм	6) Точить резьбовую канавку шириной 5 мм на $\phi 13h14$	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$
1) Точить торцы, выдерживая размер 205 мм	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$	7) Нарезать резьбу М16-6g	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$
2) Сверлить центральное отверстие, поджать центром	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$	8) Сверлить отверстие $\phi 20H14$ на $l=8^{+0,2}$ мм	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$
3) Точить канту $\phi 16$ мм на $l=28\pm 1$ мм с фаской 2×45°; $\phi 28h14$ на $l=28,5\pm 0,5$ мм с фаской 1×45°; $\phi 32d11$ на $l=93,5\pm 0,5$ мм с фаской 1×45° окончательно, острые кромки притупить, галтельные переходы обеспечить геометрией инструмента	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$	9) Отрезать деталь, выдерживая размер 186 ± 1 мм, с фаской 4×45° на левом торце	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$
4) Фрезеровать 4 плоскости 22h12×28,5±0,5 мм на глубину 3 мм окончательно	 $\sqrt{Ra25(\checkmark)}$	010 Контрольная	Проконтролировать внешний вид и размеры

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)
Резец фасонный



A (4:1)

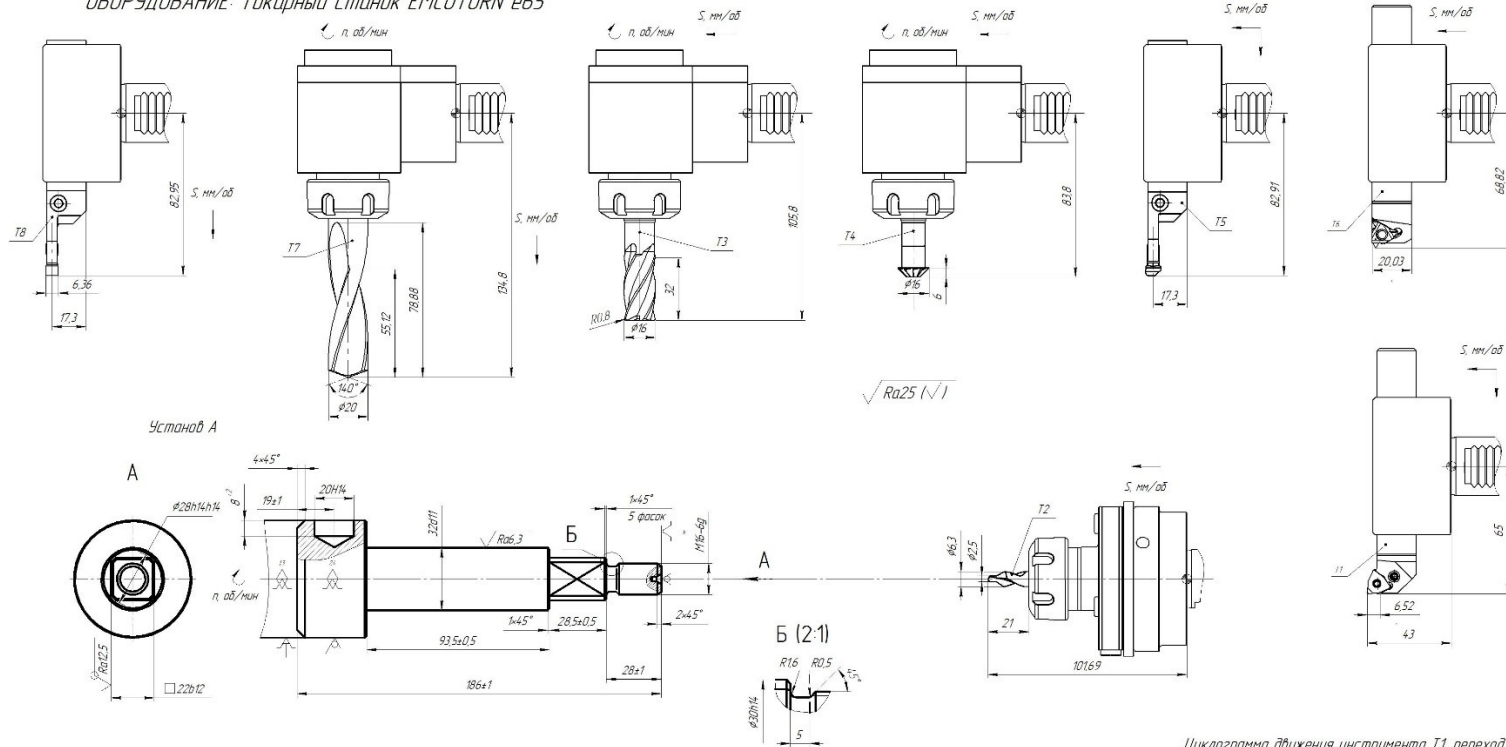


- 1 *Размеры для справок.
- 2 Материал режущей пластины твердый сплав IC20.
- 3 Неуказанные предельные отклонения размеров пластины по ГОСТ 30893.1-2002: $h12, \pm IT12/2$.
- 4 Неуказанные параметры шероховатости пластины Ra 1.25.
- 5 Маркровать номер обрабатываемой детали ударным способом.
- 6 Затяжку болта 2 осуществлять ключом НВ 4.0.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

Технологический эскиз операции механической обработки изделия «Стержень»

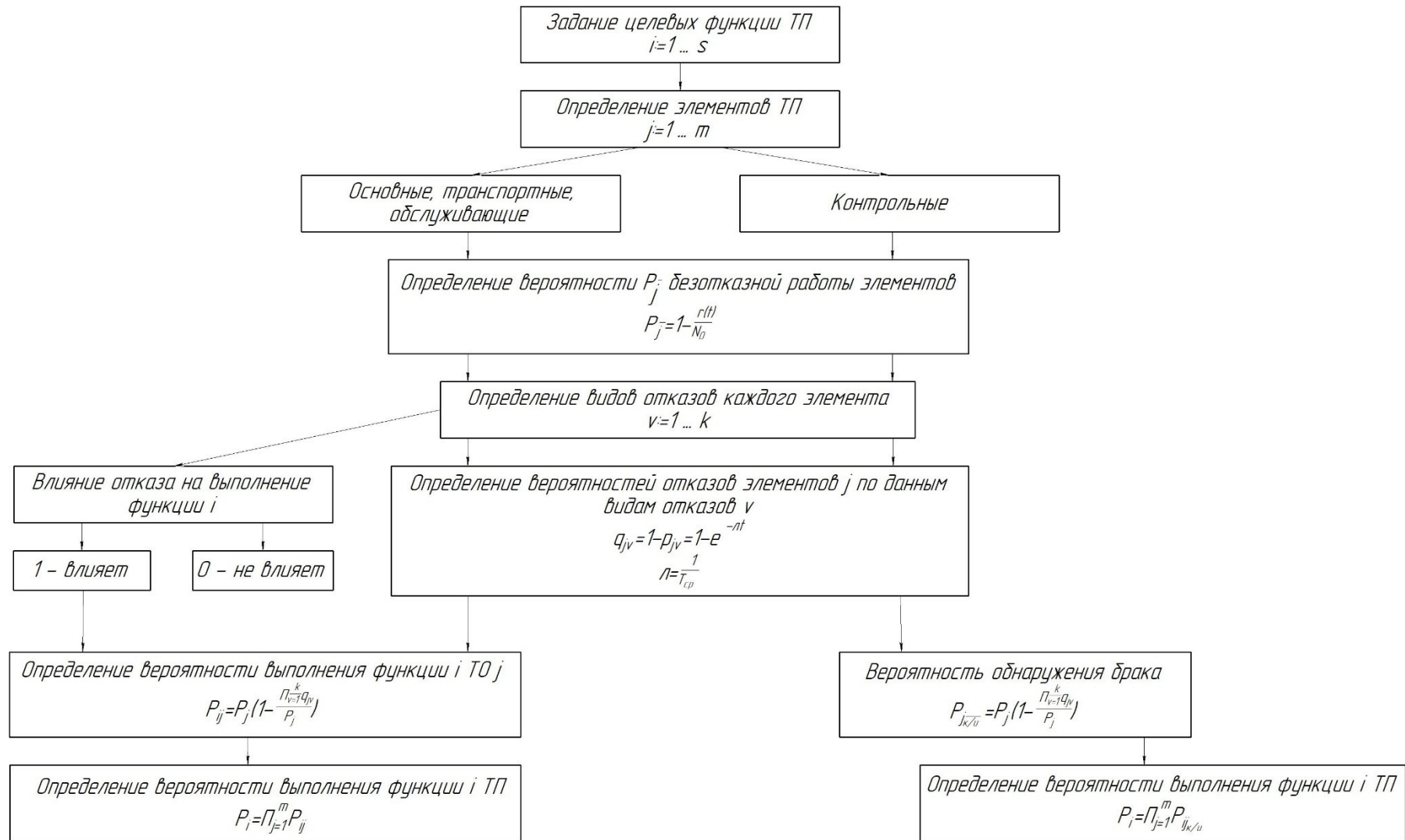
ОПЕРАЦИЯ 005: Токарная
ОБОРУДОВАНИЕ: Токарный станок EMCOTURN e65



№ перехода	Содержание технологического перехода	№ инструмента	Режущий инструмент	i	V, м/мин	f, мм	S, мм/об	V _п , м/мин	n, об/мин	T _р , мин
1	Подготовить правый торец в размер 195 мм	T1	Вращающийся резец с верховым PMLN 2020R-06 с UN1 K1016 061308 из K820	1	-	1	0,2	120	636,62	0,27
2	Сверлить центральное отверстие	T2	Твердосплавное центральное сверло А 2,5	1	-	6	0,05	40	795,77	0,59
3	Планы: диаметр $\Phi 16$ на $L=20$ мм с фаской $1,4 \times 5$; $\Phi 20$ на $L=78,5-0,5$ мм с фаской $1,4 \times 5$; $\Phi 20$ на $L=93,5-0,5$ мм с фаской $1,4 \times 5$; окончательные острые кромки притупить, обеспечить заготовке переходы	T3	Вращающийся резец с державкой PCLM 163012 с CMT CM16 091308 из 187000-1	1	-	1	0,3	120	636,62	15,19
4	Финишовать 4 отрезка $78,5-0,5$ мм на длину 1 мм окончательно	T3	Концевая фреза EC-ЧЛ 16-32/S0216CFR.8 из K900	2	16	1	0,1	40	82144	14,7
5	Снять фаску $1,4 \times 5$ с 4-х плоскостей $2012 \times 28,5 \times 0,5$ мм	T4	Грибковая фреза формы D 45° 16 мм	1	1	1	0,09	35	696,30	0,93
6	Начать резьбу канавки шириной 5 мм на $\Phi 16$ мм окончательно	T5	Фасонный резец GHSL 20-630 с CMT из K20	2	-	1	0,2	120	2198,25	0,02
7	Нарезать резьбу M16-6g	T6	Резьбовый резец SEL2020M16 с CMT 16EL200 ISO из K908	7	-	0,4	0,2	150	2194,16	0,17
8	Сверлить отверстие $\Phi 20$ мм	T7	Сверло SCD 200-055-200 AP3 из K908	1	-	8	0,3	80	1771,74	0,05
9	Отрезать деталь в размер 186±1 мм с фаской $1,4 \times 5$ на левом торце	T8	Отрезной резец GHSL 20-630 с CMT GMY 808 из K20	1	-	3,1	0,15	120	636,62	0,38

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(обязательное)

Структурная схема методики оценки надежности технологических процессов



Сведения о самостоятельности выполнения работы

Работа «Исследование надежности технологических процессов» выполнена мной самостоятельно.

Используемые в работе материалы и концепции из публикуемой литературы и других источников имеют ссылки на них.

Один печатный экземпляр работы и электронный вариант работы на цифровом носителе преданы мной на кафедру/отделение.

«__» _____ 20__ _____ Д.В. Коньшина
(подпись) (инициалы,
фамилия)