МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

На правах рукописи

МАСЛЯКОВ НИКИТА СЕРГЕЕВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Вержанский Александр Петрович

Москва – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОАО «АПАТИТ» 12

1.1. Краткий обзор горно-химического приятия ОАО «Апатит» и его технологических средств механизации для выбора объекта исследования 12

1.2. Причина низкой надёжности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин в производственных условиях Объединённого Кировского рудника 16

1.3. Эффективность изготовления запасных частей для погрузочно-доставочных машин в ремонтом производстве ОАО «Апатит» 23

1.4. Цель и задачи исследования 28

ГЛАВА 2. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ПАРКА ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН ОАО «АПАТИТ» 30

2.1. Обзор работ по повышению надёжности средств механизации за счёт обеспечения высокой эффективности снабжения их запасными частями 30

2.2. Выбор стратегии управления запасами для самообеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин на ОАО «Апатит» 36

2.2.1. Спрос на запасные части и модели управления запасами при снабжении парка погрузочно-доставочных машин Объединённого Кировского рудника36

2.2.2. Математическое описание существующей стратегии управления запасами, применяемой для обеспечения погрузочно-доставочных машин запасными частями 42

2.2.3. Математическое описание оперативной модели управления запасами со стратегией $(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{q})$ при $\boldsymbol{q} = \mathbf{1}$ с учётом неудовлетворённых требований 45

2.2.4. Формирование требований, условий и механизма выбора источника пополнения для системы снабжения погрузочно-доставочных машин запасными частями с оперативным контролем их запасов 47

2.3. Особенности реализации технологии оперативного изготовления запасных частей для погрузочно-доставочных машин в производственных модулях ремонтно-механических участков на ОАО «Апатит» 52

2.3.1. Краткий анализ работы современного ремонтного предприятия и места в нём технологии оперативного изготовления запасных частей 52

2.3.2. Формирование программы выпуска запасных частей для погрузочно-доставочных машин в ремонтно-механических участках на ОАО «Апатит»... 55

2.3.3. Применение принципа «точно вовремя» для организации оперативного самообеспечения погрузочно-доставочных машин запасными частями за счёт их единичного производства в ремонтно-механических участках 58

2.3.4. Выбор вида технологии и определение требований к станочному оборудованию используемых при производстве запасных частей для погрузочно-доставочных машин 61

2.4. Выводы по главе 65

ГЛАВА 3. ВЫБОР ТИПА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕСПЕЧИВАЕМЫХ ИМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАПАСНЫМХ ЧАСТЕЙ 67

3.1. Сравнение особенностей и принципа работы различных типов станочного оборудования и выбор критериев оценки эффективности их применения для изготовления запасных частей 67

3.1.1. Анализ соответствия традиционных типов станочных систем условиям изготовления запасных частей в ремонтном производстве 67

3.1.2. Описание экспериментального стенда и работы интерактивной компьютерной системы управления универсальными станками 70

3.1.3. Выбор критериев для сравнения эффективности применения различных станочных систем при изготовлении запасных частей 80

3.2. Исследование технологических показателей качества при изготовлении деталей на станках с интерактивной компьютерной системой управления 82

3.2.1. Исследование влияния интерактивной компьютерной системы управления на точность геометрических размеров при обработке деталей . 82

3.2.2. Исследование влияния интерактивной компьютерной системы управления на процент брака при обработке деталей..... 87

3.2.3. Исследование влияния интерактивной компьютерной системы управления на составляющие штучного времени при обработке деталей 89

3.2.4. Влияния применения интерактивной компьютерной системы управления на обучаемость операторов 95

3.3. Метод оценки качества изготовления деталей на универсальных станках с интерактивной компьютерной системой управления 98

3.3.1. Математическое описание метода оценки качества 98

3.3.2. Формат реализации и алгоритм работы метода оценки качества 102

3.4. Выводы по главе..... 108

ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ САМООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН..... 109

4.1. Роль технологии оперативного изготовления запасных частей в системе технического обслуживания и ремонта погрузочно-доставочных машин 109

4.1.1. Место технологии оперативного изготовления запасных частей в структуре системы технического обслуживания и ремонта 109

4.1.2.Пути повышения эффективности самообеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин за счёт совершенствования системы их ТОиР..... 113

4.2. Математическая модель, устанавливающая взаимосвязь качества изготовления запасных частей с коэффициентом готовности..... 117

4.2.1. Определение целевой функции для оценки эффективности оперативного обеспечения запасными частями ремонта погрузочно-доставочных машин117

4.2.2. Описание потока отказов погрузочно-доставочных машин и пропускной способности системы обслуживания при сменно-узловом ремонте 119

4.2.3. Определение характеристик системы технического обслуживания и ремонта при выполнении сменно-узлового ремонта 123
4.2.4. Математическая модель взаимосвязи коэффициента готовности с технологическими параметрами и качеством запасных частей 126
4.3. Установление зависимости коэффициента готовности агрегата погрузочно-доставочной машины от качества изготовления запасных частей 131
4.3.1. Алгоритм установления зависимости коэффициента готовности агрегата от уровня качества изготовления запасных частей 131
4.3.2. Пример моделирования зависимости коэффициента готовности от уровня качества изготовления запасных частей 133
4.4. Оценка эффективности самообеспечения запасными частями по сравнению с другими возможными логистическими вариантами снабжения 137
4.4.1. Установление зависимости коэффициента готовности от затрат на его обеспечение для различных логистических вариантов снабжения 137
4.4.2. Моделирование зависимости коэффициента готовности от затрат на его обеспечение запасными частями при различной логистике снабжения 139
4.5. Выводы по главе 141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 142
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 144
ПРИЛОЖЕНИЕ А – **АКТ О ВНЕДРЕНИИ** результатов научно-исследовательской работы в КФ ООО «Механик» г. Апатиты 153
ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Проект реализации производственного модуля ремонтно-механического участка 155
ПРИЛОЖЕНИЕ В – Технико-экономическое обоснования применения станков с интерактивной компьютерной системой управления 160
ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Пример расчёта уровня качества и размера оплаты труда рабочего при изготовлении запасной части 165

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Эффективность ремонта погрузочно-доставочных машин (ПДМ) зарубежного производства, доля которых в парке подземной самоходной техники горных предприятий всё возрастает, во многом зависит от своевременности поставок запасных частей (ЗЧ) в ремонтные подразделения. Более 80% объёма ЗЧ, используемых при ремонте ПДМ, закупается у внешних производителей. Это часто связано с большими затратами на закупку и хранение широкой номенклатуры ЗЧ, достигающими 35% и потерями из-за дефицита и низкого качества «коммерческих» ЗЧ, достигающими 15% эксплуатационных расходов. Как правило, доля участия ремонтно-механических участков (РМУ) горных предприятий в самообеспечении ЗЧ ПДМ весьма мала, что объясняется низким уровнем технологии их производства, слабым техническим оснащением и дефицитом квалифицированных рабочих. В результате, как показывает практика, ПДМ эксплуатируются с не высоким коэффициентом готовности.

В настоящее время в РМУ широко применяются универсальные металлорежущие станки с ручным управлением, которые, как правило, морально и физически изношены, что снижает технико-экономические показатели существующей технологии производства ЗЧ. В сложившихся производственных условиях РМУ являются неконкурентоспособными поставщиками ЗЧ из-за малых объёмов их производства, несоблюдения сроков поставок, низкого качества, высокого процента брака и себестоимости выпускаемой продукции.

Обзор существующих решений, направленных на повышение эффективности обеспечения ЗЧ средств механизации горных предприятий показал, что вопросу самообеспечения уделено мало внимания. Главными причинами этого являются отсутствие гибкой технологии для оперативного изготовления ЗЧ надлежащего качества и эффективного метода, позволяющего управлять технической готовностью средств механизации.

Важность значения поставленных вопросов диктуется физическим и моральным износом средств механизации на горных предприятиях и объявлением

зарубежными странами экономических санкций против России. Поэтому, обоснование и разработка метода повышения технической готовности, на примере эксплуатации ПДМ, является актуальной задачей исследования.

Степень научной разработанности темы исследования. Решению вопроса повышения надёжности средств механизации за счёт обеспечения высокой эффективности снабжения их запасными частями в разных отраслях промышленности посвящены работы исследователей: Гамбаля М.Ю., Носенко В.В., Рахутина М.Г. и др. (горные машины); Вольфа А.К., Деменковой Е.А. (лесозаготовительные машины), Галимовой Е.О., Гришина А.С., Суворова Г.Г. (автомобильный транспорт); Приходько М.В. (дорожно-строительная техника); Данилова П.А. (подъёмно-транспортная техника) и др. Анализ данных работ показал, что основное внимание в них уделено либо методам расчёта, планирования и управления резервами запасных частей, либо методам оценки технического состояния средств механизации, его прогнозирования и планирования их технического обслуживания и ремонта, в том числе снабжения запасными частями. При этом вопросам где, при помощи чего и как производить запасные части требуемого уровня качества для своевременного обеспечения ими средств механизации уделено мало внимания.

Объектом исследования являются погрузочно-доставочные машины, эксплуатируемые в условиях горно-химического комбината ОАО «Апатит».

Предметом исследования является повышение надёжности погрузочно-доставочных машин.

Цель работы заключается в уменьшении времени простоев погрузочно-доставочных машин за счёт увеличения коэффициента готовности путём повышения качества и оперативности изготовления запасных частей на горном предприятии.

Идея работы состоит в том, что коэффициент готовности погрузочно-доставочных машин увеличивается за счёт изготовления запасных частей непосредственно на горнодобывающем предприятии на базе разработанной прогрессивной технологии их механической обработки с учётом взаимосвязи между показателями надёжности и качеством изготовления.

З**адачи исследования:**

1. Проанализировать особенности эксплуатации и ремонта ПДМ, существующую систему обеспечения их ЗЧ, оценить связанные с этим производственные затраты и потери ОАО «Апатит» и выбрать наиболее эффективную модель управления запасами.

2. Разработать алгоритм формирования программы выпуска ЗЧ для ПДМ, сформировать требования к новой технологии для их оперативного изготовления и проанализировать варианты технического оснащения ремонтного производства металлорежущими станками.

3. Исследовать технологические возможности универсальных металлорежущих станков с интерактивной компьютерной системой управления и адаптировать их для изготовления ЗЧ в ремонтном производстве для практической реализации самообеспечения ими парка ПДМ ОАО «Апатит».

4. Разработать математическую модель, позволяющую установить влияние качества изготовления ЗЧ на коэффициент готовности ПДМ и суммарные расходы ОАО «Апатит», связанные со снабжением ПДМ ЗЧ.

5. Выполнить имитационное моделирование метода оперативного самообеспечения ЗЧ ПДМ в условиях ОАО «Апатит» и получить зависимости коэффициента готовности от качества изготовления ЗЧ и суммарных расходов для его сравнения с другими логистическими вариантами обеспечения ЗЧ.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Методика комплексной оценки качества изготовления запасных частей, учитывающая точность их размеров, процент брака и штучное время и позволяющая управлять его уровнем в процессе их механообработки на универсальных станках с интерактивной компьютерной системой управления.

2. Математическая модель, устанавливающая связь между качеством изготовления запасных частей, коэффициентом готовности агрегатов погрузочно-доставочных машин и суммарными расходами, включающими издержки на приобретение и хранение запасных частей и потери от их дефицита, из-за простев погрузочно-доставочных машин в ремонте.

3. Зависимости, устанавливающие связь коэффициента готовности агрегатов погрузочно-доставочных машин с качеством изготовления запасных частей к ним и с суммарными расходами, позволяющие обосновать наиболее рациональную логистическую систему обеспечения запасными частями их ремонтного производства на горном предприятии.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждены теоретическими исследованиями с использованием методов и математического аппарата теории массового обслуживания, теории вероятности и математической статистики, теории управления запасами, математического моделирования, экспериментальными исследованиями полупромышленной модели, с использованием апробированных методов обработки экспериментальных данных. Расхождение расчетных параметров относительно экспериментальных, не превышает 5% при доверительной вероятности 0,95.

Научная новизна работы состоит в разработке математической модели, устанавливающей связь между интегральным показателем надёжности погрузочно-доставочных машин – коэффициентом готовности и качеством изготовления запасных частей, уровень которого оценивается и контролируется в процессе их изготовления через разработанную методику и обеспечиваемые при их механической обработке технологические показатели.

Научное значение работы состоит в разработке математической модели, устанавливающей взаимосвязи между качеством изготовления запасных частей, коэффициентом готовности агрегатов погрузочно-доставочных машин и суммарными расходами и позволяющей определить уровень качества изготовления запасных частей, необходимый для обеспечения требуемого коэффициента готовности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин при минимальных расходах.

Практическое значение работы состоит в разработке и обосновании технологии изготовления запасных частей, позволяющей через методику оперативной комплексной оценки и управления качеством их изготовления, реализуемую на базе универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления и обеспечиваемые ими при механической обработке технологические показатели

повысить качество изготовления запасных частей для обеспечения требуемого уровня коэффициента готовности погрузочно-доставочных машин.

Соответствие паспорту специальности. Работа посвящена обоснованию и разработке метода повышения технической готовности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин, заключающегося в изготовлении запасных частей к ним непосредственно на горнодобывающем предприятии по предложенной прогрессивной технологии их механической обработки, позволяющей через разработанную мелодику комплексной оценки и управления качеством и установленных взаимосвязей управлять коэффициентом готовности погрузочно-доставочных машин, что соответствует: п. 5 «Повышение долговечности и надежности горных машин и оборудования» и п. 6 «Разработка и совершенствование технологических процессов с целью обеспечения высокого качества горных машин на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации с учетом специфики работы на горных предприятиях» паспорта специальности 05.05.06 – «Горные машины».

Реализация результатов диссертационной работы. Методика формирования программы выпуска запасных частей (ЗЧ), рекомендации по выбору технологического оснащения для их изготовления в рамках экспериментального проекта производственного модуля, разработанного на примере самообеспечения ПДМ, прияты к использованию в Кировском филиале ООО «Механик», снабжающей ЗЧ ОАО «Апатит». Техническое задание для программирования метода комплексной оценки качества изготовления деталей на универсальных станках с интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) в виде приложения для усовершенствования программного обеспечения системы «ПроЭмулятор», разработанной компанией ООО «Техстанко-21». Методическое руководство «Программирование токарной обработки для универсальных станков с ИКСУ «ПроЭмулятор» используется в НИТУ «МИСиС» для практических занятий студентов специальности 151001 «Технология машиностроения» по дисциплине «Программирование станков с ЧПУ».

Апробация работы. Основное содержание работы и отдельные ее результаты представлялись на конференциях: «Открытый конкурс на лучшую научную работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам в ВУЗах РФ» в МИФИ, 2010 г.; «Всероссийская конференция-конкурс студентов выпускного курса 2010» в СПГГИ им. Г.В. Плеханова; XIV Международная экологическая конференция «Горное дело и окружающая среда. Инновации и высокие технологии XXI века» в МГГУ, 2009 и 2010 гг.; V Международная конференция «Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро-Арктического региона: взгляд в будущее» в г. Кировск 2015 г., семинарах «Современные технологии в горном машиностроении» в МГГУ 2011–2014 гг. и в НИТУ «МИСиС» в 2015 – 2016 гг., а также семинаре «Горные машины и оборудование» в НИТУ «МИСиС» в 2015 г., проводимых в рамках международного научного симпозиума «Неделя горняка».

Публикации. Содержание диссертации отражено в 10 печатных работах, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Объём и структура работы. Диссертационная работа представлена на 169 страницах основного текста и состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 109 источников, 4 приложений, 56 рисунков и 48 таблиц.

Автор выражает огромную благодарность профессору, доктору технических наук **Островскому Михаилу Сергеевичу** за помощь в формировании темы, цели, идеи и задач исследования и консультации по реализации их в диссертации.

Также автор благодарит **Пивнева В.А.**, **Коста Л.А.**, **Янковского О.Д.**, **Янтовского А.В.**, **Гуревича В.М.**, **Резникова М.Л.**, **Камчаткина В.В.** за оказанную помощь в сборе производственных данных и материалов для проведения диссертационных исследований.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В РЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ОАО «АПАТИТ»

1.1. Краткий обзор горно-химического приятия ОАО «Апатит» и его технологических средств механизации для выбора объекта исследования

ОАО «Апатит» — это предприятие химической промышленности, осуществляющее добычу и обогащение апатит-нефелиновых руд Хибинского месторождения, расположенного в Мурманской области на Кольском полуострове. В настоящее время ОАО «Апатит» входит в число крупнейших мировых производителей фосфатного сырья для производства минеральных удобрений. С 2002 г. ОАО «Апатит» входит в состав ОАО «ФосАгро», представляющую собой крупную вертикально-интегрированную структуру с полным циклом производства фосфорсодержащих минеральных удобрений – от добычи фосфатного сырья до конечных продуктов [1, 2]. Производство данного вида продуктов в виде фосфорсодержащих минеральных удобрений, кормовых фосфатов и фосфорной кислоты широко применяются в сельском хозяйстве (растениеводстве и животноводстве) и является стратегически важными для России, особенно в условиях продовольственного эмбарго.

Из разведанных месторождений в настоящее время эксплуатируются шесть наиболее благоприятных по запасам, качеству руд и горно-геологическим условиям, на базе которых действуют рудники: Объединённый Кировский, Расвумчоррский, Центральный и Восточный. Суммарные балансовые запасы апатит-нефелиновых руд Хибинского месторождения составляют 3,5 млрд. т, в том числе 1,4 млрд. т – государственный резерв. В состав руды входят: апатит, нефелин, пироксен (эгирин – авгит), сфен, полевой шпат (ортоклаз) и титаномагнетит. Также руда содержит в себе целый ряд попутных компонентов: фтор, стронций и редкие земли в апатите; рубидий, галлий, цезий в нефелине; титан, ниобий, железо в сфене и титаномагнетите [3]. Редкоземельные металлы обладают редкими свойствами и

широко применяются в наукоёмких сферах промышленности, развитие которые влияет на научный потенциал и темпы развития страны.

Разработка месторождений апатит-нефелиновой руды ведётся подземным и открытым способами [4, 5]. Годовой объём добычи руды за 2010 г. составил, млн. т. руды: Объединённый Кировский рудник – 11,7; Расвумчоррский рудник – 4,1; Центральный рудник – 5,5; Восточный рудник – 5. Подземная разработка месторождений ведётся с использованием подземной самоходной техники: буровых установок и погрузочно-доставочных машин; вспомогательной техники для крепления и обезопашивания горных выработок, миксеров для бетона, зарядных машин и т. д. Для транспортировки руды используют рельсовый, конвейерный и ж/д транспорт. Открытые горные работы на рудниках ведутся в карьерах с использованием буровых шарошечных станков; гидравлических экскаваторов; карьерных самосвалов; погрузчиков и бульдозеров [4, 8]. Парк технологических средств механизации подразделений ОАО «Апатит» имеет следующий состав (см. Таблица 1. 1).

Таблица 1. 1 – Состав парка технологических машин ОАО «Апатит», ед.

№ п.п.	Название подразделения	Виды технологических машин									
		Подземная самоходная техника				Карьерная техника				Рельсовый транспорт	
		буровые установки,	погрузочно-доставочные машины, ед	автосамосвалы	вспомогательная техника	буровые станки	экскаваторы	самосвалы	вспомогательная техника	электровозы	вагонетки
1	Объединённый Кировский рудник	29	47	2	47	5	5	6	7	104	456
2	Расвумчоррский рудник	10	17	4	32					36	256
3	Центральный рудник					10	15	45	20		
4	Восточный рудник					9	18	55	24		
5	Горный цех	10	15	2	18						
ИТОГО:		49	79	8	97	24	38	106	51	140	712

Анализ производственных данных показывает, что на ОАО «Апатит» идёт постепенный переход на подземную разработку месторождений. В настоящее

время в подземной разработке задействовано около 52% от общего числа технологических средств механизации из которых преобладающая часть (более 95%) представлена зарубежной самоходной техникой. Это объясняется высоким уровнем её надёжности, по отношению к аналогичной отечественной. Однако для его поддержания требуется организация эффективного технической обслуживания и ремонта (ТОиР), функции которого на предприятии осуществляет служба главного механика.

Практика эксплуатации зарубежной самоходной техники показывает, что несмотря на высокое качество их производства, при эксплуатации ОАО «Апатит» несёт большие затраты на поддержание высокого уровня их надёжности. Так, для подземной самоходной техники, по производственным данным за 2009 г. затраты на ТОиР достигли порядка 3,5 млн. долларов в год, что составило около 25-30% от производственных затрат на добычу апатит-нефелиновой руды. Эти затраты, как правило, связаны, в основном, с удалённостью производителя самоходной техники от горного предприятия и низкой эффективности существующей системы ТОиР. Проанализируем причины такой негативной тенденции, на примере эксплуатации самоходной техники Объединённого Кировского рудника, как наиболее крупного подразделения горно-химического предприятия ОАО «Апатит».

Объединённый Кировский рудник эксплуатируется с 1929 г. и осуществляет разработку месторождений Кукисвумчорр и Юкспор. Основная добыча руды (около 90%) ведётся подземным способом [10, 11] с использованием системы разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды с применением подземной самоходной техники [8]. Парк подземной самоходной техники состоит из: технологических – 64,5% и вспомогательных – 35,5% средств механизации (по данным [12] на 01.01.2011 г.). На эффективность подземной разработки, большее влияние оказывает техническое состояние технологических машин: буровых установок (БУ) и погрузочно-доставочных машин (ПДМ).

Туннельные буровые установки Tamrock Mimimatic 250-40; Tamrock AXERA-D06-240 и Sandvik DD 320-40 (см. Рисунок 1. 1) применяются при проходке горизонтальных горных выработок для бурение горизонтальных шпуров.

Рисунок 1. 1 – Буровые установки для проходческих работ

Буровые установки (для ведения очистных работ) Tamrock SOLO 1020; SOLO-07-10F; Sandvik 420-10 (см. Рисунок 1. 2) применяются для бурения шпуров (расположенных в форме веера) при добычных работах.

Рисунок 1. 2 – Буровые установки для ведения добычных работ

Погрузочно-доставочных машины (электрические ПДМ TORO 400E; 1400E; Sandvik LH-409E и дизельных ПДМ TORO 007; 400Д; 7M; Sandvik LH 410M; 203) (см. Рисунок 1. 3) применяются для погрузки отбитой горной массы в ковш и её транспортировке на весу к месту разгрузки при проходческих и очистных работах.

Рисунок 1. 3 – Погрузочно-доставочные машины

Практика показывает, что фактический коэффициент готовности при эксплуатации ПДМ ниже, чем при эксплуатации БУ (Таблица 1. 2). Это означает, то что эксплуатация ПДМ по сравнению с БУ связана с более частыми отказами и большим фактическим временем ремонтов. Так как ПДМ является важнейшим звеном технологической цепочки добычи руды проанализируем причины низкой надёжности при их эксплуатации, выбрав её в качестве объекта для исследований.

Таблица 1. 2 – Фактические значения коэффициентов готовности технологической самоходной техники по возрастным категориям

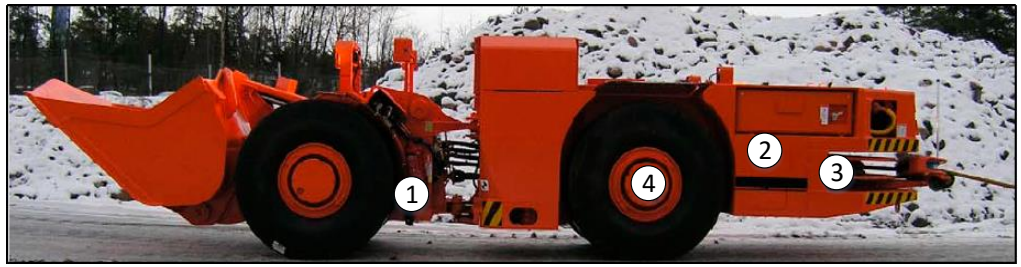
Возрастная категория	Средний годовой коэффициент готовности (по данным за 2011 год)		
	ПДМ	БУ (добычные)	БУ (проходческие)
До 5 лет	0,64	0,71	0,82
От 5 до 10 лет	0,58	0,67	0,67
Более 10 лет	0,4	0,56	0,6

1.2. Причина низкой надёжности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин в производственных условиях Объединённого Кировского рудника

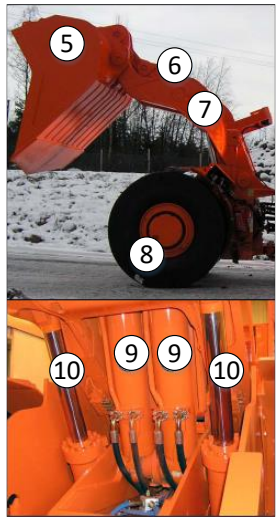
При подземной разработке месторождений Кукисвумчорр и Юкспор на Объединённом Кировском руднике широкое применение нашли электрические погрузочно-доставочные машины (ПДМ). ПДМ относится к классу ковшовых погрузочно-транспортных машин периодического действия, механизирующих операции по погрузке, транспортированию и разгрузке горной массы. Процесс работы ПДМ состоит из трёх этапов: холостое перемещение (машина перемещается в незагруженном состоянии); черпание и наполнение ковша и транспортировка руды к рудоспуску, соединяющему добычной и откаточный горизонты. Исполнительный орган ПДМ является ковш, имеющий нижний способ захвата с прямой погрузкой, в котором осуществляется транспортировка горной массы, отделенной от массива к рудоспуску посредством пневмоколёсной ходовой части, приводимой в движение электрическим или дизельным двигателем.

Все ПДМ имеют одну и ту же принципиальную компоновку, одинаковый исполнительный орган и отличаются друг от друга размерами, отдельными узлами, типом привода и ходовой части [14, 15]. Далее в диссертации, эксплуатация ПДМ будет рассматриваться на примере ПДМ Sandvik LH409E (прежнее название Toro400E), как наиболее распространённой модели, применяемой для механизации горных работ при подземной разработке на Объединённом Кировском руднике и имеющей следующее устройство, общий вид с габаритными размерами и основные технические характеристики (см. Рисунок 1. 4 и Рисунок 1. 5).

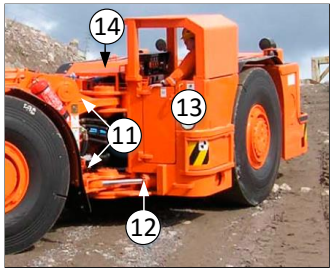
Общий вид



1. Передняя полурама

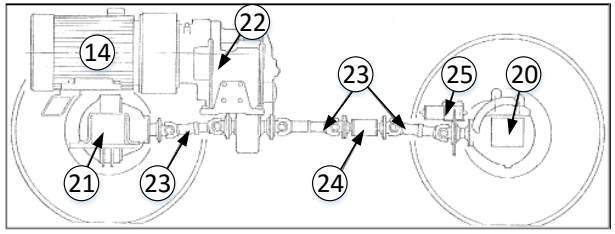


2. Задняя полурама



3. Узел наматывания кабеля на барабан

4. Силовой привод



1. Передняя полурама
2. Задняя полурама
3. Узел наматывания кабеля на барабан
4. Силовой привод
5. Ковш
6. Рычаг поворота (кулиса)
7. Стрела
8. Пневмоколесо
9. Цилиндр наклона ковша
10. Цилиндр подъёма стрелы
11. Шарнирное сочленение полурам
12. Гидроцилиндр поворота
13. Кабина оператора
14. Главный электромотор
15. Блок контактов
16. Кабельный барабан
17. Кабельная направляющая
18. Цилиндр кабельной направляющей амортизаторов семафорного крыла
19. Кабельная направляющая семафорного крыла
20. Передний мост
21. Задний мост
22. Коробка передач/ гидротрансформатор
23. Карданный вал
24. Центральная опора
25. Стояночный тормоз

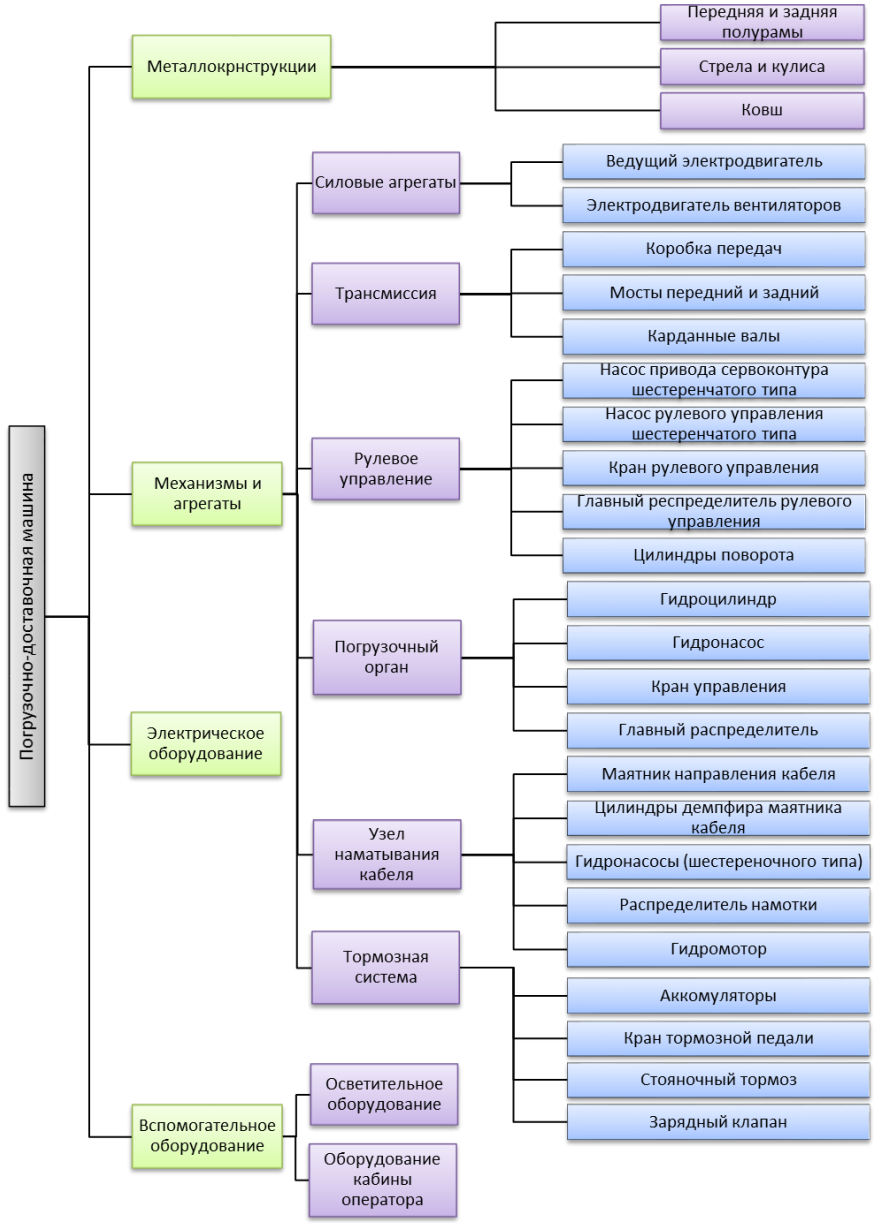
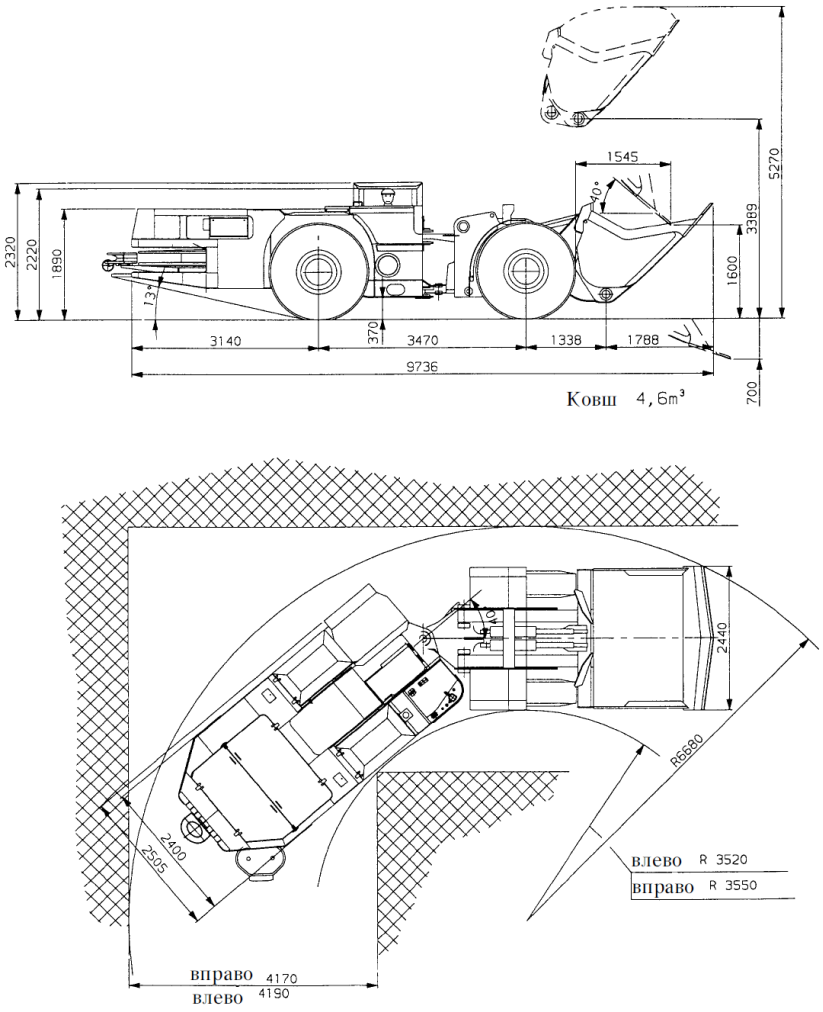


Рисунок 1. 4 – Основные элементы и структура устройства ПДМ Sandvik LH409E



Основные технические характеристики

Грузоподъёмность	9600 кг
Ковш	4,6 м^3
Вырывное усилие при запрокидывании ковша	193 Н
Вырывное усилие при подъёме стрелы	204 Н
Опрокидывающая нагрузка	24800 кг
Мощность ведущего электродвигателя	110 кВт
Напряжение ведущего электродвигателя	660В
Длина кабеля	220–330 м
Угол поворота полурам	±40°
Эксплуатационная масса	24500 кг

Продолжительность циклов погрузочного органа

Подъём стрелы	8,0 сек.
Опускание стрелы	4,5 сек.
Опрокидывание ковша	3,0 сек.

Скорость движения

1-я передача	3,5 км/ч
2-я передача	6,8 км/ч
3-я передача	12 км/ч

Рисунок 1. 5 – Общий вид с габаритными размерами и основные технические характеристики ПДМ Sandvik LH409E [15].

ПДМ Sandvik LH409E состоит из (см. Рисунок 1. 4) исполнительной (1) и приводной (2) полурам, соединённых между собой цилиндрическим шарниром (11), что даёт возможность поворота машины под углом ±40° посредством гидроцилиндров поворота (12). Она оборудована электрическим (14) двигателем мощностью около 150 л.с. с силовым приводом (4) на все колёса. Электродвигатель получает питание через силовой кабель, соединённый с местным ответвлением системы электроснабжения, который посредством узла наматывания кабеля на барабан (3) обеспечивает перемещение ПДМ в области фронта её работы. Исполнительная полурама имеет приводную ось (21) с двумя пневмоколёсами (8) и грузонесущий ковш (5), положение которого обеспечивается посредством цилиндрических шарнирных соединений стрелы и рычага поврота (кулисы), приводимых в действие гидроцилиндрами наклона ковша (9) и подъёма стрелы (10). Приводная полурама состоит из одной оси с двумя пневмоколёсами, двигателя, гидропривода и трансмиссии.

Процесс эксплуатации ПДМ при подземной разработке в условиях Объединённого Кировского рудника связан со сложными условиями ведения добычных работ. Как показывает практика, после отбивки горной массы из-за неоднородности состава рудного тела, коэффициент крепость пород которого по шкале проф. М. М. Протодьяконова при проходке по пустым породам колеблется от 13 до 17, а при добыче от 5 до 11, технологических особенностей обуривания массива и качества отбивки, масса руды имеет различную кусковатость. Нередко, отбитая горная масса, может содержать крупные куски руды, которые в дальнейшем приходится разбивать до подходящих для транспортирования размеров и массы. Их величины определяется техническими характеристиками и габаритными размерами эксплуатируемых ПДМ (см. Рисунок 1. 5), а также поперечным сечением рудоспуска, которое обеспечивает беспрепятственное перемещение кусков руды с максимальными габаритами до 0,5 - 1 м.

При очистке в забое горной массы имеющую различную кусковатость, процесс черпания и наполнения ковша ПДМ связан с возникновением непостоянных резких нагрузок, передаваемых от исполнительных частей к

рабочим и опорным. Наибольшие нагрузки, которые испытывает рабочие, силовые и различные другие элементы ПДМ, возникают в процессе черпания и наполнения ковша при очистке забоя, а также при транспортировке руды в ковше на весу. Тяжёлые условия работы и периодическое нарушение условий эксплуатации приводят к интенсивному использованию ПДМ и отказу наиболее нагруженных элементов их конструкции. Анализ ремонтных ведомостей и устройства ПДМ (Рисунок 1. 4) выявил возникновение отказов в элементах гидравлики (гидроцилиндры и гидромоторы поворота передней полу-рамы, подъёма стрелы, опрокидывания ковша и барабана намотки кабеля); в элементах конструкции стрелы (оси, стопоры, пальцы, крепёжные элементы) в элементах трансмиссии (коробка передач, карданные валы, агрегаты переднего и заднего моста), в механизме намотки кабеля, а также в элементах полу-рам (шарнирные, соединительные и крепёжные элементы), и выхода из строя расходных элементов (зубьев ковша, упругих элементов, пневмоколёс и т. д.).

Поддержание работоспособного состояния парка ПДМ на руднике выполняется участком ремонта самоходной техники (УРСТ) службы главного механика (СГМ) рудника. В соответствии с указаниями технической документации и по фактической наработке в мота/часах проводят планово-предупредительные ремонты. При возникновении внезапных отказов в место аварии отправляются ремонтная бригада. По результатам оценки характера отказа принимается решение либо об оперативном устранении неисправности (локально), либо о транспортировке, вышедшей из строя единицы техники (либо демонтированного агрегата) в УРСТ. У УРСТ выполняется либо агрегатная замена (при наличии исправного агрегата), либо переборка с выявлением и устранением неисправности. Важным фактором, определяющим оперативность проведения ремонтных работ, и как следствие, влияющих на надёжность эксплуатации ПДМ, является наличие необходимой запасной части (ЗЧ) в нужное время в соответствующем ремонтном подразделении. Особенно это ощутимо по отношению к ответственным деталям, при отказе которых ПДМ переходит в неработоспособное состояние.

Снабжение ЗЧ ПДМ эксплуатируемых на ОАО «Апатит» выполняется закупкой у внешних поставщиков и производством собственными силами. В настоящее время большее предпочтение отдаётся закупке ЗЧ, что, как правило, связано с использованием оригинальных ЗЧ. Однако, как показывает практика, по ряду причин, связанным с эксплуатацией ПДМ зарубежного производства, удалённых от потребителя, экономических санкций и связанными с этим временными и финансовыми потерями, это не всегда эффективно и часто приводит к простою ПДМ в ожидании ЗЧ и увеличению. Это оказывает влияние на надёжность их работы и приводит к большим производственным потерям, эквивалентным себестоимости «недодобычи» объёма руды $V_{\text{пот.}}$, транспортируемой за данный период в соответствии с эксплуатационной производительностью $Q_{\text{э}}$ ПДМ в случае отсутствия резервных единиц техники

$$V_{\text{пот.}} = Q_{\text{э}} T_{\text{сум.р.}} (1 - K_{\text{г}}) \quad (1.1)$$

$$T_{\text{сум.р.}} = T_{\text{э}} - T_{\text{сум.пл.пр.}}\,, \quad (1.2)$$

$$Q_{\text{э}} = (3600 \cdot V k_{\text{н}} \gamma k_{\text{в}})/t\,, \quad (1.3)$$

$$K_{\text{г}} = T_o/(T_o + T_{\text{в}})\,, \quad (1.4)$$

где $K_{\text{г}}$ – средний коэффициент готовности ПДМ; $T_{\text{сум.р.}}$ и $T_{\text{сум.пл.пр.}}$ – соответственно суммарный фонд рабочего времени и времени плановых простоев ПДМ за рассматриваемый период эксплуатации $T_{\text{э}}$; T_o – среднее время наработки ПДМ между отказами; $T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления работоспособного состояния ПДМ; V – объём ковша ПДМ, м^3; γ – плотность разрыхлённой горной массы т/м^3; t – длительность рабочего цикла ПДМ, с; $k_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша в зависимости от физико-механических свойств горной массы; $k_{\text{в}}$ – коэффициент использования ПДМ во времени, зависящий от организации работы.

Наглядно данную ситуацию хорошо демонстрируют производственные данные за 2008 г. по эксплуатации ПДМ на Объединённом Кировском руднике ОАО «Апатит». Одной из причин невыполнения плановых объёмов добычи апатит-нефелиновой руды является аварийные ремонты и длительные (до 1,5 месяцев) простои самоходной техники в ожидании ЗЧ. Из находившихся в эксплуатации на добыче руды 18 единиц ПДМ Toro-400E в течении 3-х месяцев из-за неритмичных

поставок ЗЧ в ремонте находилось в среднем 2,3 единицы. Суммарные простои только за один квартал составили 142 рабочих дня.

Около 80% ответственных деталей, выход их строя которых приводит к отказу ПДМ относятся к общемашиностроительным и в сложившейся ситуации эффективнее было бы изготавливать в ремонтном производстве ОАО «Апатит», вблизи мест их эксплуатации. Локальное расположение таких предприятий даёт им явное преимущество, относительно сторонних поставщиков. Ярким примером, демонстрирующим данные утверждения, является сравнение затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) зарубежных ПДМ силами предприятий изготовителей при полном обеспечении оригинальными ЗЧ с ТОиР тех же ПДМ, но силами ремонтного производства ОАО «Апатит», с частичным ипортозамещением ЗЧ, выполненное СГМ. Так, в результате технико-экономической оценки данных вариантов в равных условиях, было выявлено, что затраты на ТОиР силами ремонтного производства ОАО «Апатит» в 1,5 – 2,2 раза ниже, чем силами сервисных центов предприятий изготовителей (по данным на 2009 г.). При этом затраты на обеспечение ЗЧ при ТОиР собственными силами составляют порядка 1 млн. евро/год, для парка ПДМ в количестве 38 единиц техники, что в пересчёте на одну ПДМ в среднем составляет 26 тыс. евро/год при минимальной цене в 300 тыс. евро за одну ПДМ, что в свою очередь составляет 8,5% от её стоимости. При ремонте сервисными службами предприятия изготовителя оригинальными ЗЧ, затраты на их закупку 60 тыс. евро/год на одну машину (около 20%). Приведённые данные, описывают ситуацию, относительно ТОиР собственными силами с применением, по большей части оригинальных ЗЧ. В настоящее время, данная ситуация приобретает катастрофический характер в связи девальвацией рубля по отношению к евро и доллару, возникшей в связи с введением против России экономических санкций со стороны США и Евросоюза.

Несмотря на явное преимущество производства ЗЧ силами собственного ремонтного производства, практика показывает, что на ремонтных предприятиях ОАО «Апатит» производится малая доля ЗЧ для ремонта ПДМ. Проанализируем причины такой негативной тенденции.

1.3. Эффективность изготовления запасных частей для погрузочно-доставочных машин в ремонтом производстве ОАО «Апатит»

В результате анализа номенклатуры запасных частей (ЗЧ), необходимых для ремонта парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) Объединённого Кировского рудника ОАО «Апатит» в течении года, была выполнена их классификация по трём группам: стандартные детали и изделия (подшипники, клапаны, реле, фильтры, колёса и др.); уникальные детали (валы и шестерни дифференциалов, стрелы, кулисы, ковши, корпусные детали и др.) и общемашиностроительные детали (втулки, пальцы, поршни, штоки, валы и др.). Из представленных групп ЗЧ силами ремонтной базы ОАО «Апатит» и сторонними машиностроительными предприятиями потенциально возможно производство ЗЧ для ПДМ, относящихся к общемашиностроительным и малой части уникальных см. Рисунок 1. 6.

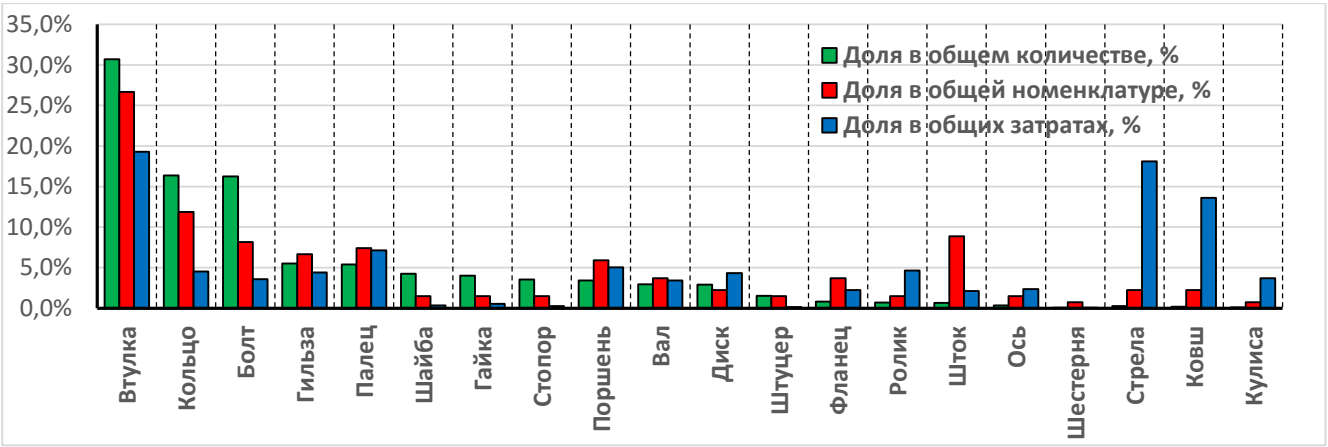


Рисунок 1. 6 – Долевое распределение типов запасных частей в общей номенклатуре производимых запасных частей для ремонта ПДМ

Как показывает практика, ремонтной базой ОАО «Апатит» и подрядными организациями освоена лишь та часть номенклатуры ЗЧ для ПДМ, которая по своим конструкторско-технологическим особенностям может быть обеспечена существующей технологией их производства. Сложность заключается в том, что на такого рода предприятиях из-за отсутствия, по известным причинам, оригинальных чертежей ЗЧ и технологии их изготовления, вынуждены разрабатывать неоригинальные технологические процессы. Производство ЗЧ по данным технологическим процессам, как правило, связано с длительным временем, низким

качеством и высоким процентом брака, что в результате отражается на высокой их себестоимости и низком ресурсе работы и приводит к низкой конкурентоспособности производимых ЗЧ для ПДМ по сравнению с оригинальными. Для выявления причин сложившейся ситуации проанализируем производственные условия и существующие технологические процессы изготовления ЗЧ для ПДМ в ремонтом производстве ОАО «Апатит».

Практика эксплуатации средств механизации на ОАО «Апатит» за последние 10 лет показывает, что на предприятии ведётся упразднение важных функций службы главного механика (СГМ) для повышения эффективности её работы. Из состава ОАО «Апатит» выводятся части ремонтных подразделений и на их основе создаются подрядные ремонтные предприятия. Наиболее масштабным таким ремонтным предприятием является Кировский филиал (КФ) ООО «Механик», образованное на базе ремонтно-механического завода (РМЗ) ОАО «Апатит».

Основным направлением деятельности КФ ООО «Механик» является оказание услуг по производству и поставке ЗЧ. Общее число заказчиков услуг составляет порядка 300 предприятий и организаций, самым крупным, из которых является ОАО «Апатит» (60% услуг) [9]. В число заказчиков также входят другие горнодобывающие предприятия (ОАО «Ковдорский ГОК», ЗАО «Северо-западная фосфорная компания», ОАО «Кольский ГМК» и др.); подрядные организации промышленные предприятия; организации выполняющие услуги населению и др. Большая часть услуг выполняется ремонтно-механическим комплексом (РМК).

Заготовительный участок РМК изготавливает отливки из износостойкого чугуна, легированных и углеродистых марок сталей, серых чугунов различного назначения, полученных литьём в песчано-глинистые смеси. Потребности литейного производства обеспечиваются отделением переработки лома. Кузнечное отделение обеспечивает производство поковок с использованием пневматических и паровоздушных молотов. В котельно-сварочном отделении участка изготавливаются металлоконструкции из сортового и листового проката. Восстановление изношенных валов, шестерен и др. деталей производится методом автоматической наплавки под флюсом или полуавтоматической наплавкой.

Парк станочного оборудования **механосборочного участка РМК** (см. Рисунок 1. 7) обеспечивает объём производства приблизительно 20000 ст. час/мес.

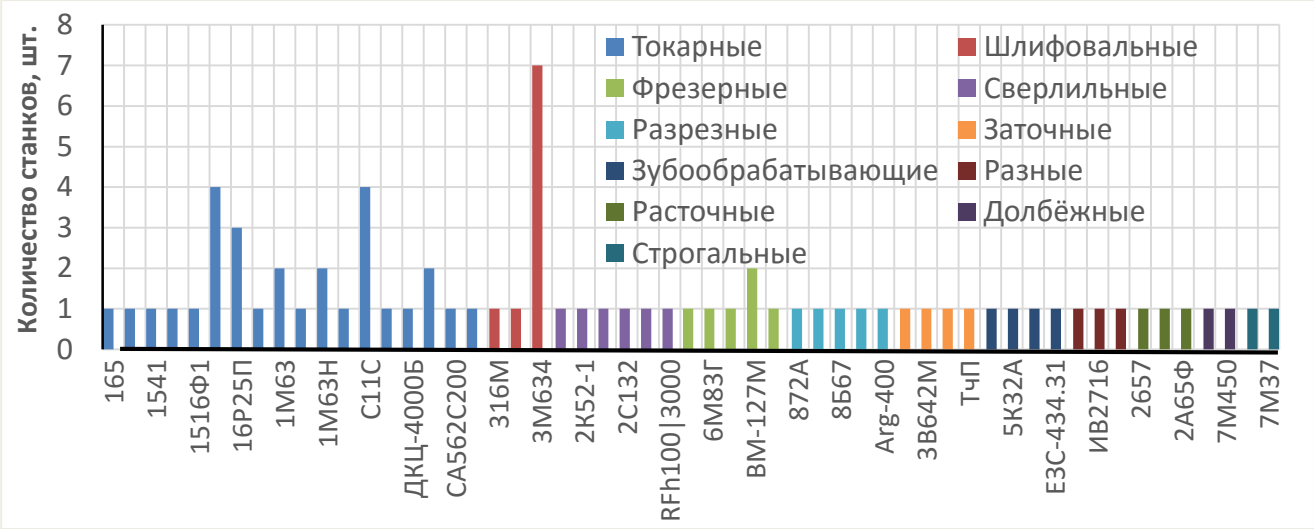


Рисунок 1. 7 – Парк станочного оборудования механосборочного участка РМК

Из представленных выше данных видно, что парк станочного оборудования представлен универсальными станками, обеспечивающим гибкость технологии изготовления ЗЧ. На основании анализа информации об их техническом состоянии выявлен возрастной состав парка станочного оборудования (см. Рисунок 1. 8).

Рисунок 1. 8 – Возрастной состав парка станочного оборудования механосборочного участка РМК

Состояние больше половины парка станочного оборудования предельное, так как сроки их эксплуатации давно вышли за установленные рамки (более 10 лет). Станочное оборудование не только физически, но и морально изношено. Для обеспечения точности и производительности обработки деталей (в том числе ЗЧ для ПДМ) требуется высококвалифицированное обслуживание станочного парка. При существующем техническом оснащении предприятие имеет следующий кадровый состав производственных рабочих-станочников (см. Таблица 1. 3).

Таблица 1. 3 – Кадровый состав производственных рабочих-станочников

№ п.п.	Категория	Разряд					Общее количество, чел.
		2	3	4	5	6	
1	Токари	12	9	11	9	1	42
2	Фрезеровщики	7	2	0	1	1	11
3	Расточники	2	0	0	1	0	3
4	Сверловщики	1	1	0	0	0	2
5	Долбёжники, строгальщики	0	1	1	0	0	2
Итого							60

Из представленных данных видно, что предприятие испытывает дефицит квалифицированных рабочих-станочников. Станочники, как правило, узкоспециализированы на определённом виде механической обработки, тогда как для ремонтного производства требуется их универсальность. Ещё одним показателем, демонстрирующим то, что со временем ситуация будет ухудшаться является их возрастной и квалификационный состав (см. Рисунок 1. 9).

Рисунок 1. 9 – Структура кадрового состава производственных рабочих по специализации, квалификации и среднему возрасту

Вакансии по работе на таком оборудовании для молодёжи современного поколения не привлекательны, даже при выплате стимулирующих надбавок. В случае положительного результата (принятия на работу рабочего низкой квалификацией 2-3 разрядов) требуется длительные сроки по включению его в производство и достижения им необходимой квалификации (наработки опыта), требуемой для выполнения производственной программы предприятия.

Силами РМК изготавливает ЗЧ широкой номенклатуры и с разными объёмами выпуска, требованиями к квалификации персонала и к точности изготовления. Проанализирован и выявлен следующий состав программы выпуска ЗЧ (Таблица 1. 4). Практика показывает, что сегодня РМК КФ ООО «Механик», освоено 67% от общего количества позиций ЗЧ для ПДМ, в которые входят: 100%

номенклатуры втулок, болтов, шайб, гаек, стопоров, штуцеров и роликов; 94% номенклатуры колец; 80% номенклатуры фланцев; 70% пальцев и 33% гильз.

Таблица 1. 4 – Программа выпуска запасных частей КФ ООО «Механик»

Количество деталей, шт.	Доля, в общем количестве позиций, %	Номенклатура запасных частей
до 10	69,37	Болты, валы, валы-шестерни, винты, втулки, гайки, диски, клинья, зубчатые колёса, кольца, крышки, оси, пальцы, ролики, стаканы, уголки, упоры, шестерни, шпонки и др.
от 10 до 20	10,10	
от 20 до 50	9,30	
от 50 до 100	4,33	Болты, гайки, диски, колодки, клинья, проушины, серьги, скобы, хвостовики, шайбы, шпильки и др.
от 100 до 200	4,01	Болты, винты, вставки, втулки, клинья, колёса, кольца, крышки, проушины, скобы, шпильки и др.
от 200 до 500	1,84	Гайки, пальцы, пластины, шпильки, втулки, болты.
от 500 до 1000	0,56	Гайки, болты, скобы, штанги, клинья

Производство групп деталей малой номенклатуры и больших объёмов на изношенном оборудовании является неэффективным и требует больших временных и трудовых затрат, которые в результате приводят к повышению себестоимости изготовления. На современных машиностроительных предприятиях такого рода проблемы решаются внедрением станков с числовым программным управлением (ЧПУ). Для эффективного производства ЗЧ, имеющих постоянно меняющую номенклатуру, малые объёмы партии и высокое качество, как например для ЗЧ ПДМ, требуется повышение квалификации станочного персонала предприятия и обновление или модернизация металлорежущего оборудования.

Технологический процесс производства ЗЧ РМК имеет следующий алгоритм. Заказчик в качестве технического задания предоставляет чертёж производимой детали в производственно-технический отдел (ПТО) РМК, с указанием их количества. После получения данной информации выполняется оценка стоимости заказа и определяются сроки его выполнения. ПТО РМК, в зависимости от сложности изготовления детали формируют маршрутный технологический процесс с применением простейших баз данных (MS Access), табличных (MS Excel), текстовых (MS Word) и чертёжных редакторов (AutoCAD, Компас). При таком уровне конструкторско-технологической подготовки (КТПП) обработка деталей, производится в соответствии с профессиональными навыками рабочих.

При постоянно меняющейся номенклатуре ЗЧ такая организация производства требует автоматизации, систематизации и интеграции хранения конструкторско-технологической информации, её оперативный поиск и редактирование. Это позволит повысить гибкость и сократить время на КТПП при освоение новой продукции на базе уже существующих решений. Однако даже при наличии таких средств воспользоваться ими в полной мере не представляется возможным в связи с применение универсальных станков с ручным управлением.

Проанализировав все вышеперечисленные данные можно сделать следующие выводы. В условиях дефицита квалифицированных рабочих и низкой надёжности станочного оборудования производство ЗЧ для ремонта ПДМ в установленные сроки, в необходимом объёме и номенклатуре с заданным уровнем качества при существующей технологии не предоставляется возможным в полном объёме. Возникает дисбаланс: с одной стороны, количество и квалификация кадрового состава, работающего на универсальных станках и с другой потоки заказов по производству в единичном и мелкосерийном количестве ЗЧ не только для ПДМ но и для других видов средств механизации. В таких условиях ОАО «Апатит» вынуждено обращаться за помощью к сторонним машиностроительным предприятиям, что, во-первых, приводит к увеличению временных и финансовых затрат, связанных с простоем техники в ожидании ЗЧ, а во-вторых, и к потере заказов на производство подрядными ремонтными предприятиями, большинство которых на условиях аутсорсинга изготавливает ЗЧ. Учитывая важность влияния оперативности обеспечения ПДМ ЗЧ требуемого уровня качества на надёжность при их эксплуатации сформулируем цель и задачи для исследования.

1.4. Цель и задачи исследования

Цель работы является увеличить коэффициент готовности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин, за счёт уменьшения времени их простоев путём повышения качества и оперативности изготовления запасных

частей на горном предприятии. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи исследования:**

1. Проанализировать особенности эксплуатации и ремонта погрузочно-доставочных машин, расход и эффективность изготовления их запасными частями в ремонтном производстве ОАО «Апатит».
2. Выполнить анализ существующей системы обеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин, оценить связанные с этим производственные затраты и потери ОАО «Апатит» и выбрать наиболее эффективную модель управления запасами.
3. Разработать алгоритм формирования программы выпуска запасных частей для погрузочно-доставочных машин, сформировать требования к новой технологии для их оперативного изготовления и проанализировать варианты технического оснащения ремонтного производства металлорежущими станками.
4. Исследовать технологические возможности универсальных металлорежущих станков с интерактивной компьютерной системой управления и адаптировать их для изготовления запасных частей в ремонтном производстве для практической реализации самообеспечения ими парка погрузочно-доставочных машин ОАО «Апатит».
5. Разработать математическую модель, позволяющую установить взаимосвязь между коэффициентом готовности погрузочно-доставочных машин и уровнем качества, достигаемого при изготовлении запасных частей к ним.
6. Выполнить имитационное моделирование метода оперативного самообеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин в условиях ОАО «Апатит» и установить зависимость коэффициента готовности от затрат не его обеспечение для его сравнения с другими логистическими вариантами обеспечения запасными частями.

ГЛАВА 2. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ПАРКА ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН ОАО «АПАТИТ»

2.1. Обзор работ по повышению надёжности средств механизации за счёт обеспечения высокой эффективности снабжения их запасными частями

Вопросами повышения надёжности горной техники занимались Андреева Л.И, Галкин В.И., Гетопанов В.Н., Иванов С.Л., Кантович Л.И., Островский М.С, Подэрни Р.Ю., Радкевич Я.М., Солод Г.И., Хазанович Г.Ш. и многие др. Решению вопроса повышения эффективности обеспечения запасными частями (ЗЧ) средств механизации (СМ) в разных отраслях промышленности посвящены работы исследователей: Гамбаля М.Ю., Носенко В.В., Рахутина М.Г. (горные машины); Вольфа А.К., Деменковой Е.А. (лесозаготовительные машины), Галимовой Е.О., Гришина А.С., Суворова Г.Г. (автомобильный транспорт); Приходько М.В. (дорожно-строительная техника); Данилова П.А. (подъёмно-транспортная техника) и др., которые можно разделить на три направления:

1. методы оценки технического состояния СМ, его прогнозирования и планирования их технического обслуживания и ремонта (ТОиР) [16, 17] и др.
2. методы расчёта, планирования и управления запасами [18, 19, 20] и др.
3. организация и управление источниками пополнения запасов [21, 22] и др.

Развитие исследований по первому направлению позволяет прогнозировать остаточный ресурс агрегатов СМ, планировать сроки ремонта, необходимую номенклатуру и количество ЗЧ. Для этих целей широко применяется методы диагностики, мониторинга и прогнозирования технического состояния (ТС) СМ в сочетании с автоматизацией управления процессами ТОиР. В работе [17] предлагается повышение эффективности ТОиР карьерных экскаваторов за счёт внедрения системы фирменного сервисного обслуживания (ФСО). По технологии системы ФСО гарантированный уровень технической готовности СМ достигается

целенаправленными корректирующими ремонтами, содержание которых определяется результатами непрерывного мониторинга их ТС.

В работе [16] разработана математическая модель структуры системы контроля и восстановления работоспособности технологической машины лесного комплекса. Её использование обеспечивает автоматизированное проектирование процессов по ТОиР СМ, за счёт формирования взаимосвязей между способами диагностики неисправных агрегатов, технологией, средствами, ЗЧ и расходными материалами, необходимыми для выполнения ТОиР.

Предприятия, эксплуатирующие сложные СМ, испытывают значительный материальный ущерб от несовершенства планирования и несоблюдение сроков поставок ЗЧ. Так, материальный ущерб от децентрализованных закупок, хранения сверхнормативных запасов и простоев основного производства из-за дефицита ЗЧ в ОАО «Сургутнефтегаз» за 2001-2002 год составил порядка 80 млн. руб. [19].

Решению данного рода задач, посвящены работы по совершенствованию логистических процессов планирования потребностей и поставок ЗЧ для определения оптимальных объёмов запасов. В работе [19] предлагается повысить эффективность системы управления запасами транспортных предприятий нефтегазового комплекса за счет оптимизации их резерва. Автором разработана имитационная математическая модель системы массового обслуживания для управления резервом ЗЧ, в виде целевой функции с системой ограничений

$$C_{\Sigma} = \sum_{j=1}^{m} C_j \sum_{i=1}^{k} x_{ij}\Delta t_i + \sum_{i=1}^{k} C_{1j}\lambda_j(t_i)\Delta t_i + C_3 \cdot \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{m} \bar{t}_{ij}\left(x_{ij}, \lambda_{ij}, \Delta t_i\right) \cdot P_k \to min, \quad (2.1)$$

$$\begin{cases} x_{ij} \geq \lambda_j(t_i)\Delta t_i, (i = 1, \dots, k-1;\ j = 1, \dots, m \\ \lambda_j(t_i)\Delta t_i > 1 \end{cases}, \quad (2.2)$$

где C_j – затраты на хранение элемента j-го типа на складе, руб./час; C_{1j} – затраты на приобретение и доставку одного j-го элемента, руб.; $\Delta t_i = t_{(i+1)} - t_i$ – отрезок времени между i-ой и $(i+1)$-ой партиями, ч.; k - количество интервалов между поставками; $\lambda_j(t_i)$ – средняя интенсивность отказов j-х элементов в течение Δt_i, отказов/час; x_{ij} – объем резерва j-го элемента в момент поступления очередной i-той партии ЗЧ, ед.; $\bar{t}_{ij}$ – математическое ожидание времени простоя спецтехники

из-за отсутствия j-го элемента в момент поступления очередной i-той партии ЗЧ; C_3 - потери основного производства от простоя бригады, руб./час; P_k – вероятность неудовлетворения потребности основного производства в спецтехнике из-за технического состояния. Установлены закономерности изменения затрат на управление резервом ЗЧ от его объема (см. Рисунок 2. 1).

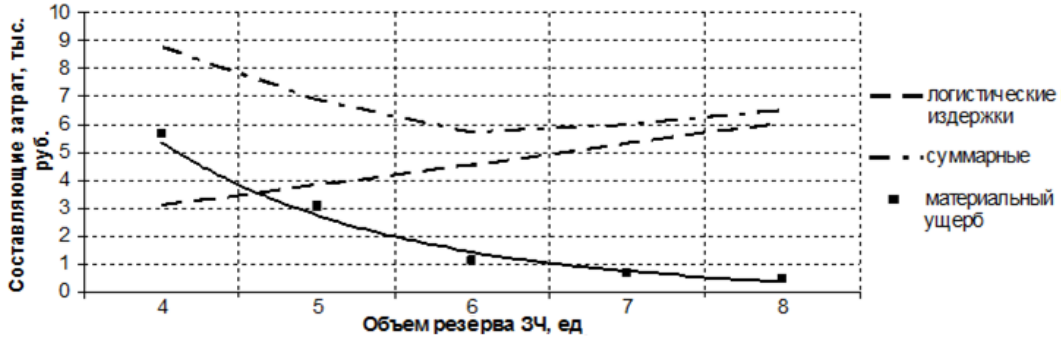


Рисунок 2. 1 – График зависимости составляющих затрат на управление резервом ЗЧ от его объема (на примере аксиального насоса) [19]

В работе [20] предлагается оптимизация объемов и унификация номенклатуры ЗЧ шахтных погрузочных машин и комбайнов избирательного действия за счёт разработки методики прогнозирования в условиях неопределенности с учетом данных о фактических показателях надежности машин и объемах поставок ЗЧ, которая включает в себя следующие этапы:

1. *Формирование массива данных по ЗЧ: стоимостей их приобретения и хранения, издержек от простоя техники из-за дефицита ЗЧ.*
2. *Совместное проведение ABC (ранжирование по величине спроса) и XYZ (ранжирование по степени прогнозируемости спроса) анализов, позволяющее создать матрицу, состоящую из девяти классов ЗЧ (Таблица 2. 1).*

Таблица 2. 1 – Классификационные группы при проведении *ABC-XYZ–анализа,* *где C - стоимость ЗЧ; V - коэффициент вариации спроса на ЗЧ*

$\boldsymbol{AX}$ $(\boldsymbol{C_{max}V_{min}})$	$\boldsymbol{AY}$ $(\boldsymbol{C_{max}\bar{V}})$	$\boldsymbol{AZ}$ $(\boldsymbol{C_{max}V_{max}})$
$\boldsymbol{BX}$ $(\boldsymbol{\bar{C}V_{min}})$	$\boldsymbol{BY}$ $(\boldsymbol{\bar{C}\bar{V}})$	$\boldsymbol{BZ}$ $(\boldsymbol{\bar{C}V_{max}})$
$\boldsymbol{CX}$ $(\boldsymbol{C_{min}V_{min}})$	$\boldsymbol{CY}$ $(\boldsymbol{C_{min}\bar{V}})$	$\boldsymbol{CZ}$ $(\boldsymbol{C_{min}V_{max}})$

Группировка позиций ЗЧ происходит по возрастанию коэффициента вариации в каждой подгруппе *ABC*, в связи с этим: *группы AX, AY* имеют высокую скорость оборота (хранятся в близости от потребителя); *группы BX, BY, CX и CY* – средняя возможность прогнозирования (необходим расчёт рисков приобретения в

условиях неопределённости); *группы с рангом* Z – отсутствие или низкая тенденция для прогнозирования (большая часть ЗЧ).

3. *Прогнозирование потребного количества ЗЧ на основе статистических данных и логического отбора протекания исследуемого процесса.*

Прогнозное значение на следующий период определяется подбором линий тренда, которые могут быть описаны следующими аппроксимирующими функциями: полиномиальной; линейной; степенной; экспоненциальной, логарифмической и при нормальном распределении по методу 3σ, качество которого оценивается величиной достоверности аппроксимации $\bar{R}^2$.

Выбор оптимальной стратегии производится на основе расчета рисков в условиях неопределенности по критерию Сэвиджа, при котором величина риска принимает наименьшее значение в самой неблагоприятной ситуации.

Получено n стратегий поставок ЗЧ $\bar{S}_j$, $j = 1, \dots, n$, для которых имеется и n возможных вариантов прогноза потребности в ЗЧ – $R_1, R_2, \dots R_i, \dots R_n$. Если фактический расход совпадает с прогнозным, то затраты на ЗЧ определяются как

$$a_{ij} = C_{\text{Д}} \cdot q_i + C_{\text{х}} \cdot q_i \,, \qquad (2.3)$$

где q_i – прогноз потребности в ЗЧ i-ой номенклатуры, соответствующий i-ой R_i стратегии, шт.; $C_{\text{Д}}$ – цена ЗЧ, руб.; $C_{\text{х}}$ – стоимость хранения ЗЧ на складе, руб./шт.

Если при принятии стратегии R_i фактический расход соответствует j-му варианту прогноза S_j, то затраты на ЗЧ складываются из затрат на приобретение и хранение необходимых ЗЧ $C_{\text{Д}} \cdot q_j + C_{\text{х}} \cdot q_j$ и затрат на приобретение и хранение излишних ЗЧ $C_{\text{Д}} \cdot (q_i - q_j) + C_{\text{х}} \cdot (q_i - q_j)$ при $q_i > q_j$ или издержек, вызванных дефицитом ЗЧ на складе $C_{\text{П}} \cdot (q_i - q_j)$, при $q_i > q_j$, где $C_{\text{П}}$ – убытки от простоя машины из-за дефицита ЗЧ, руб./шт., k - коэффициент платы за сверхнормативные запасы. Затраты на ЗЧ a_{ij} при каждой R_i, S_i стратегии задаётся матрицей затрат A.

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{vmatrix}. \qquad (2.4)$$

Определяется элементы матрицы рисков $\|r_{ij}\|$ по формуле:

$$r_{ij} = \begin{cases} max\{a_{ij}\} - A_{ij}, \text{если } A_{ij} - \text{выигрыш} \\ A_{ij} - min\{a_{ij}\}, \text{если } A_{ij} - \text{потери} \end{cases} \quad (2.5)$$

В строках определяется минимальное значение (максимальный риск).

4. *Если детали относятся к группам AX, AY, AZ и BX, то их необходимо хранить на региональном складе, вблизи от потребителя.*
5. *Если стоимость приобретения и хранения излишков a_{ij} ниже издержек от простоя дефицита a_{ji}, то ЗЧ рациональнее хранить на складе потребителя.*
6. *Если ЗЧ относятся к группам BY, BZ, то их необходимо хранить на складе изготовителя, а все остальные выпускать по предварительному заказу.*

Оптимизация потребностей в ЗЧ для ремонта карьерных большегрузных самосвалов в работе [18] предлагается путём технико-экономического обоснования на основе оценки закономерностей распределения ресурсов ЗЧ машин и возможного риска их дефицита. Риск дефицита ЗЧ определяться по критерию минимальных суммарных годовых затрат $З_{сум}$ горного предприятия, связанные с ремонтом автосамосвала по замене агрегата по следующей формуле:

$$З_{сум} = \{(k_{уп\,т} c Q_{выр} + П_у Q_{выр})[t_p + (t_з + t_д)k_p] + k_{уп\,р} C_{кр} + Э_{ко} + \\ + С_д k_и k_р\} n_{кр.а} \to min\,, \quad (2.6)$$

где $k_{уп.т}$ – доля условно-постоянных расходов в себестоимости с [руб./т] транспортирования руды; $Q_{выр}$ – выработка автосамосвала, т/ч; $П_у$ – прибыль предприятия, руб./т.; t_p – простои автосамосвала в ремонте по замене агрегата, ч.; $t_з$ – нормативное время замены агрегата, ч.; $t_д$ – время доставки и хранения ЗЧ, ч; $k_р$ – коэффициент риска дефицита ЗЧ; $k_{уп.р}$ – доля условно-постоянных расходов в нормативной стоимости $C_{кр}$ [руб.] капитального ремонта и замены агрегата; $Э_{КО}$ – динамический кругооборотный эффект затрат, недополученный из-за излишка ЗЧ, образовавшегося при малом риске возникновения дефицита, руб., $C_д$ – таможенные сборы и расходы по доставке и хранению недостающих ЗЧ для ремонта агрегата на начало планируемого периода, руб.; $k_и$ – коэффициент инфляции; $n_{кр\,а}(k_p)$ – количество КР агрегата в году при риске k_p. Варьируя k_p, получается зависимость суммарных годовых расходов от риска дефицита ЗЧ (Рисунок 2. 2).

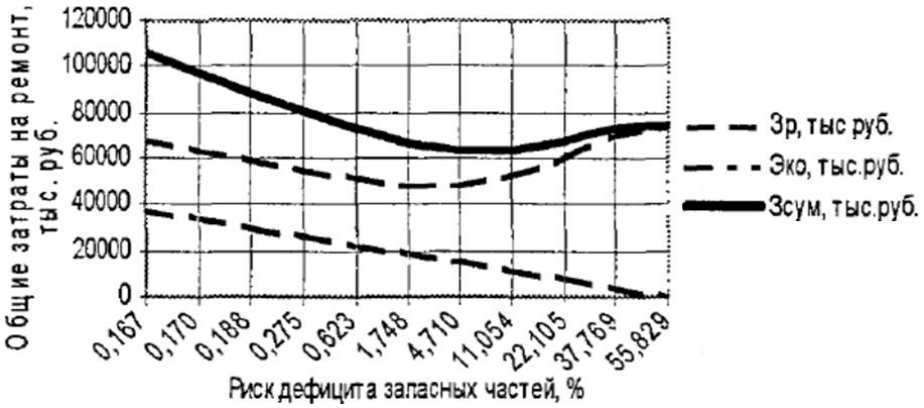


Рисунок 2. 2 – Зависимость суммарных затрат на ремонт трансмиссий автосамосвалов CAT 785 от значения риска дефицита ЗЧ

Эффективность реализации первых двух направлений зависит от своевременности обеспечения потребностей в ЗЧ предприятий, эксплуатирующих обслуживаемые СМ. Для сокращения издержек производителей и предприятий эксплуатирующих сложные СМ в работе [21] разработана методика, определения количества ЗЧ для ремонта парка проектируемых новых подъёмно-транспортных машин на время их срока эксплуатации. Данная методика позволяет конкретизировать возможности изготовителя в плане обеспечения выпуска данного количества деталей.

По мнению автора работы [22], перспективным направлением повышения эффективности ТОиР и обеспечения ЗЧ СМ является организация системы технического сервиса, за счёт вовлечения в них заводов-изготовителей СМ. В работе проводятся теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию организации и технологической подготовки производства ЗЧ на заводах-изготовителях, для организации технического сервиса производимых ими СМ с учетом их состояния, платежеспособности эксплуатирующих предприятий и необходимого уровня качества выпускаемых деталей.

В итоге, проведённый анализ показал, что в работах исследователей уделено мало внимания вопросам где, при помощи чего и как производить ЗЧ требуемого уровня качества для своевременного обеспечения ими СМ.

2.2. Выбор стратегии управления запасами для самообеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин на ОАО «Апатит»

Для поддержания высокого уровня готовности эксплуатируемых погрузочно-доставочных машин (ПДМ) необходимо своевременно устранять причины возникновения отказов. Эффективность выполнения данных процессов, зависит от множества факторов, среди которых одним из важнейших и капиталоёмких является обеспечение запасными частями (ЗЧ) [18, 19, 20, 23].

Процесс обеспечения ЗЧ парка ПДМ ОАО «Апатит», представляет собой систему снабжения, работу которой с позиции теории управления запасами (УЗ), можно математически описать путём выбора одной из моделей и стратегии УЗ. Выбор модели и стратегии УЗ для конкретных производственных условий, выполняется путём анализа характеристик: предметов снабжения, системы снабжения, спроса на предметы снабжения, возможности восполнения, функции затрат и ограничений [24]. Проанализируем характеристики существующей системы снабжения и выявим достоинства и недостатки её работы, для правильного выбора целесообразных путей её совершенствования.

2.2.1. Спрос на запасные части и модели управления запасами при снабжении парка погрузочно-доставочных машин Объединённого Кировского рудника

Система снабжения ОАО «Апатит» имеет сложную многоуровневую структуру и включает в себя запасы разных предметов с количеством видов до нескольких тысяч наименований. В теории управления запасами (УЗ) [25] доказано, что в сложных системах УЗ широко используются субоптимальные стратегии простейшего класса. Рассмотрим работу такой стратегии, на примере системы снабжения запасными частями (ЗЧ) парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) участком ремонта самоходной техники Объединённого Кировского рудника (ОКР) ОАО «Апатит».

Адаптируем к рассматриваемой системе УЗ качественное описание единой модели УЗ, приведённое в работах [24, 26]. Для упрощения задачи будем рассматривать систему снабжения *без ограничений*. Так в цеховой склад системы снабжения ОКР поступает случайный поток качественно однородных заявок от ремонтных органов, выполняющих техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ). Заявки немедленно удовлетворяются до тех пор, пока их суммарный объем не превысит начального запаса. Все последующие требования не могут быть обслужены тотчас же, вследствие чего потребитель простаивает и несет потери от дефицита $Z_{\text{деф}}$. Данные затраты зависят от схемы разработки месторождения, горно-геологических условий, режима работы и типоразмера ПДМ и равняются величине, недополученной вследствие «недопроизведенного» апатит-нефелинового концентрата прибыли ОАО «Апатит», из-за простоев ПДМ в ремонте. Централизованно, один раз в квартал на ОАО «Апатит» запас пополняется из центрального склада или ремонтного органа, с чем связаны дополнительные затраты на приобретение и доставку ЗЧ $Z_{\text{пр}}$ и оформление заказов $Z_{\text{оф}}$. Помимо того склад несет расходы по хранению находящегося в нем имущества $Z_{\text{хр}}$. Момент и объем заказа на восполнение зависит от типа модели и вида применяемой стратегии УЗ (Таблица 2. 2.) и определяются с использованием целевой функции, имеющей следующий общий вид [25]

$$Z_{\Sigma\text{суз}} = Z_{\text{пр}} + Z_{\text{оф}} + Z_{\text{хр}} + Z_{\text{деф}} \rightarrow min\,. \qquad (2.7)$$

На основе анализа данных по закупкам ЗЧ для ТОиР подземной самоходной техники системы снабжения цехового склада ОКР нами выявлено, что за 2011 г. номенклатура запасов составила 710 наименований стоимостью около 61,7 млн. руб, из них 92 наименований ЗЧ для ПДМ. В связи с многономенклатурным характером запасов, когда каждое наименование ЗЧ имеет свои сроки службы, специфические причины спроса и выступает как отдельный товар, возникают сложности совместного УЗ.

Таблица 2. 2 – Сущность и особенности простейших стратегий управления запасами

Тип модели	Вид стратегии	Краткое описание сущности стратегии	Особенности стратегии	
1. С периодическими проверками	$(\boldsymbol{T}, \boldsymbol{R})$	Сигнал на пополнение запаса подаётся через фиксированный промежуток времени $\boldsymbol{T}$. Запас пополняется до постоянного уровня $\boldsymbol{R}$.	Применяется при высоких потерях от дефицита и для управления многономенклатурными запасами в неавтоматизированных системах. Встраивается в обычные схемы календарного планирования; гибко реагирует на изменение спроса; имеет возможность совмещения заказов. Излишние транспортные и административные расходы после периодов с низким спросом; увеличивает средний дефицит при высоком спросе; увеличенный объём страховых запасов.	
	$(\boldsymbol{T}, \boldsymbol{Q})$	Сигнал на пополнение запаса подаётся через фиксированный постоянный промежуток времени $\boldsymbol{T}$**.** Запас пополняется на постоянную величину $\boldsymbol{Q}$.	Применяется при стабильном спросе в неавтоматизированных системах. Не содержит элементов обратной связи, (процесс оказывается неуправляемым), большие страховые запасы.	
2. С пороговым уровнем	$(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{q})$	Сигнал на пополнение запаса подаётся при снижении уровня запаса до минимального уровня $\boldsymbol{r}$. Запас пополняется на постоянную величину $\boldsymbol{q}$.	Применяется в автоматизированных системах. Реализует принцип обратной связи по состоянию процесса; меньший объём страховых запасов; медленно реагирует на спрос; приводит к частым недостачам.	
	$(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{R})$	Сигнал на пополнение запаса подаётся при снижении уровня запаса до минимального уровня $\boldsymbol{r}$. Запас пополняется до постоянного уровня $\boldsymbol{R}$.	Применяется для управления однопродуктовыми запасами (или приводящейся к таковым).	Наиболее гибкая стратегия по отношению к спросу; позволяет поддерживать относительное постоянство запаса вблизи критического уровня при достаточно редких поставках; в практическом применении сложнее $(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{q})$.
	$(\boldsymbol{R}-\boldsymbol{1}, \boldsymbol{R})$	Частный случай $(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{R})$ при $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{R}-\boldsymbol{1}$ или $(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{q})$ при $(\boldsymbol{q}=\boldsymbol{1})$. Заказ производится при каждом требования, запас пополняется на единицу.	Применяется при дискретном спросе.	
	$(\boldsymbol{0}, \boldsymbol{R})$	Частный случай $(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{R})$ при $\boldsymbol{r}=\boldsymbol{0}$. Заказ производится при отсутствие запаса на складе данного уровня.	Применяется при наличии склада высшего ранга, и низких потерях при дефиците.	
3. Ком-бинирo-ванная	$(\boldsymbol{T}, \boldsymbol{r}, \boldsymbol{R})$	Сигнал на пополнение запаса подаётся либо через фиксированный промежуток времени $\boldsymbol{T}$, либо при снижении уровня запаса до минимального уровня $\boldsymbol{r}$. Запас пополняется до постоянного уровня $\boldsymbol{R}$.	Комбинирует особенности периодических и пороговых моделей УЗ.	

Для повышения эффективности управления многономенклатурными запасами в теории УЗ и логистике запасов [25 – 29] широко применяются методы классификации, в основе которых лежит совместное проведение *ABC* и *XYZ*-анализа [24, 26, 30]. Приведём формулы для расчёта критериев и принятые их значения для соответствующих групп, в соответствии с которыми выполняется ранжирование ЗЧ ПДМ при методах классификации:

- *ABC*-анализа[1] – коэффициент объёма затрат[2] $K_{\text{оз}}$

$$K_{\text{оз}} = \frac{З_{0i}}{\sum_{i=1}^{n} З_{0i}} \cdot 100\%\,, \tag{2.8}$$

где $З_{0i} = C_{oi} \cdot n_i$ – затраты на обеспечение i-ой позиции ЗЧ, $i = 1$; C_{oi} – цена позиции ЗЧ; n – общее количество позиций ЗЧ в номенклатуре;

- *XYZ*-анализа[3] – коэффициент вариации K_v

$$K_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(G_i - \bar{G})^2}{n}} \Big/ \bar{G} \cdot 100\%\,, \tag{2.9}$$

где G_i – текущее потребление продукции в i-м периоде наблюдения; $\bar{G} = \sum_{i=1}^{n} G_i\,/n$ – среднеарифметическое значение потребления продукции за рассматриваемый период, $i = 1$; n - период, за который проводится классификация продукции.

Рассортировав позиции запасов по группам, объединив их по правилам для *ABC-XYZ* и выявлены из них ЗЧ для ПДМ. Если из всей номенклатуры запасов для обеспечения ТОиР самоходной техники выбрать позиции ЗЧ для другого вида технологических машин – буровых установок (БУ), и сопоставить их с долей ЗЧ для ПДМ, то в результате получим распределение (см. Рисунок 2. 3). Из гистограмм видно, что количество наименований, стоимостной и штучный годовой оборот позиций ЗЧ для ПДМ больше чем у БУ. **Это подтверждает правильность выбора в ПДМ качестве объекта исследования.**

На основе результатов распределения номенклатуры запасов по группам, определяются характеристики системы УЗ (Таблица 2. 3).

---

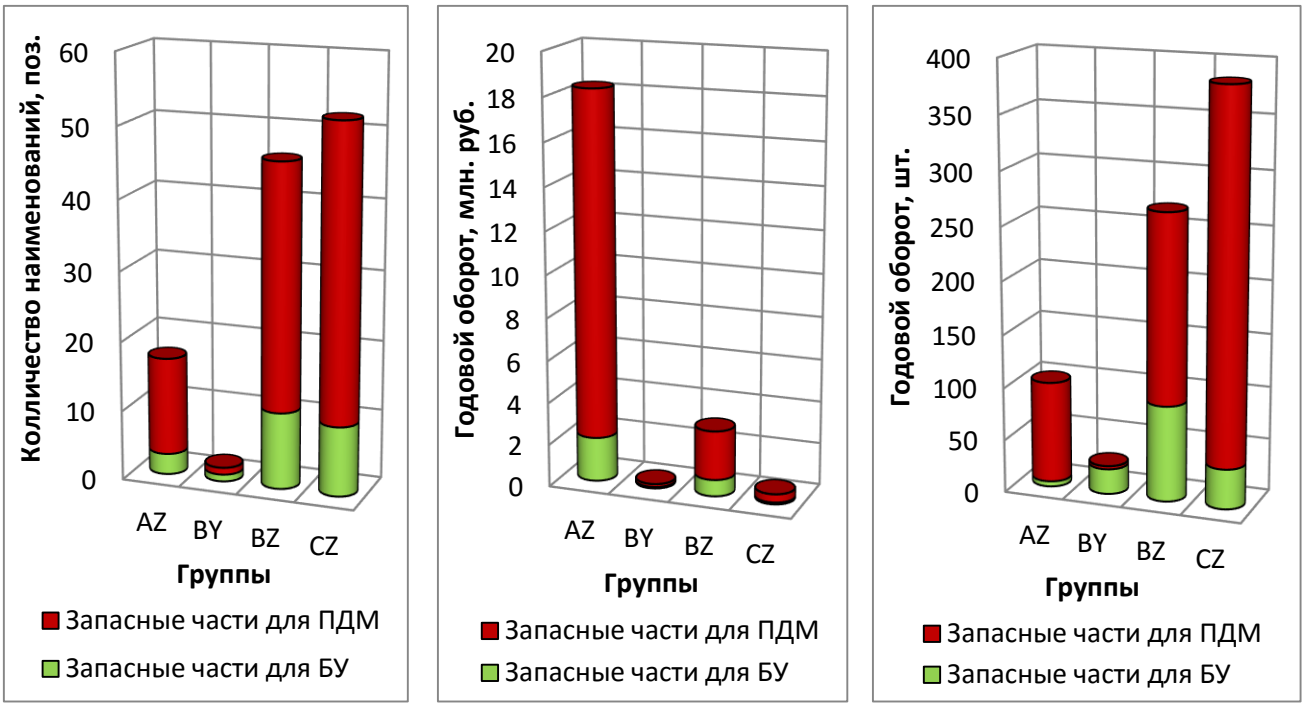
[1] Принято, следующее распределение по группам: *A* – до 70%, *B* – от 70 до 95% и *C* – от 95 до 100%

[2] Термин, введённый для характеристики удельного веса стоимостного объёма затрат выбранной позиции в суммарных затратах на обеспечение всей номенклатуры.

[3] Принято, следующее распределение по группам: *X* – менее 25%, *Y* – от 25 от 80% и *Z* – от 80 от 100%

Таблица 2. 3 – Характеристики систем УЗ в зависимости от групп *ABC-XYZ*

AX	AY	BX	BY	CX	CY	AZ	BZ	CZ
Детерминированные модели			Детерминированные модели			Стохастические модели		
Высокий страховой запас			Средний страховой запас			–		
Частый контроль			Периодический контроль			Избирательный контроль		



а. б. в.

Рисунок 2. 3 – Распределения номенклатуры запасных частей для технологических машин (ПДМ и БУ) по группам при *ABC-XYZ*-анализе: *а. – количества наименований; б. – стоимостного годового оборота; в. – штучного годового оборота*

Из проведённого анализа выявлено, что более 98% ЗЧ для ПДМ распределились по трём *группам AZ, BZ* и *CZ*. Таким образом для УЗ применяются стохастические модели и осуществляется избирательный контроль, в зависимости от принадлежности ЗЧ к одной из классификационных *групп A, B* или *C*. По мнению специалистов [26], строгая оптимизация должна проводиться по *группе A*, как правило, с применением пороговой *(R-1, R)* или (r, q)-стратегии при $q = 1$. Для *группы B* допустимо применение простейших расчётных методов с пороговыми (оперативными) (r, q)-стратегиями. Для всех остальных, относящихся к *группе C* возобновление запасов организуется из соображения практического удобства или по стабильным нормам, с применением, как правило, периодической *(T,R)*-стратегий. Попавшие сюда дорогостоящие ЗЧ с крайне низким спросом

хранятся на складе высшего звена системы снабжения, их запас пополняется при возникновении очередной потребности. Опишем характеристики спроса на ЗЧ.

Характеристики спроса для ЗЧ определяются комбинацией трёх факторов: типа резерва («холодны» или «горячащий»), глубины (полный или частичный) и организации (периодический или непрерывный) проводимого контроля. Для упрощения вывода формул и дальнейших расчётов с использованием зависимой, описывающих спрос на ЗЧ примем ряд допущения.

Пусть рассматриваемые детали агрегатов ПДМ относятся к «холодному» типу резерва, при котором скорость расхода ЗЧ постоянна, определяется только числом работающих элементов и не зависит от начального состояния системы. Замена отказавших деталей выполняется по мере необходимости путём полного периодического контроля технического состояния обслуживаемых агрегатов с применением методов и средств неразрушающего контроля. Для экспоненциального распределения времени наработки на отказ вероятность снижения числа ЗЧ на x единиц за время t вычисляется с применением пуассоновского распределения

$$p(x;\lambda_д t) = \left(\lambda_д t\right)^x / x! \cdot e^{-\lambda_д t}, \quad x = \overline{0, k+1}\,, \tag{2.10}$$

где k – кратность резервирования, λ – интенсивность отказов.

Спрос за период t равен расходу ЗЧ за данный срок. Зная количество эксплуатируемых ПДМ, их устройство, номенклатуру и количество необходимых для ремонта ЗЧ за рассматриваемы период t в случае, если до этого их не наблюдалось можно рассчитать интенсивность возникновения отказов невосстанавливаемых деталей $\lambda_д$ воспользовавшись следующими формулами:

$$\lambda_д = N_{от} / \left(N_{ср} t\right), \tag{2.11}$$

где $N_{отк}$ – число отказавших деталей ПДМ за время наработки t; $N_{ср}$ – среднее число исправно работающих деталей за время наработки t.

$$N_{ср} = (N_i + N_{i+1})/2\,, \tag{2.12}$$

где N_i, N_{i+1} – число исправно работающих изделий соответственно в начале и конце интервала времени t.

2.2.2. Математическое описание существующей стратегии управления запасами, применяемой для обеспечения погрузочно-доставочных машин запасными частями

Несмотря на то, что запасы склада Объединённого Кировского рудника имеет многономенклатурный характер, для обеспечения запасными частями (ЗЧ) парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) применяется периодическая стратегия управления запасами (УЗ), что обусловлено следующими причинами:

1. Весь парк самоходной техники представлен машинами зарубежного производства (удалённость поставщиков оригинальных ЗЧ от потребителей приводит к высоким финансовым и временным затратам на комплектование и оформление заявок, приобретение ЗЧ, их поставку и хранение).
2. Широкая номенклатура ЗЧ, их «разноресурсность» и случайный характер отказов приводит к сложностям прогнозирования их спроса.
3. Отсутствует возможность оперативно изготовить ЗЧ силами собственного ремонтного производства из-за низкого уровня технологии изготовления ЗЧ и дефицита квалифицированных рабочих.

Во избежание огромных потерь от простоев ПДМ, возникающих при дефиците необходимых ЗЧ, на горных предприятиях вынуждены держать большие объёмы текущих запасов. Их пополнение осуществляется *централизованно* один раз в квартал, с применением периодической модели с *(T,R)*-стратегией УЗ. Рассмотрим математическую модель для расчёта параметров системы с (T, R)-*стратегий* по критерию средних годовых затрат $Z(R)$ с учётом неудовлетворённых требований. В случае *пуассоновского спроса* (допущение) целевая функция при постоянном времени поставки имеет следующий вид [25]:

$$Z(R) = (A_1 + A_2 \cdot p_з)/T + JC\left[R - \lambda_д\tau - \left(\lambda_д T\right)/2\right] + \xi E(1; R-1; T) + \left(JC + \hat{\xi}\right)B(1; R-1; T) \rightarrow \boldsymbol{min}\,, \quad (2.13)$$

где A_1 и A_2 – стоимость оформления и подачи заказа соответственно, руб.; T – интервал времени между последовательными заказами, сут.; $p_з = P\left(1; \lambda_д T\right)$ – вероятность подачи заказа при произвольной проверке; J – коэффициент издержек

содержания запасов, руб./сут.; C – стоимость единицы запаса, руб.; R – величина до которого пополняется фиктивный уровень запасов (т. е. уровень наличного запаса плюс объём заказа), шт.; $\lambda_д$ – средняя интенсивность спроса на детали – ЗЧ (по предположению, не зависит от t) шт./сут.; τ – время поставки, сут.; ξ – постоянная и $\hat{\xi}$ – пропорциональная продолжительности составляющие учёта неудовлетворённых требований (дефицитов) руб./сут.; $B(1;R-1;T)$ и $E(1;R-1;T)$ – среднее число учтённых требований в момент t и за год соответственно.

$$E(1;R-1;T) = 1/T \cdot \{\lambda_д(\tau+T)P[R-1;\lambda_д(\tau+T)] - RP[R;\lambda_д(\tau+T)] - \lambda_д\tau P(R-1;\lambda_д\tau) + RP(R;\lambda_д\tau)\}, \quad (2.14)$$

$$B(1;R-1;T) = 1/T \cdot [\lambda_д/2 \cdot \{(\tau+T)^2 P[R-1;\lambda_д(\tau+T)] - \tau^2 P(R-1;\lambda_д\tau)\} + (R(R+1))/2\lambda_д \cdot \cdot \{P[R+1;\lambda_д(\tau+T)] - P(R+1;\lambda_д\tau)\} - R\{(\tau+T)P[R;\lambda_д(\tau+T)] - \tau P(R;\lambda_д\tau)\}], \quad (2.15)$$

$$P(R;\lambda_д\tau) = 1 - \sum_{u=0}^{R-1} \frac{(\lambda_д\tau)^u}{u!} \cdot e^{-\lambda_д\tau}, \quad (2.16)$$

$$P\left(R;\lambda_д(\tau+T)\right) = 1 - \sum_{u=0}^{R-1} \frac{\left(\lambda_д(\tau+T)\right)^u}{u!} \cdot e^{-\lambda_д(\tau+T)}, \quad (2.17)$$

где $P(R;\lambda_д\tau)$– вероятность того, что спрос не превысит R единиц запаса за время поставки τ при интенсивности отказов деталей $\lambda_д$; $P\left(R;\lambda_д(\tau+T)\right)$– вероятность того, что спрос не превысит R единиц запаса за время между цикла пополнения с учётом времени поставки $(\tau+T)$ при интенсивности отказов деталей $\lambda_д$.

Важным параметром математической модели (2.13) является $\hat{\xi}$ – пропорциональная продолжительности составляющая учёта дефицитов, руб./сут. ПДМ является важнейшим звеном технологической цепочки добычи апатит-нефелиновой руды, в функции которой входят погрузка отбитой горной массы в ковш и транспортировка её до рудоспуска, по которому руда перемещается на откаточный горизонт и далее ж.д. транспортом транспортируется на поверхность. При отказе ПДМ, останавливается процесс добычи руды из соответствующего забоя, и машина простаивает либо до восстановления работоспособного состояния

отказавшей ПДМ, либо на время её замены резервной ПДМ. Так как на протяжении времени ремонта ПДМ простаивает и не транспортирует руду, то итоговые показатели транспортируемого объёма или массы уменьшится на величину, пропорциональную продолжительности времени простоя при заданной эксплуатационной производительности. В результате «недодобычи» данного объёма руды, ОАО «Апатит» обогатит и произведёт меньший объём концентрата, на величину, пропорциональную процентному содержанию концентрата в руде. С учётом того, рыночная цена концентрата включает в себя себестоимость производства, т.е. все производственные затраты на выпуск концентрата, а также прибыль, то время простоя ПДМ целесообразно оценить через конечную цену «недопроданного» концентрата. Таким образом, величину потерь из-за простоя ПДМ $\hat{\xi}$ на ОАО «Апатит» укрупнённо можно оценить по следующей формуле:

$$\hat{\xi} = \mathrm{C}_{\text{конц.}} \cdot Q_{\text{экс}} \cdot n_{\text{см}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{T_{\text{м}}} \cdot K_{\text{ср.сод.конц}}\,, \qquad (2.18)$$

где $\mathrm{C}_{\text{конц.}}$ – рыночная стоимость апатит-нефелинового концентрата, руб./т., $Q_{\text{экс}}$ – эксплуатационная производительность ПДМ, т/час; $n_{\text{см}}$ – количество смен в сутки, смен/сут.; $T_{\text{см}}$ – длительность рабочей смены, час; $K_{T_{\text{м}}}$ – коэффициент, определяющий долю времени работы в смену; $K_{\text{ср.сод.конц}}$ - среднее процентное содержание апатита-нефелинового концентрата в руде.

Оптимальное значение уровня запаса R^* при известном интервале заказов T^* определяется табулированием целевой функции (2.13), как минимально целое R, обеспечивающее минимум затрат $Z(R)$.

Модель со *(T,R)*-стратегией УЗ широко применяется при *неавтоматизированном УЗ* и при *высоких потерях от дефицита*. Однако данная стратегия имеет существенный недостаток, который заключается в том, что она требует *большого объёма страховых запасов*, приводящих к «замораживанию» оборотных средств горного предприятия.

Для сокращения затрат на снабжение ЗЧ ПДМ, снижения текущих запасов необходимо применение более прогрессивной стратегии УЗ. Наиболее передовой и зарекомендовавшей себя во всём мире стратегией, минимизирующей объёмы текущих запасов, на сегодняшний день, является стратегия управления *«Just in*

Time» («точно вовремя»), впервые реализованная в Японии на производстве автомашин *«Toyota»* [26, 34]. Применение принципа «точно вовремя» при УЗ на ОАО «Апатит» целесообразно организовать за счёт изготовления ЗЧ для ПДМ в собственном ремонтном производстве. Это позволит обеспечить потребности в ЗЧ ПДМ в нужное время и в нужном месте, что приведёт к сокращению текущего запаса, предусматриваемого традиционными системами УЗ для исключения простоев ПДМ при дефиците ЗЧ и соответствующих затрат на хранение, сохранив на заданном уровне вероятность отсутствия дефицита.

Формирование «сигналов к действию» (к поставке ЗЧ для ПДМ) в системе снабжения осуществляется при постоянном контроле уровня запасов *автоматизированной системой УЗ с оперативным контролем* остатков. Проанализируем виды существующих стратегий УЗ с оперативным контролем и математическое описание наиболее целесообразной из них для снабжения ЗЧ ПДМ.

2.2.3. Математическое описание оперативной модели управления запасами со стратегией (r, q) при $q = 1$ с учётом неудовлетворённых требований

В результате проведения *ABC-XYZ-анализа* номенклатуры запасных частей (ЗЧ) для погрузочно-доставочных машин (ПДМ), 98% позиции запасов относятся к *группе Z*, а их спрос образует поток случайных редких событий, подчинённых закону распределения (2.10). При малой цене заказа для деталей высокой важности с низким спросом применяется частный случай (r, R)-стратегии модель с $/R - r = 1$, в которой заказ производится при получении каждого очередного требования [24]. В связи с тем, что в практическом использовании (r, R)-стратегия сложнее, чем (r, q)-стратегия и с учётом того, что (r, q)-стратегия представляет собой частный случай (r, R)-стратегии при $R = r + q$, где $q = 1$ [25], далее математически опишем (r, q)-стратегииприю (при $q = 1$)[4].

[4] Здесь и далее под q=1 будем понимать не одну деталь, а комплект, состоящий от одной до нескольких деталей, необходимых при ремонте одного агрегата.

Общая задача расчёта (r,q)-системы при $q^*=1$ сводится к определению оптимального уровня размещения заказов r^*. Определение момента подачи заказа выполняется по фиктивному $R=r+q$, который при $q^*=1$ остаётся постоянным так как при очень интенсивном спросе в одном из циклов между поставками из-за учёта требований выполненная поставка может не обеспечивать уровень запаса, выше уровня подачи заказа на пополнение. Так как спрос имеет пуассоновское распределение (2.10) с параметром $\lambda_д$, то R принимает целочисленные значения.

Рассмотрим математическую модель для расчёта параметров системы с (r,q)-стратегией при $q^*=1$ при изготовлении ЗЧ до ПДМ в ремонтном производстве ОАО «Апатит» по критерию средних годовых затрат $Z(R)$ с учётом неудовлетворённых требований, целевая функция которой при постоянном[5] временем поставки имеет вид[6] [25]:

$$Z(R)=JC\left(R-\lambda_д\tau\right)+\xi\lambda_д\,P_{деф}+\left(JC+\hat{\xi}\right)B(R)\rightarrow \boldsymbol{min}\,, \qquad (2.19)$$

$$B(R)=\lambda_д\tau P\left(R-1;\lambda_д\tau\right)-RP\left(R;\lambda_д\tau\right), \qquad (2.20)$$

где $\lambda_д$ – средняя интенсивность спроса (не зависит от t) шт./сут.; τ – время поставки, сут.; J – коэффициент издержек содержания запасов, руб./сут.; C – стоимость единицы запаса, руб.; R – величина до которого пополняется фиктивный уровень запасов (уровень наличного запаса плюс объём заказа), шт.; ξ – постоянная составляющая и $\hat{\xi}$ – пропорциональная продолжительности учёта дефицитов (2.21), руб./сут.; $P_{деф}=P\left(R;\lambda_д\tau\right)$ – вероятность дефицита запасов (2.19); $B(R)$ – ожидаемое число учтённых требований.

Оптимальный уровень запаса R^* есть уровень запаса, при котором $Z(R)$ достигает минимума (оптимальное значение R^* удовлетворяющее неравенству $0<R^*<\infty$. Его значение может быть определено по аналогии табулированием целевой функции (2.19) определяется как решение уравнения, полученного приравниванием $\partial Z/\partial R$ к нулю), т.е. большим значением R.

---

[5] В [25] доказано, что вероятности состояний наличного и дефицитного запасов и оптимальное значение не зависят от распределения времени поставки, если время поставок не зависимы, а это значит, что они могут быть вычислены при постоянном времени поставок τ.

[6] В формулу (2.20) для расчёта общих средних годовых издержки $Z(R)$ для дискретного спроса при $q^*=1$ не включены средние годовые издержки по оформлению и подаче заказов λA (где A – стоимость оформления и подачи заказа), так как они не зависят от R.

Огромное влияние на издержки хранения и потери, вызванные дефицита ЗЧ, оказывает время задержки поставки τ. Чем дольше τ, тем больший необходим объём страхового запаса во избежание дефицита ЗЧ, что приводит к увеличению затрат на хранение. Если своевременно не пополнять запас ЗЧ, то это может привести к их дефициту и соответствующим потерям из-за простоев ПДМ.

Если сравнить применение стратегий (T, R) и (r, q) при $q = 1$ для УЗ, то применение (T, R) требует большего объёма страховых запасов, чем в (r, q) с $q = 1$. Это объясняется тем, что в системе с периодическими проверками объём гарантийного запаса должен обеспечивать функционирование на интервале длительностью $T + \tau$, тогда как при оперативной проверке – только на время задержки поставки τ [25]. Применение же моделей с оперативным контролем запаса в отличие от периодической приводит к увеличению расходов на проведение проверок при поступлении каждого очередного требования. Этот недостаток можно устранить за счёт применения средств автоматизации контроля запасов.

2.2.4. Формирование требований, условий и механизма выбора источника пополнения для системы снабжения погрузочно-доставочных машин запасными частями с оперативным контролем их запасов

Для эффективной работы системы управления запасами (УЗ), с целью обеспечения запасными частями (ЗЧ) погрузочно-доставочных машин (ПДМ) «точно вовремя», сведения к минимуму длительности их ремонта и объёма текущего запаса ЗЧ и обеспечения нормальной работы модели с (r, q)-стратегией при $q = 1$, по нашему мнению, необходим источник пополнения, соответствующий следующим требованиям:

1. максимальное приближение к месту эксплуатации ПДМ;
2. оперативная оценка возможности и эффективности удовлетворения заявок, по результатам мониторинга состояния ПДМ и его прогноза или по факту возникновения потребности в ЗЧ;

3. высокая надёжность, гибкость и оперативность удовлетворения единичных заявок на ЗЧ, с минимальной себестоимостью и требуемым качеством;
4. соответствие производительности работы источника пополнения ЗЧ, интенсивности отказов ПДМ;
5. наличие кадровых и технических ресурсов, обеспечивающих работу источника пополнения для выполнения вышеуказанных требований.

Возможны два пути обеспечения ПДМ ЗЧ за счёт *внутренних* и *внешних* источников пополнения запасов. На сегодняшний день больше предпочтения отдается внешним поставщиками, так как по существующим технологиям, техническому и кадровому обеспечению собственного ремонтного производства ОАО «Апатит» нет возможности вовремя и качественно изготовить ЗЧ и удовлетворить постоянно меняющиеся потребности в них. Закупка же ЗЧ для ПДМ у сторонних поставщиков связанна с большими затратами времени на комплектование заказов, так как поставлять по одной ЗЧ не имеет смысла из-за высоких издержек, связанных с задержками поставок заказов. Это приводит либо к увеличению уровня запасов, и «замораживанию» оборотных средств, либо к простою ПДМ в ожидании ЗЧ и потерям от «недодобычи» полезного ископаемого.

Определить наиболее эффективный источник пополнения запасов по каждой конкретной позиции ЗЧ для ПДМ можно за счёт сравнения минимальных суммарных потерь $С_{сум}$ горного предприятия, связанных с обеспечением ЗЧ ПДМ и простоями их в ремонте либо в ожидании ЗЧ при их дефиците. Однако можно утверждать, что одной из составляющих данных потерь являются минимальные средние удельные затраты на снабжение ЗЧ ПДМ, которые определяются в зависимости от рассматриваемых источниках при прочих равных условиях.

Для расчёта минимальных средних годовых затрат на снабжение ПДМ ЗЧ и оптимального уровня запаса воспользуемся формулами (2.13) – при закупке у внешних поставщиков и (2.19) – при самообеспечении, добавим в них составляющие $Z_{\text{пр}} = \lambda_{\text{д}} C$ и $Z_{\text{оф}} = \lambda_{\text{д}}(A_1 + A_2)$, не зависящие от уровня запасов, но входящие в средние годовых затраты (2.7) при условии что составляющая учёта дефицитов зависит только от времени простоев ПДМ $\hat{\xi} = f(t)$, а $\xi = 0$.

- при покупке ЗЧ для ПДМ у внешних поставщиков

$$Z_{\text{пок}}(R_{\text{пок}}) = \lambda_{\text{д}} C_{\text{пок}} + (A_1 + A_{\text{пок2}} p_{\text{з}})/T + JC_{\text{пок}}\left[R_{\text{пок}} - \lambda_{\text{д}}(\tau_{\text{пок}} + T/2)\right] + \left(JC_{\text{пок}} + \hat{\xi}\right) \cdot B(1; R_{\text{пок}} - 1; T) \rightarrow \boldsymbol{min}, \quad (2.21)$$

- при самообеспечении ПДМ ЗЧ

$$Z_{\text{изг}}(R_{\text{изг}}) = \lambda_{\text{д}}(C_{\text{изг}} + A_1 + A_{\text{изг.2}} p_{\text{з}}) + JC_{\text{изг}}\left(R_{\text{изг}} - \lambda_{\text{д}} \tau_{\text{изг}}\right) + \left(JC_{\text{изг}} + \hat{\xi}\right) B(R_{\text{изг}}) \rightarrow \boldsymbol{min}, \quad (2.22)$$

где τ – время поставки или изготовления; C и R – стоимости единиц и уровни размещения запаса при покупке и изготовлении; $P(R; \lambda\tau)$ – вероятность спроса за время $\tau_{\text{пок}}$ и $\tau_{\text{изг}}$ при его пуассоновском распределении (2.16).

Параметры математической модели (2.21) и (2.22) учитывают специфику эксплуатируемых на ОАО «Апатит» ПДМ следующим образом (см. Таблица 2. 4).

Таблица 2. 4 – Взаимосвязь параметров математической модели со спецификой эксплуатации ПДМ на ОКР ОАО «Апатит»

№	Элемент системы УЗ	Специфика обслуживаемого объекта и условий его эксплуатации.	Параметры, усчитывающие специфику ПДМ и ОАО «Апатит»	Способ определение величины параметра
1.	Предмет снабжения – ЗЧ ПДМ	1. ЗЧ для ПДМ заданной номенклатуры и количества в соответствии с фактическим спросом на них в условиях ОАО «Апатит»; 2. Технология изготовления ЗЧ 3. Вид источника пополнения (внешний или внутренний);	$C_{\text{пок}}$ $C_{\text{изг}}$	Задано
2.	Система снабжения ОАО «Апатит»	1. Технологические возможности производственного модуля ремонтно-механического участка ОКР ОАО «Апатит» 2. Структура складской системы ОКР ОАО «Апатит» 3. Особенности стратегии УЗ системы снабжения ОАО «Апатит» 4. Удалённость ОАО «Апатит» от производителя (дистрибьютера) ПДМ и поставщиков ЗЧ 5. Вид источника пополнения (внешний или внутренний);	A_1 $A_{\text{пок.2}}$ $A_{\text{изг.2}}$ J	Задано
3.	Спрос на предметы снабжения	1. Устройство ПДМ 2. Структура парка ПДМ на ОАО «Апатит»	$\lambda_{\text{д}}$	(2.10)– (2.12)
			$p_{\text{з}}$	(2.19)

		3. Условия эксплуатации ПДМ и график работы 4. Качественные показатели и ресурс работы деталей агрегатов ПДМ		
4.	Возможность восполнения запаса	1. Вид источника пополнения (внешний или внутренний); 2. Технология производства ЗЧ 3. Стратегия системы УЗ 4. Возможности ремонтных служб 5. Технология производства ЗЧ	T	Задано
			$\tau_{\text{пок}}$ $\tau_{\text{изг}}$	Для закупки – задаётся, при изготовлении рассчитывается
			$R_{\text{пок}}$, $R_{\text{изг}}$	(2.13)
			$B(1; R-1; T)$	(2.15)
5.	Функция затрат	1. Добываемая руда, горно-геологические условия 2. Схема разработки месторождения 3. Режим работы и эксплуатационная производительность и ПДМ 4. Рыночная цена выпускаемой продукции – апатит-нефелинового концентрата 5. Особенности организации эксплуатации ПДМ 6. Наличие резервных ПДМ	ξ	Принято допущение при расчётах $\xi = 0$
			$\hat{\xi}$	(формула для расчёта потерь от простоев при дефиците ЗЧ)
6.	Ограничения	1. Лимиты по затратам 2. Вместимость склада 3. Производительность источника пополнения 4. Величина вероятности возникновения дефицита	Учитываются при расчётах, если расчётные значения не удовлетворяют ограничениям	Для упрощения расчётов принято допущения об отсутствии ограничений.

Сложность расчётов заключается в том, что как правило, поставщики ЗЧ заранее предоставляют информацию о цене $C_{\text{пок}}$ и сроках поставки $\tau_{\text{пок}}$ т.е. выходные параметры внешних источников всегда определены, тогда как при самообеспечении параметры ($C_{\text{изг}}$ и $\tau_{\text{изг}}$) могут быть определены лишь только исходя из возможностей технологии изготовления ЗЧ. Определять время $\tau_{\text{изг}}$ и стоимость $C_{\text{изг}}$ изготовления каждой детали является трудозатратным. В связи с этим необходимо разделить номенклатуру ЗЧ на позиции, которые эффективнее изготавливать в ремонтно-механических участках и на те, которые необходимо приобретать. Для этого необходимо проанализировать характеристики технологии изготовления ЗЧ и разработать алгоритм формирования программы выпуска.

В существующей ситуации, сложившейся вокруг обеспечения ЗЧ парка ПДМ Объединённого Кировского рудника ОАО «Апатит», отсутствуют условия для перехода к оперативной модели с (r, q)-стратегией УЗ и пополнением при каждом

очередном требовании $q = 1$. Причина тому, по нашему мнению, низкий уровень технологии изготовления ЗЧ. В качестве источника пополнения запасов при самообеспечении ЗЧ ПДМ по принципу *«точно вовремя»* целесообразно использовать либо ремонтные подразделения ОАО «Апатит», либо локальные подрядные ремонтные предприятия, осуществляющие на основе аутсорсинга ремонтное обслуживание ПДМ.

Помимо оперативного источника пополнения запасов, отвечающего сформулированным требованиям, для реализации принципа «точно вовремя» при УЗ необходимо, чтобы система ТОиР отвечала следующим *требованиям*:

1. Процессы взаимодействия объектов системы ТОиР должны выполняться в едином информационном поле по единым стандартам, с применением интегрированной информационной системы, автоматизирующей процессы учёта и управления техническими данными.
2. Для подготовки необходимого комплекта ЗЧ, управление процессами в системе ТОиР должно выполнять с применением средств неразрушающего контроля, для диагностики фактического состояния техники, его мониторинга и прогнозирования моментов и места возникновения отказов.
3. Основой для управления процессами ТОиР для реализации принципа «точно вовремя» является оперативное сопоставление информации по фактическому состоянию обслуживаемой техники, с данными от источника пополнения, о возможности удовлетворения, стоимости и сроках выполнения заявок.
4. Технология производства ЗЧ должна соответствовать сформулированными для источника пополнения требованиям и иметь беспрепятственный обмен информацией в едином информационном поле с участниками системы ТОиР.

Сформулированные требования к источнику пополнения ЗЧ и обслуживаемой их системы ТОиР в первом приближение формирует основные принципы метода самообеспечения ПДМ ЗЧ. Более точное описание сформулированных к системе ТОиР требований, будет приведено в Главе 4, а сейчас остановимся более подробно на реализации требований к технологии производства ЗЧ для ПДМ источником пополнения.

2.3. Особенности реализации технологии оперативного изготовления запасных частей для погрузочно-доставочных машин в производственных модулях ремонтно-механических участков на ОАО «Апатит»

2.3.1. Краткий анализ работы современного ремонтного предприятия и места в нём технологии оперативного изготовления запасных частей

Совершенствование технологии производства любой машиностроительной продукции невозможно представить без применения средств автоматизации для её информационной поддержки, которые реализуются в рамках концепции CALS-технологий. В связи с широким разнообразием вариантов данных средств и масштабностью их применения коротко, на примере работы современного ремонтного предприятия, проанализируем их реализацию при производстве запасных частей (ЗЧ). По результатам анализа определим роль и место технологии оперативного изготовления ЗЧ в данных производственных условиях.

Ярким примером, демонстрирующим эффективность использования средств автоматизации для информационной поддержки технологии производства ЗЧ, является ремонтно-механический завод (РМЗ) «Казцинкмаш», входящий в состав АО «Казцинк» (Республика Казахстан) крупного интегрированного производителя цинка с сопутствующим выпуском меди, свинца и драгоценных металлов. На РМЗ «Казцинкмаш» осуществляется ремонт парка технологических и вспомогательных средств механизации (СМ) и выполняется производство ЗЧ к ним.

Для повышения эффективности производства ЗЧ на РМЗ «Казцинкмаш» 2008 – 2012 гг. совместно со специалистами инженерно-консалтинговой компании «Солвер» был выполнен проект технического перевооружения предприятия за счёт применения современных технологий [35], в основу процесса перевооружения предприятия положены:

1. экспертный анализ номенклатуры ЗЧ и выявление из них наиболее приоритетной (критической номенклатуры);

2. конструкторско-технологическая подготовка производства ЗЧ с применением средств автоматизации CAD[7], CAM[8], CAPP[9].
3. разработка типовых технологически процессов и внедрение станков с ЧПУ, режущего инструмента и оснастки;
4. комплексное управление инженерной информацией с применение PDM[10]-системы интегрируемой с системой управления производственными ресурсами ERP[11] для создания единой информационной среды;
5. разработка нормативной базы, для новых технологических процессов;
6. подготовка и сертификация специалистов;
7. реинжиниринг, основанный на методике «восстановлении» 3D-моделей ЗЧ в результате измерения отказавших или новых деталей с помощью КИМ.

Перевооружение РМЗ «Казцинкмаш» для повышения эффективности производства и обеспечения ЗЧ СМ предприятия АО «Казцинк» привело к: повышению качества изготовления ЗЧ и увеличению наработки между отказами СМ; снижению себестоимости изготовления ЗЧ и минимизации годовых убытков от сокращения объемов выпуска конечного продукта из-за простоев СМ.

Несмотря на достигнутые результаты, при перевооружении предприятия «Казцинкмаш» столкнулись с тем, что большая часть парка станочного оборудования, даже после внедрения современных станков с ЧПУ, на 60 – 70% осталась представленной универсальным станочным оборудованием. Причина тому кроется в имеющихся производственных условиях и несоответствующем уровне применяемой технологии изготовления ЗЧ, для которых характерно:

1. Отсутствие возможности оперативного контроля качества производимой продукции и информационных каналов связи между конструкторско-технологической подготовкой и производством из-за полного отсутствия, либо наличие низкого уровня автоматизации (УЦИ) универсальных станков.

---

[7] Computer-Aided Design (CAD) – автоматизированная система конструкторского проектирования.

[8] Computer-Aided Manufacturing (CAM) – автоматизированная система технологического проектирования управляющих программ для обработки деталей на станках с ЧПУ.

[9] Computer-Aided Process Planning (CAPP) – автоматизированная система технологической подготовки производства.

[10] Product Data Management (PDM) – автоматизированная система управления проектными данными.

[11] Enterprise Resource Planning (ERP) – автоматизированная система управления ресурсами предприятия.

2. Применение для производства широкой номенклатуры ЗЧ технологических процессов, ориентированных на их серийный выпуск.
3. Низкий уровень качества, большой процент брака и длительные сроки изготовления ЗЧ из-за дефицита квалифицированных рабочих-станочников универсалов, низкой надёжности, морального и физического износа парка универсального станочного оборудования.

Для решения указанных проблем на ОАО «Апатит» и обеспечения парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) ЗЧ широкой номенклатуры *«точно вовремя»* мы разработали и предлагаем методику их «самообеспечения». Данная методика подразумевает создание производственных модулей (ПМ) в ремонтно-механических участках (РМУ), максимально приближенных к месту эксплуатации ПДМ и выполняющих *«подетальное»* производство ЗЧ для их ремонта. При такой постановке задачи, изменяется форма информационной поддержки технологии производства ЗЧ, которая в общем виде может быть реализована, в зависимости от организации системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) горного предприятия, следующими способами:

1. **РМУ является отдельной организацией**, т.е. РМУ имеет собственную производственную систему, применяющую локальные средства автоматизации, ограниченные по возможностям обмена информацией с информационными системами горного предприятия (необходимость создания не оригинальных чертежей и технологии изготовления ЗЧ).
2. **РМУ входит состав регионального РМЗ**, т.е. РМУ является частью системы РМЗ, которая входит в информационное пространство горного предприятия (не оригинальные чертежи и технологии изготовления ЗЧ).
3. **РМУ является представителем завода, производящего горную технику**, т.е. РМУ является частью производственной системы завода изготовителя, которая входит в информационное пространство горного предприятия (оригинальные заводские чертежи ЗЧ и технологии их изготовления).

По нашему мнению, для условий эксплуатации ПДМ на ОАО «Апатит», наиболее целесообразен будет **второй вариант**. Наличие такой иерархии и единого

информационного пространства, объединяющего всех участников системы ТОиР, позволяет приблизить РМУ к месту эксплуатации парка ПДМ и других технологических и вспомогательных СМ, сохранив при этом все преимущества единой структуры ремонтного предприятия и возможностей их информационной поддержки за счёт применения соответствующих средств автоматизации. Предлагаемая методика не универсальна, а ориентирована на определённую программу выпуска ЗЧ для ПДМ, которую необходимо выявить в зависимости от потенциальных возможностей ремонтного производства ОАО «Апатит».

2.3.2. Формирование программы выпуска запасных частей для погрузочно-доставочных машин в ремонтно-механических участках на ОАО «Апатит»

Для самообеспечения парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) запасными частями (ЗЧ) по принципу *«точно вовремя»* за счёт их изготовления в производственных модулях (ПМ) ремонтно-механических участков (РМУ) ОАО «Апатит», необходима соответствующая технология. Определим программу выпуска ЗЧ в ПМ РМУ для выбора вида применяемых технологических процессов.

Так как процесс отказа ПДМ имеет случайный характер, то заранее сложно точно предсказать какая ЗЧ, в каком количестве и когда понадобится. В связи с этим, за исходную номенклатуру для формирования программы выпуска ЗЧ для ПДМ в ПМ РМУ ОАО «Апатит» можно взять среднестатистические данные прошлых лет. Тогда, процесс формирования программы выпуска ЗЧ из исходной номенклатуры ЗЧ для ПДМ и при её пополнении, в случае отсутствия требуемой позиции удобно представить в виде алгоритма (см. Рисунок 2. 4). Основой данного алгоритма являются существующие производственные условия ПМ РМУ.

Главным критерием в алгоритме является суммарные потери горного предприятия, связанные со снабжением ЗЧ и возникающими вследствие этого простоями ПДМ. Подробнее о том, какие компоненты входят в них будут определены позднее, но, точно можно утверждать, что они будут включать $Z(R)$.

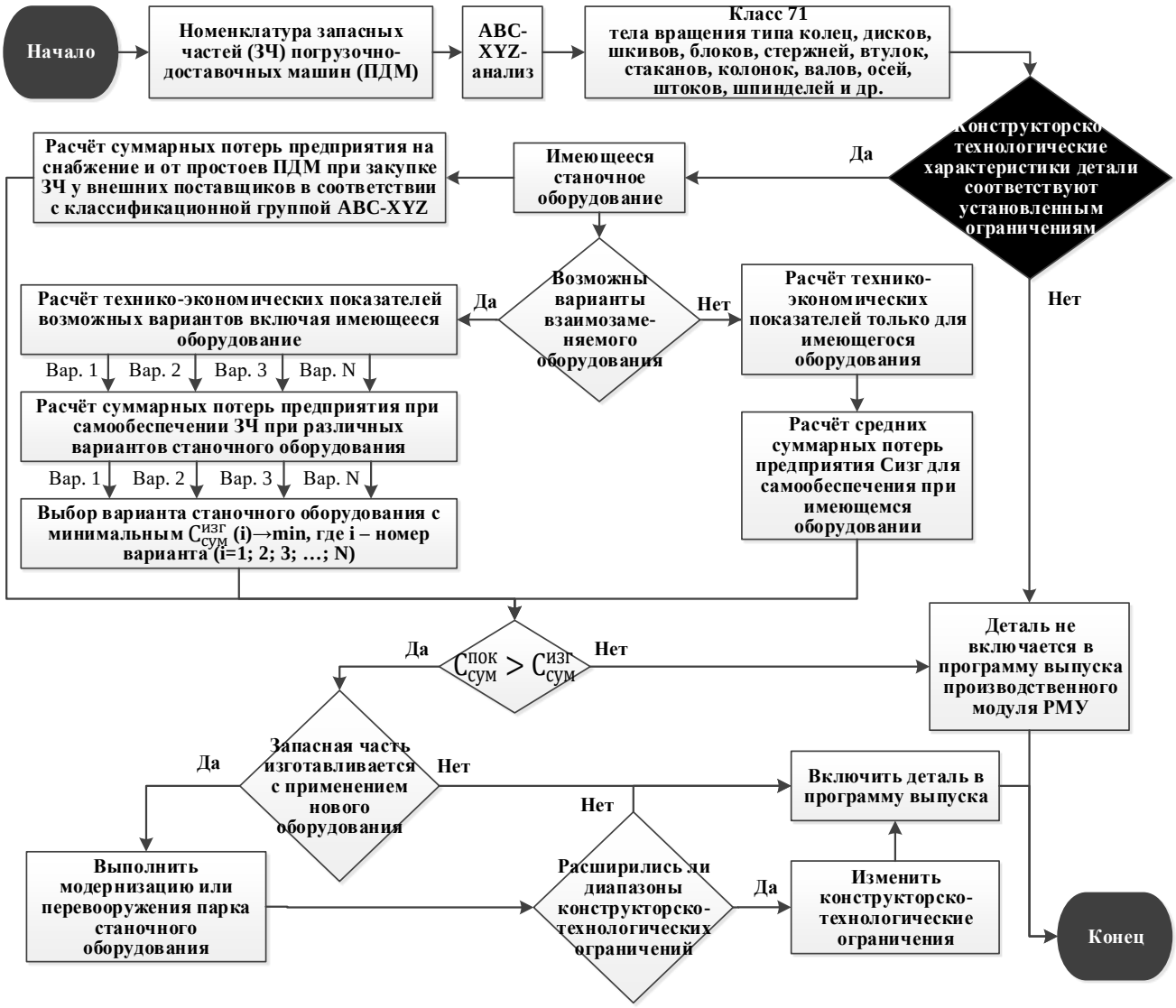


Рисунок 2. 4 – Алгоритм формирования программы выпуска ЗЧ для ПДМ в ПМ РМУ ОАО «Апатит» при имеющемся парке станочного оборудования и в случае возможности его перевооружения или модернизации

Для упрощения задачи в диссертационной работе ограничимся рассмотрением деталей, полученных при токарной обработке (более 70% всей номенклатуры ЗЧ.), геометрические формы которых по классификатору ЕСКД [36, 37] входят в *класс 71 - тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.*

В качестве определяющего условия формирования программы выпуска (чёрный ромб блока условия см. Рисунок 2. 4), выступают конструкторско-технологические ограничения, которые определяются имеющимися производственными мощностями, кадровыми и материальными ресурсами. Для их учёта при формировании программы выпуска удобно воспользоваться

технологическим классификатором деталей машиностроения и приборостроения [38]. На его основании разработан алгоритм для формирования предварительной программы выпуска ЗЧ для ПДМ (см. Рисунок 2. 5). Диапазоны конструкторско-технологических ограничений определяются исходя из конкретных производственных условий.

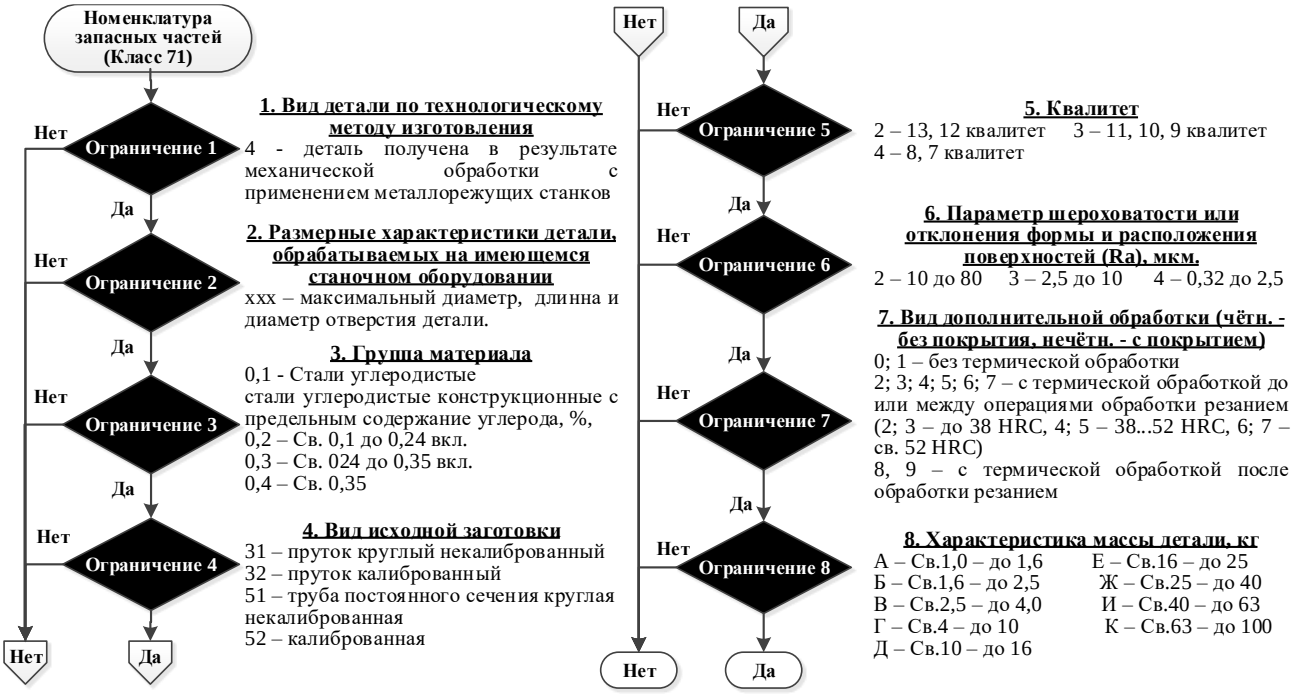


Рисунок 2. 5 – Алгоритм решения условия соответствия конструкторско-технологических параметров запасной части для ПДМ ограничениям, установленным по имеющимся производственным условиям

По всем позициям ЗЧ для ПДМ, вошедшим в *Класс 71*, в соответствии с их распределением по группам *ABC-XYZ*, удовлетворяющим ограничениям (см. Рисунок 2. 5) выполняется расчёт средних удельных затрат на снабжение при закупке. В диссертационной работе, для упрощения решение задачи, средние удельные затраты на снабжения при закупке $Z_{\text{пок}}(R_{\text{пок}})$ рассчитываются с применением периодической модели с (T, R)-стратегией по формуле (2.21), а при самообеспечении $Z_{\text{изг}}(R_{\text{изг}})$ с применением различных типов станочного оборудования по модели с (r, q)-стратегией при $q = 1$ по формуле (2.22).

Как видно из представленного алгоритма, огромное значение играет технология изготовления ЗЧ и применяемое станочное оборудования. Проанализируем её особенности при изготовлении ЗЧ в ПМ РМУ для самообеспечения ПДМ ОАО «Апатит».

2.3.3. Применение принципа «точно вовремя» для организации оперативного самообеспечения погрузочно-доставочных машин запасными частями за счёт их единичного производства в ремонтно-механических участках

Для самообеспечения запасными частями (ЗЧ) погрузочно-доставочных машин (ПДМ) ОАО «Апатит» *«точно вовремя»*, необходимо соответствующая организационная форма производственного процесса их изготовления в производственных модулях (ПМ) ремонтно-механических участков (РМУ). Такая организационная форма реализована в системе *«kanban»* и используется в Японии на заводе *«Toyota»*. Адаптируем опыт японского автоконцерна для оперативного самообеспечения ЗЧ ПДМ в ПМ РМУ на ОАО «Апатит» [34, 41].

Использование системы *«kanban»* для управления процессом самообеспечения ЗЧ ПДМ осуществляется через заключительный этап – сборку/разборку неисправного агрегата обслуживаемой ПДМ в сборочном/разборочном отделении (СРО) РМУ ОАО «Апатит». При этом реализуется принцип *«вытягивания»* разрешения на производство, при котором изготовление очередного комплекта ЗЧ в ПМ РМУ, выполняется только (и немедленно) при возникновении потребности в них (это позволяет снизить страховой запас до минимума). Сама потребность формируется либо по факту возникновения отказа ПДМ, либо заблаговременно за счёт его прогнозирования по техническому состоянию. Суть потребности описывается *«планом-графиком»*[12] окончательной сборки и *«карточкой»*[13] разрешения на обработку, которые сопровождают *«контейнер»*[14] на протяжении всего производственного процесса.

Принцип действия системы *«вытягивания»* [41] при самообеспечении ПДМ ЗЧ заключается в следующем. При начале ремонта неисправного агрегата, в момент изъятия комплекта ЗЧ из *«контейнера»* для замены отказавшей детали

---

[12] Под *«планом-графиком»* окончательной сборки при самообеспечении будем понимать лимит времени на производство определённого комплекта ЗЧ достаточный для пополнения страхового запаса для исключения дефицита, исходя из интенсивности отказов ремонтируемого агрегата ПДМ.

[13] Под *«карточкой»* при самообеспечении будем понимать *«сигнал»* для начала производства, содержащий в себе информацию о типе и количества деталей, входящих в комплект ЗЧ необходимых для ремонта ПДМ.

[14] Под *«контейнерном»* при самообеспечении будем понимать *«тару»* для хранения деталей, входящих в комплект ЗЧ для ПДМ.

новой ЗЧ, пустой *«контейнер»* возвращается в ПМ. Получив его, ПМ приступает к изготовлению нового комплекта ЗЧ и отправляет его в СРО в жёсткие сроки. Таким образом, СРО, запускает производство ЗЧ в ПМ РМУ.

Аналогичная система действует и внутри в ПМ РМУ между рабочими, выполняющими последовательные операции технологического процесса (ТП) изготовления ЗЧ. Система *«kanban»* реализует *непрерывно-поточное многопредметное производство*, однако при самообеспечении она принимает форму *переменно-поточного производства* (см. Рисунок 2. 6) [40]. Когда рабочему на операцию «*B»* требуется очередная партия деталей, он берёт *«контейнер»* на выходе предыдущей операции *«A»* и одновременно прикрепляет *«карточку»* к пустому *«контейнеру»* (стойке) рядом с рабочим местом на операции *«A»*. Это побуждает рабочего операции *«A»* начать обработку очередной парии деталей [41].

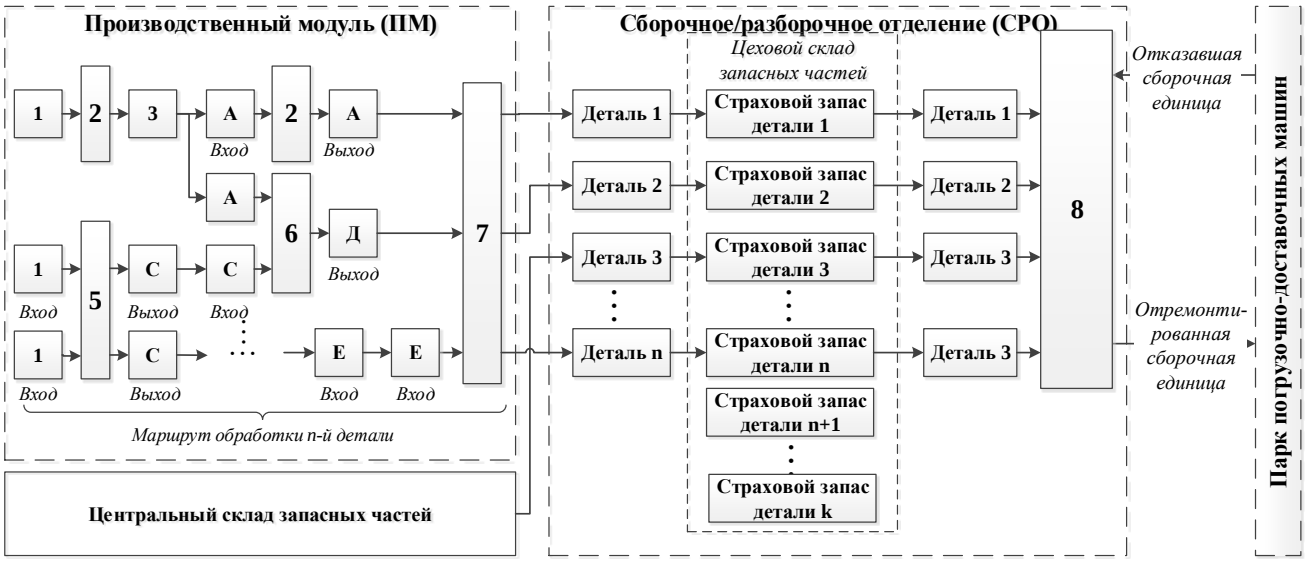


Рисунок 2. 6 – Схема организации процесса самообеспечения ЗЧ ПДМ «точно вовремя» в РМУ ОАО «Апатит»: *1 – контейнер с заготовками; 2 – операция A; 3 – тележка с изготовленными «полуфабрикатами» деталей; 4 – операция B; 5 – операция C; 6 – операция Д; 7 – операция Ж; 8 – сборочно/разборочная операция*

Во избежание дефицита ЗЧ при ремонте ПДМ используется страховой запас. При самообеспечении его величина определяется временем поставки, исходя из длительности ТП изготовления комплекта ЗЧ, конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП), оценки возможности изготовления, принятия заявки и поставки изготовленного комплекта ЗЧ и дополнительно 10% на непредвиденные расходы времени. Вследствие короткого времени КТПП и ограниченного количества ЗЧ в *«контейнере»* применение *«kanban»* при

самообеспечении предполагает многократные ежедневные перемещения ЗЧ из ПМ в СРО. Приоритеты определяются очерёдностью поступления заявок.

Для применения поточного метода производства при единичном изготовлении ЗЧ для ПДМ широкой номенклатуры в ПМ РМУ необходимо, чтобы *технология их производства ЗЧ* соответствовала *требованиям* см. Таблица 2. 5

Таблица 2. 5 – Влияние специфики условий эксплуатации ПДМ на требования к технологии производства ЗЧ

Специфика условии эксплуатации ПДМ на ОАО «Апатит»	**Требования к технологии изготовления ЗЧ для ремонта агрегатов ПДМ**
Единичных характер отказов ПДМ с постоянно меняющейся номенклатурой ЗЧ и большие затраты на их закупку и хранение и потери от их дефицита.	1. Возможность эффективного изготовления единичных деталей при их широкой и постоянно-меняющейся номенклатуре.
	2. Высокая гибкость КТПП для обеспечения короткого времени её выполнения за счёт автоматизации (информационной поддержки) создания ТП и формирования баз данных их типовых решений.
	3. Обеспечение минимума производственных запасов при фиксированном наборе материалов и компонентов за счёт автоматизации их учёта.
Длительные простои при эксплуатации зарубежных ПДМ из-за дефицита необходимых ЗЧ в нужное время в нужном месте для оперативного устранения причин отказов при ремонте.	4. Высокая надёжность и гибкость станочного оборудования для обеспечения бесперебойной работы и производства.
	5. Жёсткий график производства с минимальными колебаниями и отклонениями, обеспечиваемый за счёт оптимальной расстановки оборудования с возможностью синхронизации его работы путём применения информационной поддержки для контроля их работы и взаимодействия на всём протяжении производственного процесса.
Причиной малая наработки ПДМ между отказами являет то, что при ремонте их агрегатов используются ЗЧ не высокого качества.	6. Обеспечение высокого уровня качества за счёт комплексного управления им при изготовлении деталей на всём протяжении производственного процесса, с возможностью постоянного визуального контроля в ходе производственных операций с расчётом на низкий процент брака.
Дефицит высококвалифицированных рабочих, наличие молодых или перепрофилированных кадров низкой квалификации.	7. Невысокие требования к квалификации рабочих, высокая степень заинтересованности, возможность освоения станков различных типов.

Проанализируем существующие технологии, методы, и средства производства, которые было бы эффективно применить при единичном изготовление многономенклатурных ЗЧ для ПДМ в ПМ РМУ, удовлетворяющие сформулированным требованиям.

2.3.4. Выбор вида технологии и определение требований к станочному оборудованию используемых при производстве запасных частей для погрузочно-доставочных машин

При ремонте погрузочно-доставочных машин (ПДМ) для оперативного удовлетворения случайного дискретного спроса на запасные части (ЗЧ) «точно вовремя», необходим переход на переменно-поточной метод их производства. Это становится возможным при переходе на *модульную технологию* производства, внедрении *современного гибкого станочного оборудования, отвечающего определённым требованиям* и *программно-вычислительных средств, для их информационной поддержки.* Рассмотрим более подробно данные аспекты.

В результате анализа существующих на сегодняшний день видов технологических процессов изготовления деталей [41, 42] было выявлено, что наиболее целесообразным вариантом для единичного производства ЗЧ широкой номенклатуры ЗЧ для ремонта ПДМ является *модульная технология*, разработанная профессором Базровым Б.М. [41]. Принципы, лежащие в основе её работы, могут быть применены как на этапе конструкторско-технологической подготовки, так и на этапе производства ЗЧ в ПМ РМУ для ремонта ПДМ.

Для обеспечения гибкости конструкторско-технологической подготовки, что является одним из требований оперативного изготовления ЗЧ для ПДМ, необходимо разработать базы данных готовых технологических решений, позволяющих оперативно компоновать новые технологии изготовления ЗЧ. Эти базы данных целесообразно реализовать на базе существующих сегодня информационных систем, типа CAD, CAM, CAPP и PDM. В основу систематизации информации удобно использовать принятую в модульной технологии логику.

В модульной технологии ЗЧ представляется сочетанием модулей поверхностей (МП). Существует 26 вариантов разновидностей МП, которые по служебному признаку делятся на три класса: базирующие (МПБ), рабочие (МПР) и связующие (МПС). Проектирование ЗЧ выполняется путём её синтеза из МП, по алгоритму, разработанному профессором Базровым Б.М. [41].

МП ЗЧ является объектом технологического обеспечения, в состав которого входят модули технологического процесса (МТИ) изготовления МП (МПИ[15]), технологических баз (МТБ), технологического оборудования (МОи), инструментальной наладки (МИи), приспособления (МПр) и контрольно-измерительные устройства (МКИ). Между модулями технологического обеспечения изготовления ЗЧ существуют связи (см. Рисунок 2. 7.), образующие взаимосвязанную систему, описанную в [41].

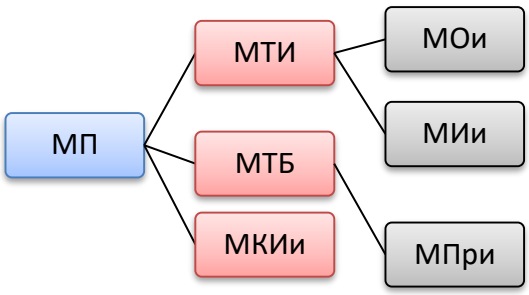


Рисунок 2. 7 – Схема связей модулей технологического обеспечения для изготовления МП ЗЧ

Модуль технологического процесса изготовления (МТПи) ЗЧ компонуется из МТИ изготовления МП (МПИ). При этом предполагается, что есть банк предварительно разрабатываемых МТИ и варианты МТБ. Типовые МТИ включают величины снимаемых припусков, режимы рабочих ходов, конкретные модели станков, что позволяет точно оценить затраты времени на обработку МП (МПИ). Метод компоновки увеличивает гибкость, позволяет оперативно разработать технологический процесс и определить целесообразность изготовления ЗЧ. На основе данных работы [41] описан алгоритм создания МТПи ЗЧ (см. Рисунок 2. 8.).

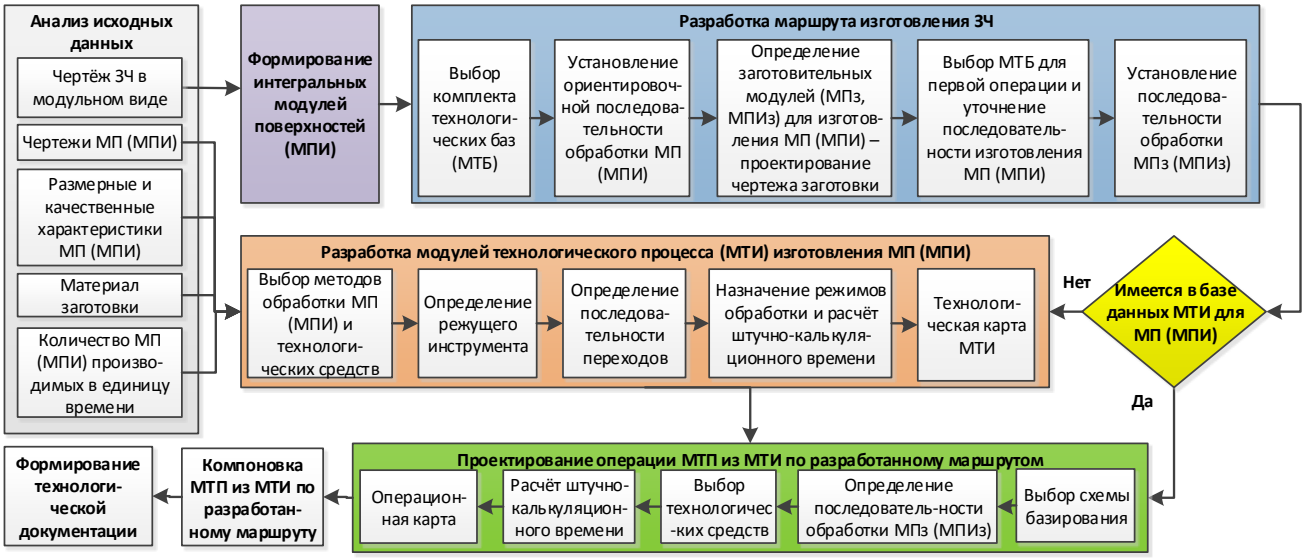


Рисунок 2. 8 – Алгоритм создания модульного технологического процесса изготовления ЗЧ для ремонта ПДМ

[15] МПИ – интегральный модуль поверхности, полученные объединением МП с технологическими поверхностями, используемыми для обеспечения технологичности при изготовлении ЗЧ.

Для выполнения МТПи [41] ЗЧ применяются построенные по модульному принципу технологические обрабатывающие системы (ТСо), включающие в себя :

1. *Обрабатывающий модуль (МОи)* – предназначен для осуществления требуемого закона относительного движения рабочих органов, несущих обрабатывающий инструмент и заготовку, с целью осуществления МТИ.
2. *Модуль инструментальной наладки (МИи)* – предназначен для выполнения технологических переходов МТИ и представляет собой совокупность обрабатывающих инструментов.
3. *Модуль приспособления для установки заготовки (МПри)* – предназначен для установки заготовки по заданному МТБ и представляет собой часть приспособления в виде совокупности базирующих и зажимных элементов.
4. *Модуль контрольно-измерительных устройств (МКИи)* – предназначен для контроля качества МП (МПИ) и представляет часть контрольно-измерительного устройства в виде совокупности средств измерения.

Данные принципы реализуются либо на традиционных, либо на специально спроектированных ТСо (предпочтительнее). В связи с масштабностью разработки специальных ТСо, для производства ЗЧ по предлагаемой технологии рекомендуем применять традиционные ТСо. При построении ТСо для реализации модульной технологии необходимо сохранить модульный принцип компоновки. В имеющихся производственных условиях его можно реализовать на основе существующих средств технологического обеспечения (станков, режущего и измерительного инструмента и приспособлений).

Рабочее место (РМ), в единичном производстве, формируется под изготовление нескольких наименований МП (МПИ), отбираемых по критерию конструктивной и технологической схожести и по организационным соображениям для исключения простоев РМ. Для повышения оперативности управления ТП на РМ целесообразно осуществлять сборку управляющих программ (УП), которые компонуются из модулей управляющей программ (МУП[16]), а также выполнять корректировку и введение дополнительной информации. Это требует наличия на РМ устройства для подготовки и корректировки УП [41].

[16] Модуль управляющей программы (МУП) – часть УП для осуществления МТИ.

В итоге применение модульной технологии при изготовлении ЗЧ позволяет организовать ПМ РМУ по принципу *технологически-замкнутые участка (ТЗУ)*, на котором изготавливаются ЗЧ, подобные по конструктивному оформлению и близкие по размерам. ТЗУ предполагает наличие на нем всей требуемой номенклатуры оборудования для изготовления одной группы ЗЧ, установленных в последовательности, соответствующей ходу технологических процессов большинства ЗЧ в группе. Создание ТЗУ позволяет достичь: улучшения организации планирования и учёта; прохождения ЗЧ меньшего длинны пути; сокращения времени на перенастройку оборудования; сокращения цикла изготовления и упрощения организация контроля качества.

На основании принципов, положенных в основу модульной технологии, предпринята попытка адаптировать её для конструкторско-технологической подготовки производства ЗЧ в ПМ РМУ. Так в Приложении Б (см. Рисунок Б. 3) приведена разработанная декомпозиция данного процесса, в виде диаграммы А1 «Разработать модульную технологию для изготовления ЗЧ и оценить её эффективность» [61]. Данная диаграмма входит в SADT-модель [39], которая схематически в общем виде описывает информационно-функциональное взаимодействие объектов и функций, реализующих предлагаемую технологию оперативного изготовления ЗЧ для ремонта ПДМ.

Важнейшим элементом любой технологии является станочное оборудование. От того, насколько правильно оно выбрано зависит эффективность построенной на ней технологии изготовления деталей. С другой стороны, именно станочное оборудование является тем связующим звеном между конструкторско-технологической подготовкой и производством, возможности которого и определяют характер их взаимодействия. Для реализации модульной технологии при изготовлении ЗЧ необходимо ТСо отвечающее требованиям см. Таблица 2. 6:

Таблица 2. 6 – Влияние специфики технологии изготовления ЗЧ для ПДМ и производственных условий РМУ на требования к станочному оборудованию

№ п.п.	Требования к технологии изготовления ЗЧ для ПДМ и производственные условия РМУ	Требования к станочному оборудованию
1.	Оперативная переналадка ТСо на выпуск новой детали, состоящей из изготавливаемых МП (МПИ) ЗЧ и воспроизводимость МТИ МП (МПИ)	повышенная гибкость, высокая надёжность работы и стабильность обеспечения качества при мелкосерийной обработке;

	ЗЧ без ухудшения качества при серийности изготовления ЗЧ или изменении их конфигурации	
2.	Дефицит высококвалифицированных рабочих-станочников и оперативная их подготовка.	простота обслуживания, невысокие требования к квалификации рабочего и повышенная безопасность работы;
3.	Обеспечение высокого уровня качества изготавливаемых МП (МПИ) ЗЧ, контроль и устранение причин возникновения брака.	контроль процесса обработки деталей и учёта статистики работы станка;
4.	Применение систем автоматизированного проектирования и программирования для конструкторско-технологической подготовки МТПи с возможностью безбумажной передачи технической документации на рабочие места и синхронизация операций при изготовлении ЗЧ.	информационная связь с участниками производственного процесса;
5.	Эффективность изготовления ЗЧ по отношению к их закупке у сторонних поставщиков.	невысокая себестоимость и затраты на эксплуатацию.

Таким образом, для того, чтобы не ошибиться при выборе наиболее целесообразного станочного оборудования для рассматриваемых производственных условий, необходимо проанализировать и исследовать, какой из существующих на сегодняшний день вариантов наиболее полно соответствует сформулированным требованиям.

2.4. Выводы по главе

На основе проведённого анализа и выбора путей совершенствования системы обеспечения запасными частями (ЗЧ) парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) на примере Объединённого Кировского рудника горно-химического комбината ОАО «Апатит» для повышения эффективности их эксплуатации, технического обслуживания и ремонта (ТОиР) можно сделать следующие выводы:

1. Анализ работ, по повышению эффективности обеспечения ЗЧ, выявил малое внимание вопросу совершенствования технологии их изготовления и организации источников пополнения многономенклатурных запасов.
2. По результатам проведения *ABC-XYZ*-анализа многономенклатурных запасов, необходимых для обеспечения парка самоходной техники в течение года и отбора из них номенклатуры ЗЧ для ПДМ, выявлено, что более 98% из

них распределились по трём *группам AZ, BZ* и *CZ* со случайным дискретным спросом, описываемым пуассоновским законом распределением.

3. Для снижения объёмов страховых запасов ЗЧ и затрат на снабжение ими ПДМ в системе снабжения целесообразно использовать принцип стратегии управления *«Just in Time»* (*«точно вовремя»)* и применить оперативную модель с (r, q)-стратегией УЗ и пополнением запаса при каждом очередном требовании $q = 1$, математическое описание которой представлено в главе.
4. Для обеспечения эффективной работы оперативной модели с (r, q)-стратегией УЗ с $q = 1$ и обеспечения случайных единичных заявок по широкой номенклатуре ЗЧ *«точно вовремя»* необходим надёжный источник пополнения.
5. Сформулированы требования к источнику и технологии пополнения запасов, на основании которых выявлено, что наиболее целесообразным вариантом для самообеспечения части потребностей парка ПДМ в ЗЧ являются производственные модули (ПМ) ремонтно-механических участков (РМУ).
6. Разработан алгоритм формирования программы выпуска ЗЧ для ПДМ, в основе которого лежит сравнение суммарных расходов предприятия на обеспечение ЗЧ ПДМ при закупке ЗЧ у внешних поставщиков с аналогичными расходами при самообеспечении ЗЧ за счёт их изготовления в ПМ РМУ ОАО «Апатит» с учётом возможных вариантов применения станочного оборудования в имеющаяся производственных условий.
7. Описаны особенности метода самообеспечения ПДМ ЗЧ за счёт их изготовления в ПМ РМУ ОАО «Апатит» *«точно вовремя»* в основе которого лежит применение модульной технологии производства, её информационная поддержка и использование адаптированного для данных производственных условий станочного оборудования.
8. Узким местом самообеспечения ПДМ ЗЧ за счёт их изготовления в ПМ РМУ на ОАО «Апатит» является универсальное станочное оборудование, которое должно отвечать сформулированным к ним требования.

ГЛАВА 3. ВЫБОР ТИПА СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЕСПЕЧИВАЕМЫХ ИМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАПАСНЫМХ ЧАСТЕЙ

3.1. Сравнение особенностей и принципа работы различных типов станочного оборудования и выбор критериев оценки эффективности их применения для изготовления запасных частей

3.1.1. Анализ соответствия традиционных типов станочных систем условиям изготовления запасных частей в ремонтном производстве

В настоящее время для единичного и мелкосерийного производства деталей в машиностроении применяются два типа станочных систем: «человек–станок» (универсальные станки) и «компьютер–станок» (станки с ЧПУ). Проанализируем принципы и особенности их работы в по отношению к выдвинутыми требованиям.

Принцип работы станочной системы «человек–станок» заключается в целенаправленном взаимодействии рабочего с универсальным станком через непосредственное воздействие на органы управления целевыми механизмами (приводами главного движения и подач) и технологическими узлами дискретного действия (для смены инструмента, переустановки заготовки и т. д.). Описана схема управления станочной системой «человек–станок» (см. Рисунок 3. 1).

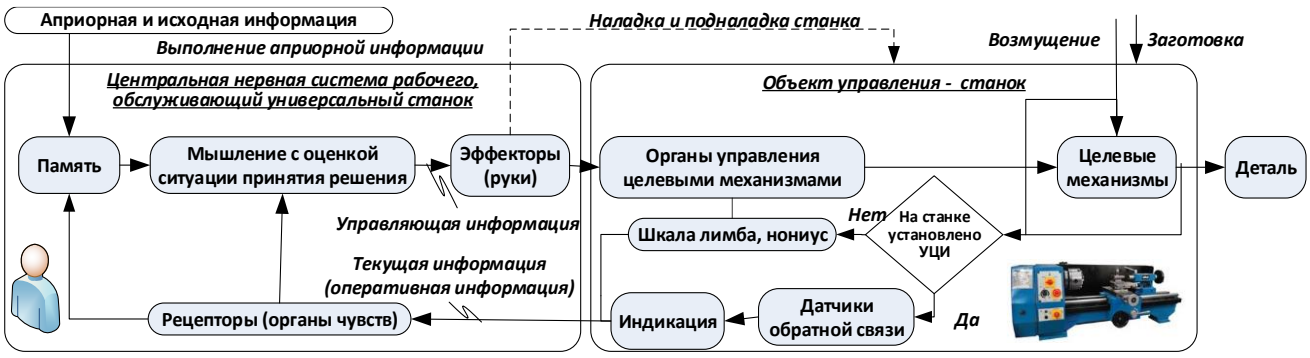


Рисунок 3. 1 – Схема управления станочной системой «человек – станок»

Алгоритм управления станком формируется в центральной нервной системе (ЦНС) рабочего на базе: *априорной информации*, полученной рабочим в процессе

обучения и практического опыта; *исходной информации*, полученной рабочим в виде чертежа детали (ЧД), операционных карт (ОК) и карт эскизов (КЭ) в результате конструкторско-технологической подготовки производства; *текущей информации*, воспринимаемой органами чувств рабочего универсального станка и полученной либо по лимбу, либо через датчики обратной связи (ДОС) и устройство цифровой индикации (УЦИ).

Эффективность восприятия данной информации зависит от индивидуальных способностей человека (восприятия, мышления, памяти и рефлекторных реакций) и опыта. При обработке детали ЦНС человека принимает решения на основании *априорной* и *исходной информации*, сравнивая её с поступающей *текущей информацией*. Сопоставление этих потоков информации позволяет рабочему оценить ситуацию и принять решение, после чего в его периферийную нервную систему мышц рук поступает сигнал по ЦНС для выполнения действий.

Для обработки детали на универсальных станках рабочему предоставляется минимальный набор *исходной информации*, достаточный для формирования алгоритма обработки, подготовленной с применением средств CAD и CAPP. В цех информация предоставляется на бумажных носителях в виде маршрутного технологического процесса и ЧД для «простых» деталей и в виде ЧД, ОК и КЭ для «сложных». Это ограничивает информационную связи межу участниками производственного процесса. Оперативность восприятия такой информации и её надёжная «реализации в металле» требует от рабочего высокой квалификации. Повышенная гибкость системы «человек-станок» и наличие квалифицированных рабочих позволяет оперативно переходить на обработку новых деталей.

Обработка детали на универсальных станках связана с большим объёмом рутинной и монотонной работы, которая вызывает утомляемость рабочего, усложняет процесс работы и обслуживания станка, что влияет на надёжность и качество изготовления деталей. Ручной характер управления, отсутствие средств автоматизации или низкий их уровень (УЦИ), сводит к минимуму возможность оперативно управлять качеством и производительностью обработки деталей из-за недостаточного уровня контроля в ходе технологического процесса, а также ограничивает возможности информационного взаимодействия с другими

участниками производственного процесса. При дефиците квалифицированных рабочих, моральном и физическом износе станочного оборудования ремонтного производства снижается эффективность использования данной станочной системы.

Для работы системы «компьютер–станок» необходима детально-проработанная *исходная информация*, реализованная в виде управляющей программы (УП), описывающая в программном коде алгоритм обработки детали. Описана схема управления системой «компьютер-человек» (см. Рисунок 3. 2).

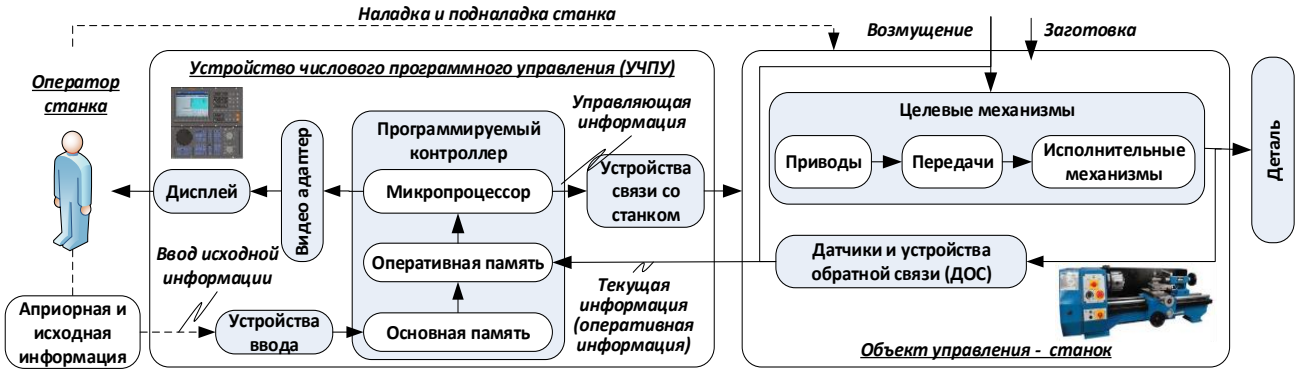


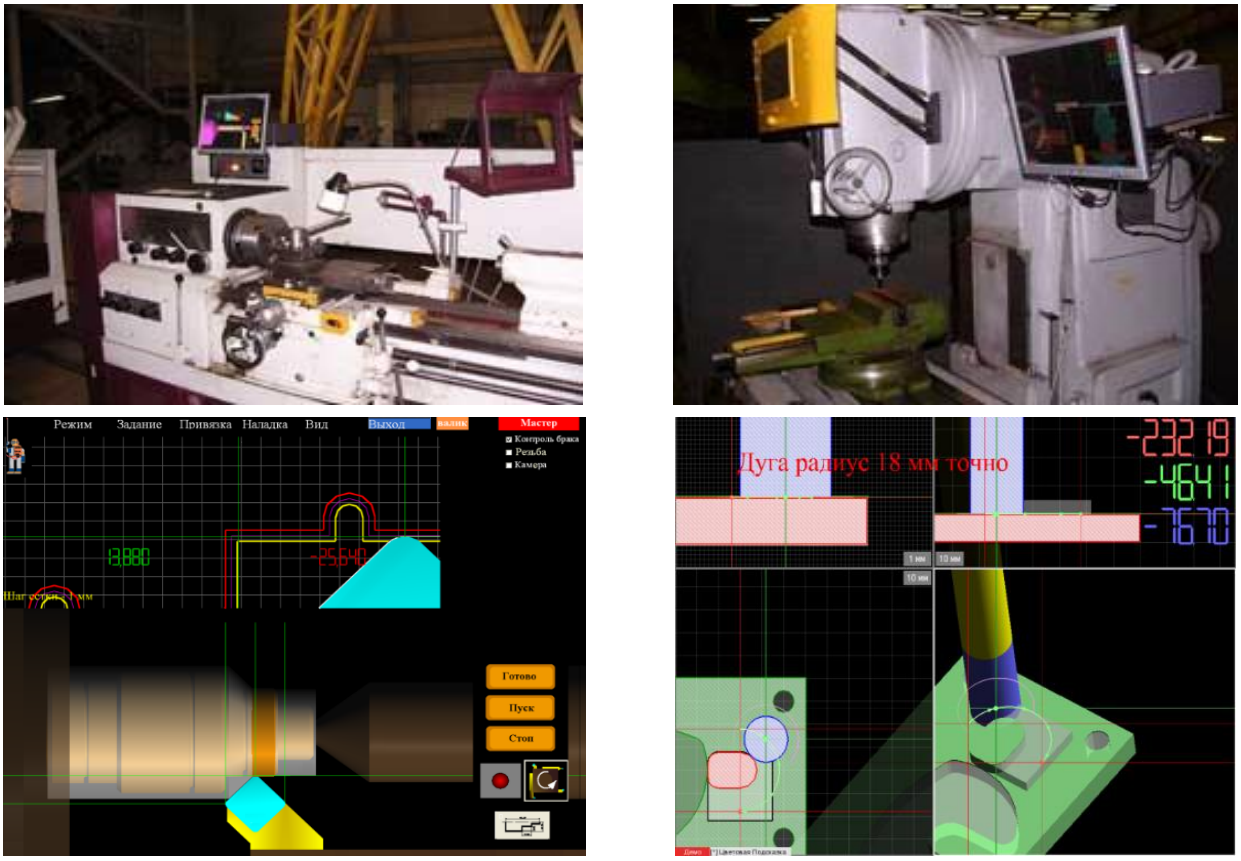
Рисунок 3. 2 – Схема управления станочной системой «компьютер – станок»

Подготовленная в CAD, CAM и CAPP технологическая документация поступает в цех в цифровом и бумажном виде. Согласно ей, оператор выполняет наладку и обслуживание станка, в том числе ввод УП. Информация из УП обрабатывается контроллером УЧПУ, который выдает управляющие команды через устройство связи со станком на его целевые механизмы (ЦМ), осуществляющие основные и вспомогательные движения цикла обработки. ДОС на основе получаемой информации (фактическое положение, скорость перемещения исполнительных узлов и др.) контролируют перемещения ЦМ.

Станки с ЧПУ не обладают достаточной гибкостью, необходимой для условий ремонтного производства, так как обработка деталей осуществляется автоматически по «жёстко-заданному» алгоритму УП, однако при этом, стоит отметить, снижается требований к квалификации оператора. Применение ДОС и развитие средств автоматизации позволяет оператору детально контролировать ход обработки детали и собирать статистику работы станка. С другой стороны, стоимость станков с ЧПУ и длительное время их наладки значительно увеличивает себестоимость изготовления деталей, особенно в условиях единичного производства широкой номенклатуры запасных частей в ремонтном производстве.

3.1.2. Описание экспериментального стенда и работы интерактивной компьютерной системы управления универсальными станками

На основании приведённого в предыдущем пункте анализа, можно сделать следующий вывод. Необходимо рассмотреть такой тип станочной системы, который сочетал бы в себе и особенности системы «человек-станок» – её гибкость, и системы «компьютер-станок» – производительность и не высокие требования к квалификации оператора. Одно из таких решений предложила российская компания ООО «Техстанко-21», разработавшая информационно-технологический комплекс «ПроЭмулятор» [46 – 48] (см. Рисунок 3. 3) представляющей собой интерактивную компьютерную систему управления (ИКСУ)



а. б.

Рисунок 3. 3 – Станочные конфигурации ИКСУ «ПроЭмулятор» для токарной (а) и фрезерной (б) обработки

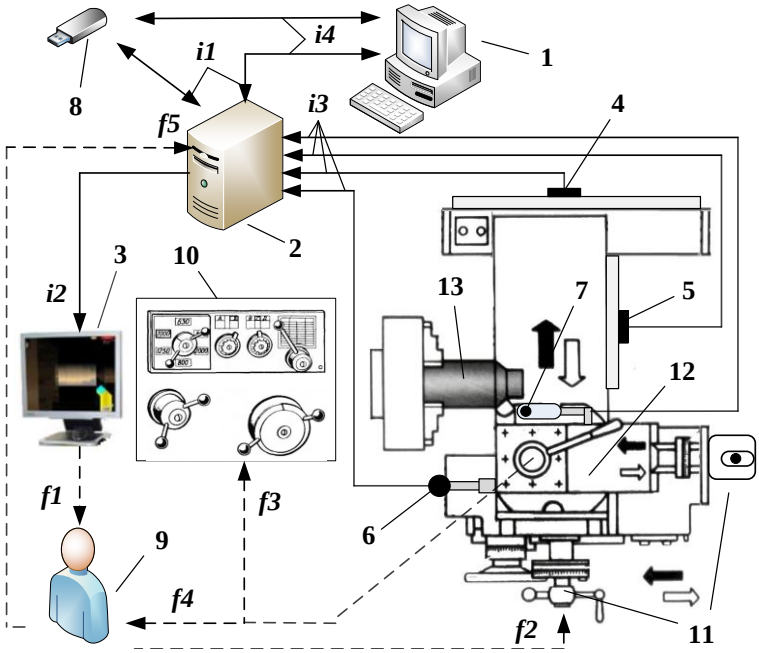
ИКСУ представляет собой совокупность аппаратно-программных средств, которыми оснащается модернизируемый универсальный станок, образуя при этом интерфейс взаимодействия с оператором, обслуживающим станок. Состав

аппаратных средств ИКСУ модернизируемого универсального станка определяется типоразмером и количеством контролируемых обратной связью показателей. В зависимости от состава устройств и программного обеспечения, образующих ИКСУ и вида обработки, она может иметь различные конфигурации, имеющих одинаковый принцип работы. Рассмотрим работу экспериментального стенда, представляющего собой универсальный токарно-винторезный станок 1К62, модернизированный ИКСУ – устройством «ПроЭмулятор» (см. Рисунок 3. 4).

Рисунок 3. 4 – Фотографии экспериментального стенда

Аппаратная часть ИКСУ состоит из (см. Рисунок 3. 5) системного блока (СБ) (2) с подключёнными к нему через специальную плату датчиками обратной связи (4) и (5) (оптоэлектронными растровыми преобразователями[17] линейных и угловых перемещений), контролирующими положение продольного и поперечного суппорта, выполняющих движения подач. В основу работы преобразователей положен метод оптоэлектронного сканирования анализатором штриховых растров шкалы, позволяющий контролировать точность их относительного перемещения до 1 мкм [49]. Дополнительно в комплектацию ИКСУ может входить камера (7) (контроля состояния инструмента) и электронный измерительный щуп (6) (для измерения размеров обрабатываемых деталей), которые также подключаются к СБ и организуют обратную связь с оператором (9) [46, 50]. Передача информации с преобразователей и устройств в СБ выполняется по информационным каналам (*i3*).

[17] *Состав устанавливаемых на модернизируемый станок преобразователей (линейных или угловых) зависит от количества и вида контролируемых координат (ИКСУ может контролировать до 4-х координат).*



Каналы связи элементов

→ - *Информационные каналы - in*

i1 – передача электронного задания в блок управления;

i2 – интерпретация электронного задания и передача её на дисплей в графическом виде;

i3 – обратная связь от преобразователей и устройств, установленных на станке (передача оперативной информации);

i4 – обратная связь ИКСУ с модулем контроля выполнения заданий.

- → - *Физические каналы - fn*

f1 – восприятие оператором графической информации (управляющая информация);

f2 и *f3* – воздействие на исполнительные механизмы станка через органы управления (управляющее воздействие);

f5 – обратная связь по управлению технологическими механизмами дискретного действия через наблюдение оператором по каналу *f4*.

Рисунок 3. 5 – Схема взаимодействия элементов аппаратной части универсального токарного станка с ИКСУ: *1 – модуль контроля выполнения задания на ИКСУ; 2 – системный блок; 3 – дисплей системы; 4 и 5 – преобразователи линейных перемещений продольной и поперечной подачи; 6 – электронный измерительный щуп; 7 – web-камера для контроля состояния инструмента; 8 – электронное задание для обработки; 9 – оператор; 10 – органы управления приводами главного движения и подач; 11 - маховики и ручка для подачи инструмента; 12 - исполнительные узлы и механизмы станка; 13 – деталь.*

При модернизации универсального станка ИКСУ, образуется новая компьютеризированная человеко-машинная система «Компьютер–человек–станок», состоящая из оператора – рабочего, системы управления – ИКСУ и объекта управления – станка. Алгоритм управления в данной системе формируется не мыслительной деятельностью рабочего, а путём выбора, хранящегося на жёстком диске (Hard Disk Drive - HDD) задания для обработки и переноса в оперативную память (Random Access Memory – RAM) для его интерпретации центральным процессором (Central Processing Unit - CPU) и вывода информации на дисплей ИКСУ в наглядной для оператора форме. Получив данную информацию оператор, воздействуя на станок выполняет *выводимые на дисплее указания*. Результаты считываются датчиками обратной связи и передаются в RAM как *текущая информация*. Далее CPU сравнивает *текущую информацию* с *исходной*, выполняет вычисления и формирует указания оператору. Описана схема принципа работы аппаратной части универсального станка с ИКСУ (см. Рисунок 3. 6).

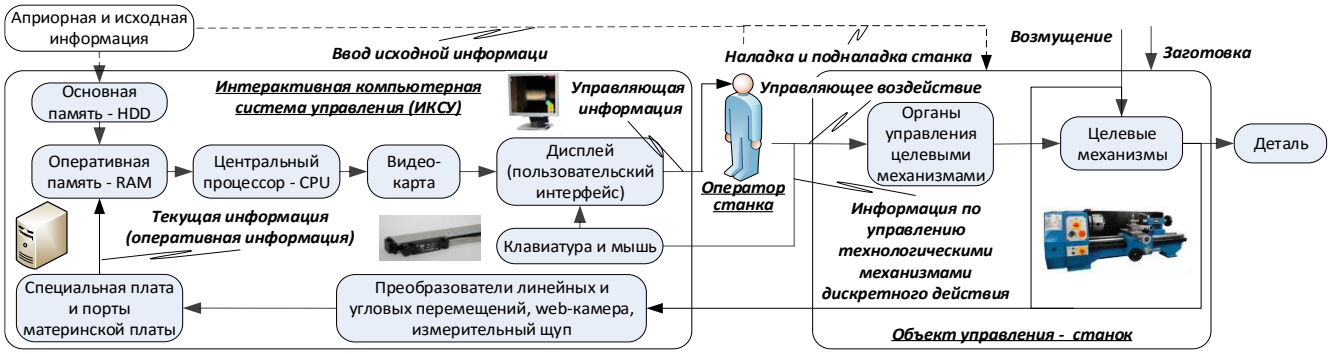


Рисунок 3. 6 – Схема принципа работы аппаратной части универсального станка с ИКСУ (системы «Компьютер–человек–станок»)

В системе «Компьютер–человек–станок» окончательное решение принимает человек, а ИКСУ помогает в обосновании правильности его решения, обеспечивая безопасность работы. Данный процесс выполняется через программное обеспечение (ПО), реализованное в следующем виде. В СБ (2) в операционной системе Windows (XP, 7) установлены специальные драйверы и ПО, состоящее из модуля обработки (МО) и технологических модулей создания задания (МСЗ) и инструмента (МСИ) (см. Рисунок 3. 7). МО – это ПО, организующее обработку детали оператором станка по электронному заданию. Задание по каналу *i1* вводится в МО системы и интерпретируется в понятную для оператора форму, координируя через канал *f1* выполняемые им действия (см. Рисунок 3. 5 и Рисунок 3. 8).

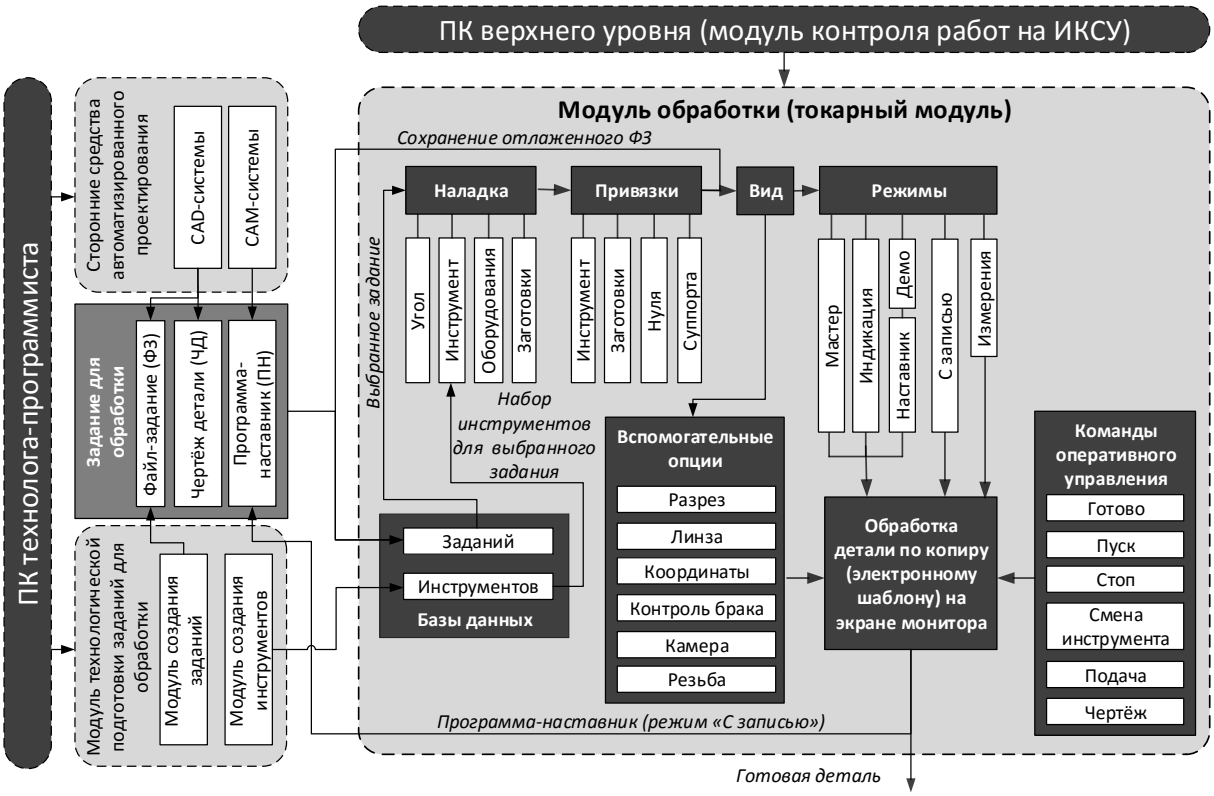


Рисунок 3. 7 – Алгоритм работы ПО ИКСУ универсального токарного станка

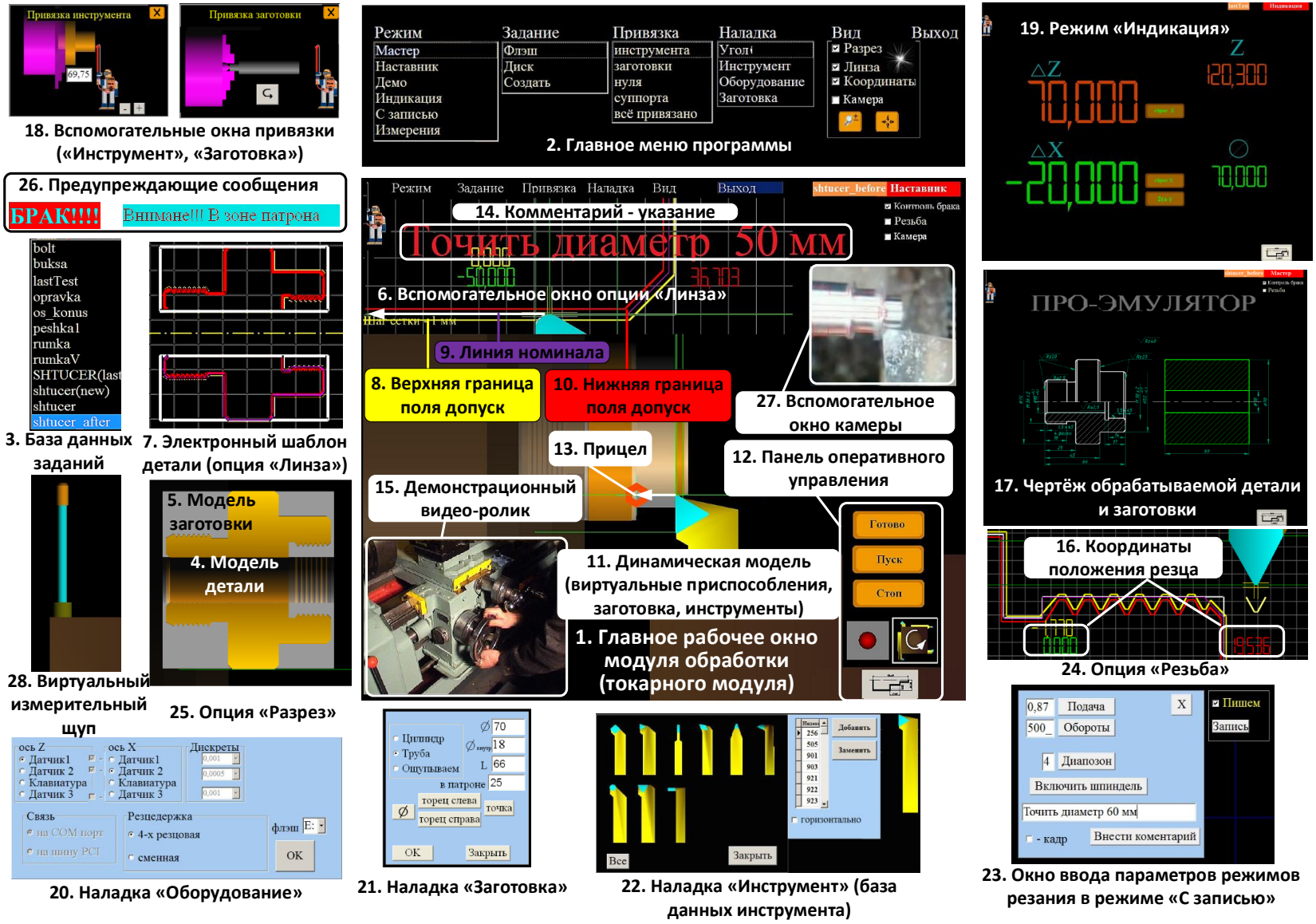


Рисунок 3. 8 – Интерактивный графический интерфейс модуля обработки (токарного модуля) программного обеспечения[18] ИКСУ «ПроЭмулятор» универсального токарно-винторезного станка

[18] Автором программного обеспечения ИКСУ «ПроЭмулятор» для токарной обработки является инженер-программист Резников М.Л.

Квалификация оператора определяет режимы работы МО (Таблица 3. 1).

Таблица 3. 1 – Выбор режима работы токарного модуля в зависимости от квалификации оператора, обслуживающего станок с ИКСУ

№ п.п.	Режим работы	Назначение режима	Разряд оператора				
			2	3	4	5	6
1.	Индикация	Обработка детали с разным уровнем интерактивного сопровождения (объёмом технологической информации)	•	•	•	•	•
2.	Мастер				•	•	•
3.	Наставник		•	•	•		
4.	Демо	Демонстрация процесса обработки детали	•	•	•		
5.	С записью	Создание ТП обработки детали			•	•	•
6.	Измерения	Измерение и контроль обрабатываемой заготовки и готовой детали	•	•	•	•	•

Для использования различных режимов работы токарного модуля ИКСУ необходимо, чтобы конфигурация задания содержала следующие элементы (Таблица 3. 2). Данные элементы создаются с применением программного обеспечения (см. Таблица 3. 3). Подробнее о процедурах создания ФЗ и ПН см. [52].

Таблица 3. 2 – Элементы задания необходимые для работы в различных режимах работы токарного модуля ИКСУ

№ п.п.	Элементы задания	Режимы работы токарного модуля					
		Демо	Мастер	Наставник	Индикация	Измерения	С записью
1	Файл-задание (ФЗ)	•	•	•		•	•
2	Программа-наставник (ПН)	•		•			
3	Чертёж детали (ЧД)	○	○	○	○	○	○

где: • – обязательный элемент; ○ – рекомендуемый элемент.

С целью достижения максимального эффекта от применения универсальных станков с ИКСУ нами рекомендуется выполнять автоматизацию конструкторско-технологической подготовки на базе единой CAD/CAM-системы (например, ADEM CAD/CAM/CAPP) [59]. Автоматизации создания ФЗ с применением CAD-систем можно реализовать за счёт разработки надстроек, за основу алгоритма и структуры команд которых, удобно использовать существующий «Редактор заданий для AutoCAD». Для автоматизации подготовки ПН с детальным уровнем их проработки на базе CAM-систем, рекомендуем сформулировать список команд ИКСУ и разработать постпроцессор для преобразования программного кода в код ПН. В диссертационной работе данный вопрос подробно не рассматривается, однако будет развит автором в ходе дальнейших исследований.

Таблица 3. 3 – Содержание и способы создания элементов задания для обработки деталей в токарном модуле ИКСУ

Элемент задания	Содержание	Способ создания
Файл-задание (ФЗ)	Исходные данные о детали, заготовке, инструменте и приспособлениях: шаблон детали (чертёж детали без размеров, выполненный в масштабе 1:1) с контурами допусков см. Рисунок 3. 8. (7), (8), (9), (10); модель детали и заготовки (4), (5); номера инструментов по базе данных, входящих в набор инструментов для обработки текущей детали; требование по использованию заднего центра *Пиноли задней бабки*.	Основной элемент задания, содержащий в себе минимальную информацию о детали, необходимую для её обработки и отображения на экране ИКСУ. Создаётся либо в МСЗ с применением МСИ (при создании нового инструмента, необходимого для обработки детали и отсутствующего в базе данных инструмента МО) либо в системе AutoCAD.
Программа-наставник (ПН)	Алгоритм обработки в виде последовательности кадров (аналог управляющей программы для ЧПУ), выполненный в коде ISO 7-bit включающий: опорные точки перемещения режущего инструмента (13); режимы резания; комментарии (14) и ссылки на видео подсказки (15), технологические команды дискретного действия.	Упрощённый вариант программы-наставника создаётся на базе файла-задания в режиме «С записью», путём обработки детали либо в процессе реальной работы на станке, либо имитацией этого процесса вне станка, например на тренажёре и параллельной записи последовательности действий оператора
Чертёж детали (ЧД)	Чертёж обрабатываемой детали и заготовки с размерами (17).	Может быть создан при формировании файла-задания в системе AutoCAD

Самым простым (по объёму предоставляемой информации) является режим «Индикация» Рисунок 3. 8. (19). Режим «Индикация» позволяет оператору вести обработку детали подобно, как и при работе на станках, оснащённых устройством цифровой индикации (УЦИ).

Основными режимами работы ИКСУ являются режимы «Мастер» и «Наставник» Рисунок 3. 8. (1). Данные режимы имеют схожий программный интерфейс, но отличаются предназначением для операторов различной квалификации и объёмом предоставляемой технологической информации.

Программный интерфейс токарного модуля ИКСУ (см. Рисунок 3. 8.) представляет собой двухмерную динамическую графическую модель (11) (трёхмерную для фрезерного) виртуально имитирующую происходящие на станке процессы обработки детали, который отображается на дисплее. Электронный шаблон (7), по которому будет изготавливаться реальная деталь, отображается в

виде виртуальной детали (4), находящейся в теле заготовки (5). Виртуальная заготовка установлена в приспособлении и обрабатывается виртуальным режущим инструментом. Перемещение виртуального режущего инструмента выполняется по сигналам преобразователей линейных перемещений см. Рисунок 3. 5. (4) и (5), установленных на суппорте станка, при его перемещении путём либо ручной (маховиками станка) либо автоматической (ручкой автоматической подачи) подачи (11) (через канал *f2*). Для управления точностью перемещения режущего инструмента, относительно обрабатываемой заготовки, применяется цифровая индикация см. Рисунок 3. 8. (16) относительных перемещений и опция «Линза» (6), представленная масштабируемой сеткой (масштаб сетки изменяться в от 1 мкм до 10 мм). В поле масштабируемой сетки отображается электронный шаблон детали (7), представленный в виде её чертежа (без размеров) в масштабе 1:1 (при масштабировании соотношение размеров элементов остаются неизменными) с контурами, образующими линию середины (9), нижнюю (10) и верхнюю границу (8) поля допуска обрабатываемых поверхностей. В поле сетки отображается контур заготовки, детали и вершина режущей части инструмента. При выполнении обработки детали оператор контролирует на дисплее, чтобы положение вершины резца находилось в границах поля допуска обрабатываемой поверхности. Если при обработке границы режущей части выйдут за границы поля допуска, система сигнализирует о возникновения исправимого или не исправимого брака (26).

Синхронизация по расположению элементов см. Рисунок 3. 5. (12) на реальном станке с их виртуальными аналогами см. Рисунок 3. 8. (11) выполняется при помощи привязок «Суппорта», «Заготовки» и «Инструмента» (18). Основной вид привязки «Инструмент», выполняется за счёт пробных проходов (подрезки торца и проточки диаметра) и измерения полученных размеров, которые далее вносятся в систему как привязочные размеры. В результате взаимное расположение виртуальной детали и инструмента совмещаются с их реальными аналогами. Оператор см. Рисунок 3. 5. (9), контролируя обработку на дисплее ИКСУ (3) и управляя реальными станком (10) и (11) получает реальную деталь (13), форма и размеры которой является копией, полученной по электронному шаблону. Для

упрощения контроля обработки внутренних поверхностей используется функция «Разрез» см. Рисунок 3. 8. (25), выполняющая осевой разрез детали. При обработке оператор может вывести на дисплей чертёж детали с размерами, при помощи функции «Чертёж» (17).

В процессе обработки при выполнении наладки и подналадки станка осуществляется синхронизация дискретных действий, например смены или замены инструмента, переустановка заготовки и др., которые выполняются при помощи команд оперативного управления (12) (в подтверждение выполняемым на станке действиям) (по каналу *f*5) Рисунок 3. 5. Помимо режимов, динамической модели и вспомогательных опций, команд оперативного управления («Готово», «Пуск» и «Стоп») имеются базы данных заданий (3) и инструментов (22) Рисунок 3. 8.

Для контроля состояния электронного задания, выполняемого оператором на рабочем месте, оснащённом ИКСУ, имеется *модуль контроля выполнения задания на ИКСУ* (1) см. Рисунок 3. 5 и Рисунок 3. 9 [46]. Применение такого модуля позволяет мастеру не только следить за ходом работы на рабочих местах, но и получать и распределять новые задания, которые поступают к нему с этапа конструкторско-технологической подготовки производства. В итоге, применение ИКСУ позволяет объединить в единое информационное пространство технолога-программиста, мастера участка и операторов универсальных станков с ИКСУ.

Рисунок 3. 9 – Модуль контроля выполнения заданий на рабочих местах, оснащённых ИКСУ (реализованный в виде учебного класса, оснащённого стойками-тренажёрами с малогабаритными настольными станками)

По умолчанию стандартным режимом работы ИКСУ является режим «Мастер». В данном режиме оператор высокого разряда самостоятельно ведёт обработку детали по электронному шаблону, выведенному на экран устройства, в зависимости от своего опыта и навыка. Система предупреждает его только о приближении к опасным зонам на станке и об отклонениях от размеров детали, превышающих заданные допуски см. Рисунок 3. 8. (26).

Пред началом работы в режиме «Наставник» оператор выбирает задание и в режиме «Демо» см. Рисунок 3. 7 просматривает демонстрацию обработки детали по ПН выбранного задания. В процессе обработки детали в режиме «Наставник» оператор координирует свои действия в соответствии с указаниями, получаемыми на дисплее по кадрам ПН в форме активной аудио и видео подсказки. Переход на следующий кадр ПН осуществляется двумя способами. Автоматически в процессе выполнения кадров ПН, путём перемещения вершины инструмента в точку (прицел) см. Рисунок 3. 8. (10), соответствующую положению опорной точки траектории обработки детали, заданной текущем кадром ПН. Перемещаясь от точки к точке, происходит обработка детали. Вручную, при помощи команды оперативного управления «Готово», для выполнения кадров, которые требуют подтверждения выполненных оператором дискретных технологических действий (закрепление заготовки, смена инструмента, установка подачи и т. д.).

Для измерения полученных после обработки деталей размеров в токарном модуле ИКСУ предусмотрен вспомогательный режим «Измерения». Применение электронного измерительного щупа см. Рисунок 3. 8. (28) позволяет выполнять измерения поверхностей детали, закреплённой на станке без применения измерительных инструментов (штангельциркуля, микрометра, нутромера и др.).

Таким образом, универсальные станки с ИКСУ в большей степени отвечают требованиям, сформулированным к станочному оборудованию ремонтного производства. Однако это ещё не значит, что ИКСУ будет являться наиболее эффективным вариантом станочного оборудования для изготовления запасных частей в ремонтом производстве. В связи с этим, возникает необходимость выбрать критерии для сравнения станочных систем для обоснования эффективности их применения в данных производственных условиях.

3.1.3. Выбор критериев для сравнения эффективности применения различных станочных систем при изготовлении запасных частей

Технологический процесс добычи апатита-нефелиновой руды на ОАО «Апатит» ведётся с применения комплекса механизации, состоящего из технологической и вспомогательной самоходной техники, вспомогательного оборудования, локомотивного и конвейерного транспорта. Качество работы данного комплекса механизации будет зависеть от наиболее слабого звена технологической цепочки добычи апатит-нефелиновой руды. Так как при эксплуатации средств механизации коэффициент готовности является их эксплуатационным показателем качества, то в связи с этим наиболее слабым звеном будет элемент комплекса механизации, с минимальным значением данного показателя. Ранее в Главе 1 нами было выявлено, что при эксплуатации парка самоходной техники на Объединённом Кировском руднике ОАО «Апатит» минимальным коэффициентом готовности обладают погрузочно-доставочные машины (ПДМ), в связи со сложными условиями их работы и выполнением ПДМ сразу двух функций погрузки и транспортировки руды от забоя к рудоспуску. В свою очередь так как ПДМ состоит из множества конструктивно связанных деталей, узлов и агрегатов, то её работоспособность при эксплуатации будет определяется ресурсом работы наиболее слабого звена. Таким звеном, как правило, за исключением аварийных ситуаций (внезапных отказов), являются детали, имеющие самое низкое качество изготовления, которое определяется в том числе качеством выполнения технологического процесса (ТП) механической обработки. Таким образом, качество выполнения ТП изготовления запасных частей (ЗЧ) влияет на эксплуатационные показатели обслуживаемых ПДМ, а значит и на эффективность добычи и переработки руды на ОАО «Апатит», в которых они задействованы. От того насколько качественно, быстро и экономически эффективно будет изготовлена ЗЧ, зависит то, как долго ПДМ сможет работать безотказно, как быстро будет восстановлена её работоспособность и сколько в это будет вложено финансовых средств.

В технологии машиностроения для обоснования эффективности ТП изготовления детали используется комплексный критерий – себестоимость, который отражает все наиболее важные технико-экономические аспекты данного ТП. В каждом конкретном случае, эффективнее будет тот ТП, который обеспечивает минимальную себестоимость. Однако в условиях ремонтного производства, обеспечивающего через готовность обслуживаемых ПДМ, эксплуатируемых на ОАО «Апатит», наиболее значимым комплексным показателем будут суммарные потери производства, связанные с обеспечением ПДМ ЗЧ. Данный показатель оценивает суммарный эффект от способа обеспечения ПДМ ЗЧ, который включает в себя помимо себестоимости изготовления ЗЧ и качества выполнения ТП их изготовления, также простои ПДМ при замене ЗЧ и связанные с этим логистические аспекты (в том числе затраты на хранение и потери от дефицита ЗЧ) системы управления запасами ЗЧ, учитываемых моделью см. п. 2.2.4, так и сменных агрегатов (данный вопрос будет рассмотрен в Главе 4).

Так как себестоимость изготовления ЗЧ зависит от качества их изготовления, то первостепенным параметром, влияющим на величину суммарных средних удельных затрат на снабжение ПДМ ЗЧ является качество изготовления ЗЧ. Качество изготовления оценивает степень приближения фактически полученных значений теоретическим требованиям и является комплексным показателем, интегрирующим в себе единичные показатели качества, оценивающие наиболее важные свойства технологического процесса. С учётом сформулированных ранее требований и формул (2.21) и (2.22) для расчёта суммарных средних удельных затрат на снабжение, наиболее важными технологическими показателями качества являются *точность* и *время* изготовления ЗЧ. Помимо это, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к станочному оборудования ремонтного производство необходимо обеспечить надёжность изготовления ЗЧ, которую можно оценить через *процент брака* при заданной точности обработки, которое оказывает влияние на время изготовления. Таким образом, для обоснования эффективности применения выбранного типа станочного оборудования и определения суммарных потерь при этом логистическом методе снабжения, исследуем обеспечиваемые при этом технологические параметры.

3.2. Исследование технологических показателей качества при изготовлении деталей на станках с интерактивной компьютерной системой управления

3.2.1. Исследование влияния интерактивной компьютерной системы управления на точность геометрических размеров при обработке деталей

Как известно, при изготовлении деталей на металлорежущих станках возникают систематические $\Delta_{\text{сист}}$ и случайные $\Delta_{\text{сл.}}$ составляющие погрешности, оказывающие влияние на отклонение действительного значения x размера обрабатываемой поверхности от номинального X (установочного). Величина суммарной погрешности (отклонения) $\Delta_{\text{сум}}$ определяет точность обработки [53].

$$x = X + \Delta_{\text{сист.}} + \Delta_{\text{сл.}} = X + \Delta_{\text{сум}} . \qquad (3.1)$$

С целью проведения эксперимента для исследования точности обработки деталей на различных типах токарных станков удобно рассмотреть простые детали, представляющие собой образцы диаметром $d = 27$ мм и высотой $h = 5$ мм (см. Рисунок 3. 10. а.) с заданными требованиями по точности (см. Рисунок 3. 10. б.).

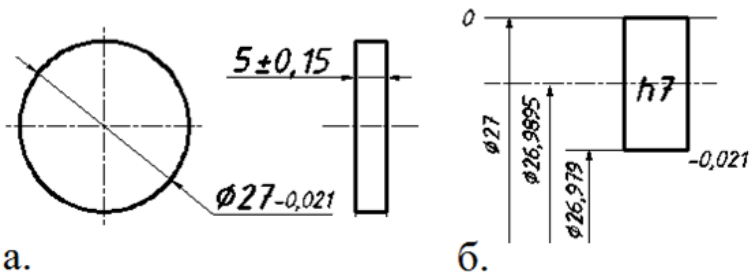


Рисунок 3. 10 – Чертёж образца (а) и схема поля допуска его диаметра (б)

Для получения массива данных, на экспериментальном стенде выполнена обработка по 30 образцов с включением (с интерактивной компьютерной системы управления – ИКСУ) и без включения (с ручным управлением – РУ) и. За установочный размер взята середина поля допуска ($d \approx 26{,}99$ мм; $h \approx 5$ мм). После изготовления образцов измерены их фактические диаметры[19], совокупность результатов которых образует репрезентативную выборку (Таблица 3. 4).

[19] *Наибольшие требования по точности при изготовлении деталей типа тел вращения предъявляются к диаметральным размерам обрабатываемых деталей.*

Таблица 3. 4 – Массивы данных измерений размеров диаметров, полученных при обработке образцов на различных типах станочного оборудования, мм

№ п.п.	РУ	ИКСУ	№ п.п.	РУ	ИКСУ	№ п.п.	РУ	ИКСУ
1.	27,000	27,000	11.	26,940	27,010	21.	27,020	26,990
2.	26,990	27,010	12.	27,020	26,990	22.	26,980	27,010
3.	26,990	26,980	13.	27,010	27,010	23.	26,990	26,990
4.	26,990	26,990	14.	26,990	26,990	24.	26,950	27,000
5.	26,840	27,010	15.	26,990	27,000	25.	26,970	26,990
6.	26,940	27,000	16.	27,020	26,990	26.	27,000	26,990
7.	26,990	26,990	17.	26,950	26,990	27.	26,990	27,010
8.	26,980	26,990	18.	27,180	26,990	28.	27,010	27,000
9.	26,990	26,990	19.	26,960	26,990	29.	26,960	26,990
10.	26,960	27,020	20.	26,940	26,990	30.	26,960	26,990

Проанализируем наличие переменных систематических погрешностей в измерениях, воспользовавшись *критерием Аббе*, рассчитываемым по формуле

$$A = \sum (x_{i+1} - x_i)^2 \Big/ \left(2 \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{X})^2\right), \qquad (3.2)$$

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} x_i / n\,, \qquad (3.3)$$

где $\bar{X}$ – среднее арифметическое результатов измерений; x_i – величина i-го измерения ($i = 1;\ 2;\ 3;\ \ldots\ n$); n – количество измерений.

По результатам расчётов (Таблица 3. 5.) видно, что выборка данных не содержит переменной систематической составляющей погрешности, либо её величина не значительна, так как значение критерия Аббе A меньше значения $A_{q,n}$, которое при принятом уровне значимости $q = 0{,}05$, вычисляется по формуле

$$A_{0{,}05,n} = 0{,}868 - 5{,}945/n + 37{,}401/n^2 - 137{,}71/n^3 + 210{,}646/n^4\,. \qquad (3.4)$$

Таблица 3. 5 – Результаты расчётов критерия Аббе

Тип станка	$\bar{X}$, мм	A	q	n, шт.	$A_{q,n}$
РУ	26,983	1,095	0,05	30	0,726
ИКСУ	26,996	1,000			

В полученных данных вызывают подозрения размеры: $i_5^{\text{РУ}}$, $i_{18}^{\text{РУ}}$ и $i_{10}^{\text{ИКСУ}}$. Проверим, содержат ли данные измерения грубые погрешности с использованием *критерия Шарлье,* который для $5 \le n \le 100$ и $P = 0{,}95$ определяется по формуле

$$K_{\text{ш}} = (0{,}212 + 0{,}897 \cdot \ln(n))/(1 + 0{,}182 \cdot \ln(n) - 0{,}007 \cdot (\ln(n))^2)\,. \qquad (3.5)$$

Пользуясь критерием Шарлье, отбрасываются те результаты, превосходящие по модулю $K_{\text{ш}} S(x)$. Среднее квадратичное отклонение определяется по формуле

$$s(x) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{X})^2}\,. \qquad (3.6)$$

В результате выполненных расчётов (Таблица 3. 6) установлено, что все обозначенные результаты $i_5^{\text{РУ}}$, $i_{18}^{\text{РУ}}$ и $i_{10}^{\text{ИКСУ}}$ содержат грубые погрешности и должны быть исключены, так как $|x_{\text{сомн}} - \bar{X}| > s(x) \cdot K_{\text{ш}}$. В дальнейшем для анализа будем использовать исправленные выборки, объёмами равными $n^{\text{РУ}} = 28$; $n^{\text{ИКСУ}} = 29$.

Таблица 3. 6 – Результаты расчётов критерия Шарлье

Номер измерения	Тип станка	$x_{\text{сомн}}$	$\bar{X}$	s(x)	$K_{\text{ш}}$	$\lvert x_{\text{сомн}} - \bar{X}\rvert$	$s(x)K_{\text{ш}}$
5	РУ	26,850	26,983	0,051	2,126	0,143	0,108
18	РУ	27,190		0,051		0,197	
10	ИКСУ	27,030	26,996	0,010		0,184	0,020

Рассчитаем основные статистики исправленных выборок по формулам (3.3), (3.5) и среднее квадратичное отклонение $\bar{X}$, как $s_x = s(x)/\sqrt{n}$ (Таблица 3. 7).

Таблица 3. 7 – Значения основных статистик исправленных выборок

Тип станка	n	$\bar{X}$	$s(x)$	s_x
РУ	28	26,981	0,025	0,005
ИКСУ	29	26,995	0,009	0,002

Распределения погрешностей обработки деталей на металлорежущих станках, ближе всего соответствует закону нормального распределения. Для проверки гипотезы о нормальном распределении измерений при объёме выборки $15 < n < 50$ воспользуемся составным критерием (ГОСТ8.207-76) который включает в себя два критерия [55]. Рассчитаем первый из них по формуле

$$d = \sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{X}|/(n \cdot S(x))\,. \qquad (3.7)$$

Рассчитаем теоретические значения критериев $d_{q_1/2}$ u $d_{1-q_1/2}$ для $q_1/2 = 0{,}01$ (Таблица 3. 8) при уровне значимости $q_1 = 0{,}02$ по формулам

$$d_{q_1/2,n} = 0{,}82 + 1{,}646/n - 11{,}728/n^2 + 45{,}898/n^3\,, \qquad (3.8)$$

$$d_{1-q_1/2,n} = 0{,}69 + 0{,}0027n - 4{,}295 \cdot 10^{-6}n^2 + 2{,}774 \cdot 10^{-7}n^3\,. \qquad (3.9)$$

Гипотеза о нормальности принимается так как $d_{1-q_1/2} < d < d_{q_1/2}$

Для проверки «концов распределения» рассчитаем второй критерий. Результаты наблюдений соответствуют нормальному распределению, если не

более m разностей $|x_i - \bar{X}|$ превзойдёт значение $t_{P/2}S_x$, где $t_{P/2}$ – квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающей вероятности $P/2$. Вероятность P определяется по n и q есть корень уравнения

$$1 - \sum_{i=1}^{m} C_n^k (1-P)^2 \cdot P^{n-k} = q\,. \qquad (3.10)$$

Значение P находится по соответствующей таблице, приведённой в [53] по заданным n и q_2. Гипотеза о нормальности принимается для всех вариантов, так как число разностей $|x_i - \bar{X}|$, больших $t_{P/2}S_x$ не превышает $m = 2$ (Таблица 3. 8).

Таблица 3. 8 – Результаты расчётов первого и второго критериев

Тип станка	d	1-й критерий			2-й критерий						
		$q_1/2$	$d_{q_1/2,}$	$d_{1-q_1/2}$	q_2	n	P	m	$S(x)$	$t_{P/2} = Z_{P/2}$	$t_{P/2}S(x)$
РУ	0,829	0,01	0,887	0,754	0,03	28	0,97	2	0,025	2,172	0,054
ИКСУ	0,858		0,885	0,755		29			0,009	2,172	0,019

Гипотеза о нормальности принимается для всех выборок так как выполняются оба критерия. Уровень значимости $q = q_1 + q_2 = 0{,}05$ составного критерия, где q_1 – уровень значимости для критерия 1; q_2 – то же, для критерия 2.

Используя распределения Стьюдента рассчитаны доверительные интервалы результатов измерений при неизвестной точности по формуле (3.11) Таблица 3. 9.

$$|x_i - \bar{X}| < (t_P(k) \cdot s(x))/\sqrt{n}\,, \qquad (3.11)$$

где $k = n - 1$, а множитель $t_P(k)$ зависит от доверительной вероятности P и числа измерений n. Уровень значимости $q = 1 - P$.

$$t_{0{,}95,k} = 1{,}938 + 2{,}953/k - 0{,}652/k^2 + 8{,}47/k^3\,. \qquad (3.12)$$

Таблица 3. 9 – Доверительные интервалы для результатов измерений

Тип станка	n	k	P	$t_P(k)$	$s(x)$	$x_н < x < x_в$	
						$x_н$	$x_в$
РУ	28	27	0,95	2,05	0,02	26,971	26,991
ИКСУ	29	28	0,95	2,05	0,01	26,992	26,998

Определим доверительный интервал для средней квадратичной погрешности с использованием распределения χ^2. Значения $\chi^2_н$ и $\chi^2_в$ исходя из $P_в = (1+P)/2$, $P_н = (1-P)/2$ и число степеней свободы $k = n - 1$ найдём по формулам

$$\chi^2_{0{,}95,k} = (-0{,}202 - 0{,}076k + 0{,}098k^2)/(1 + 0{,}125k - 0{,}00014k^2)\,, \qquad (3.13)$$

$$\chi^2_{0{,}05,k} = (3{,}081 + 1{,}731k)/(1 + 0{,}013k - 0{,}00015k^2)\,. \qquad (3.14)$$

Определим доверительный интервал для σ по формуле (3.15) (Таблица 3. 10)

$$\sqrt{n-1}/\chi_{\text{н}} \cdot s(x) < \sigma < \sqrt{n-1}/\chi_{\text{в}} \cdot s(x). \qquad (3.15)$$

Таблица 3. 10 – Доверительные интервалы средней квадратичной погрешности

Тип станка	n	k	P	$P_{\text{н}}$	$P_{\text{в}}$	$\chi_{\text{н}}$	$\chi_{\text{в}}$	$s(x)$	$s(x)_{\text{н}} < s(x) < \text{s(x)}_{\text{в}}$	
									$s(x)_{\text{н}}$	$s(x)_{\text{в}}$
РУ	28	27	0,9	0,05	0,95	40,11	16,15	0,02	0,020	0,032
ИКСУ	29	28	0,9	0,05	0,95	41,35	16,93	0,01	0,007	0,011

Для непрерывных случайных величин уравнения кривой нормального распределения может быть выражено в следующей виде [55, 57]:

$$y = 1/\left(\sigma\sqrt{2\pi}\right) \cdot e^{-(x-a)^2/(2(S(x))^2)}, \qquad (3.16)$$

где e – основание натуральных логарифмов, $a = \bar{X}$

Подставив в формулу (3.16) рассчитанные значения основных статистик (Таблица 3. 7) получим теоритические уравнения распределений экспериментальных данных, графики и гистограммы которых см. Рисунок 3. 11.

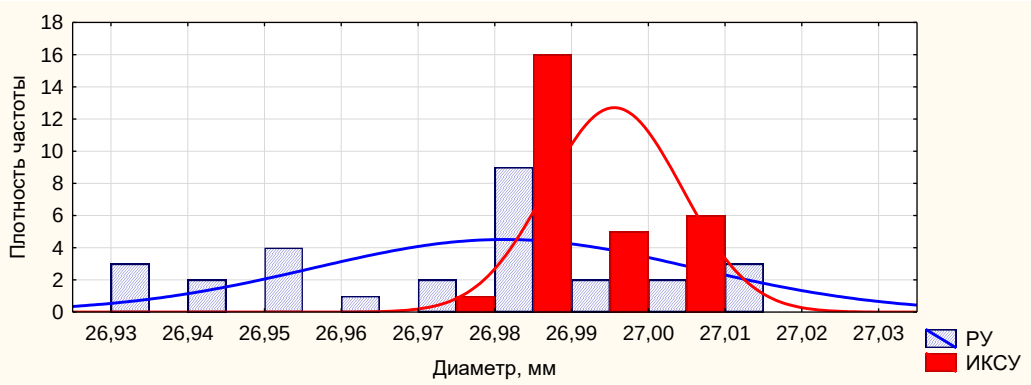


Рисунок 3. 11 – Сводные гистограммы и теоретические кривые нормального распределения результатов измерений, полученных при обработке диаметров образцов на универсальных стоках с ручным управлением – РУ и с ИКСУ

При практических расчётах точность обработки пределы изменения случайной величины $\pm 3\sigma$ принимается за величину полной случайной погрешности. Таким образом, точность обработки деталей, обработанных на универсальном станке с ИКСУ при доверительной вероятности 0,95 повышается на 65% для диаметральных размеров по сравнению с точностью обработки деталей на обычном универсальном станке с ручным управлением. При данных номинальных размерах обрабатываемых поверхностей достигаемая точность соответствует 9 квалитету и соответствует требованиям, предъявляемыми к точности обработки диаметральных поверхностей номенклатуры изготавливаемых запасных частей.

3.2.2. Исследование влияния интерактивной компьютерной системы управления на процент брака при обработке деталей

Следующим важным показателем, характеризующим надёжность выполнения технологического процесса механической обработки деталей на различных типах[20] станочного оборудования, является процент брака. Произведено сравнение статистических результатов выборок, полученных на экспериментальном стенде. Каждая выборка представляет собой результаты измерений образцов (см. Рисунок 3. 10. а.), обработанных с 6-го по 10-ый квалитет точности. Объём каждой выборки составляет $n = 30$ образцов. В каждой такой выборке подсчитывалось количество брака (бракованными считаются образцы, размеры которых выходили за установленные пределы допуска).

При обработке образцов разной точности изменяется только настроечный размер, который является серединой поля допуска. Поле рассеивания и параметры кривой распределения $\bar{x} = a$ и $s(x) = \sigma$ фактических размеров при обработке с различной точностью остаются постоянными. Для упрощения расчётов будем использовать распределение, полученное при исследовании точности и совмещать поле рассеивания размеров с серединой поля допуска (настроечным размером).

Так как результаты измерений распределены по нормальному закону, то вероятность брака можно вычислить, воспользовавшись функцией Лапласа

$$P(T_{\text{В}} < x < T_{\text{Н}}) = 1 - [\Phi(z_{\text{В}}) - \Phi(z_{\text{Н}})]\,, \tag{3.17}$$

$$z_{\text{В}} = (T_{\text{В}} - a)/\sigma\,,\ \ z_{\text{Н}} = (T_{\text{Н}} - a)/\sigma\,, \tag{3.18}$$

$$\Phi(z_{\text{В}}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{o}^{z} e^{\frac{-z^2}{2}} dz\,, \tag{3.19}$$

где $T_{\text{В}}$ и $T_{\text{Н}}$ – верхний и нижний предельный размер соответственно.

Полученные расчётные данные (Таблица 3. 11) можно представить в виде гистограмм, аппроксимирующих их графиков и уравнений (Рисунок 3. 12).

---

[20] Рассматриваются два типа станков: универсальный станок с ручным управлением (РУ) и с интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ).

Таблица 3. 11 – Средние значения экспериментального и теоретического процента брака при обработке образцов на различных типах универсальных станков (с РУ и ИКСУ) в зависимости от квалитета точности и отклонения

Измеряе-мый параметр, мм	Квалитет точности и отклонение	Допуск, мкм	Границы поля допуска, мм		Настраи-ваемый размер мм	Средний процент брака (эксп.), %		Средний процент брака (теор.), %	
			Тн	Тв		РУ	ИКСУ	РУ	ИКСУ
d=27	h6	13	26,987	27	26,994	67,86	41,38	80,46	53,85
	h7	21	26,979	27	26,990	53,57	20,69	68,95	31,61
	h8	33	26,967	27	26,984	53,57	20,69	52,99	10,90
	h9	52	26,948	27	26,974	42,86	0	32,19	0,94
	h10	84	26,916	27	26,958	10,71	0	10,90	0,00

Рисунок 3. 12 – Гистограммы распределения и графики зависимости процента брака при обработке диаметров образцов на различных типах станочного оборудования от точности

Из приведённых выше данных видно, что полученные экспериментальные данные по вероятности брака хорошо сходятся с теоретическими результатами. Таким образом, на их основании можно сделать вывод о том, что применение ИКСУ не приводит к существенному снижению брака при высоких требованиях к точности обработки, тогда как при обработке диаметральных размеров по 9-му квалитету и ниже процент брака не превышает 1%. При этом следует отметить, что точности обработки диаметральных размеров по 9-му квалитету и ниже в ремонтном производстве наиболее широко распространены. Учитывая данные, полученные ранее (см. Таблица 3. 11) можно сделать вывод о том, что при обработке деталей с точностью диаметральных размеров по 9-му квалитету можно гарантировать с вероятностью 99%, что брак при обработке не возникнет.

3.2.3. Исследование влияния интерактивной компьютерной системы управления на составляющие штучного времени при обработке деталей

Модернизация универсального станка интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) связана с изменениями некоторых принципов управления станком (автоматизацией принятия решений оператора, введения обратной связи и её цифровой и графической индикации), при сохранении механизмов управления исполнительными органами станка. Штучно-калькуляционное время $Т_{шт.к.}$ при обработке детали на универсальном станке с ИКСУ имеет схожые с обычным универсальным станком структуру и состав [58].

$$Т_{шт.к.} = \sum_{i=1}^{4} (\boldsymbol{t}_{п.з.1-i} + \boldsymbol{t}_{п.з.2-i}) \Big/ \boldsymbol{z} + \boldsymbol{t}_{о} + \boldsymbol{t}_{в.уст.} + \boldsymbol{t}_{в.пер.} + \boldsymbol{t}_{в.изм.} + \\ + \boldsymbol{t}_{об.тех.} + \boldsymbol{t}_{об.орг.} + \boldsymbol{t}_{отд.л.н.}, \quad (3.20)$$

где $\boldsymbol{z}$ – количество деталей в партии; $t_{п.з.1-1}$ – время получения задания на работу; $t_{п.з.1-2}$ – время на получение заготовки, инструмента, приспособления и ТД; $t_{п.з.1-3}$ – время ознакомления с чертежом и ТД; $t_{п.з.1-4}$ – время на инструктаж о порядке выполнения работы; $t_{п.з.2-1}$ – время на установку приспособления и инструментов; $t_{п.з.2-2}$ – время наладки оборудования на соответствующий режим работы; $t_{п.з.2-3}$ – время на снятие приспособления и инструмента после выполнения задания; $t_{п.з.2-4}$ – сдача приспособления, инструмента и ТД; $t_{в.уст.}$ – вспомогательное время на установку и снятие детали; $t_{в.пер.}$ – вспомогательное время, связанное с выполнением переходов; $t_{в.изм.}$ – вспомогательное время на измерение; $t_{об.тех.}$ – время на техническое обслуживание; $t_{об.орг.}$ – время на организационное обслуживание; $t_{отд.л.н.}$ – время на отдых и личные надобности рабочего.

В результате модернизации универсального станка ИКСУ происходит существенное сокращение времени воздействия оператора на станок и обрабатываемую заготовку, которое выражается в сокращении $Т_{шт.к.}$ за счёт изменения содержания процессов, определяющих его временные составляющие при обработке деталей (Таблица 3. 12).

Таблица 3. 12 – Содержание процессов переменных, временных составляющих трудоёмкости изготовления детали на станках с РУ и ИКСУ

Содержание процессов	
Универсальный станок с РУ	**Универсальный станок с ИКСУ**
$t_{\text{п.з.1}-1}$ **– время получения задания на обработку.**	
Передача бумажной технологической документации (ТД) от мастера к рабочему.	+ Передача задания от мастера на станок через flash-память или локальную сеть.
$t_{\text{п.з.1}-3}$ **– время на ознакомление с работой, ТД и чертежом детали;** $t_{\text{п.з.1}-4}$**– время на инструктаж мастера о порядке выполнения работы;** Для ИКСУ - $t_{\text{п.з.1}-3}$ **– время на просмотр демонстрации процесса обработки.**	
Изучение бумажной ТД и чертежа, продумывание и запоминание алгоритма технологического процесса.	+ Просмотр визуализации программы-наставника на дисплее ИКСУ (демонстрация виртуального технологического процесса обработки детали в режиме «Демо»).
$t_{\text{в.пер.}}$ **– время связанное с переходами.**	
• Приёмы управления станком (включение и переключение подач, переключение чисел оборотов шпинделя, пуск и остановка станка в процессе выполнения операций); • Приёмы перемещения частей станка (подвод инструмента и его отвод в исходную позицию, установка инструмента на размер); • Приёмы измерений (связанных с взятием пробных стружек); • Приёмы смены инструмента; • Приёмы, связанные с перемещением и поворотом частей станка и приспособлений (поворот каретки суппорта, перемещение бабки и т. д.).	+ Упрощение установки инструмента на размер за счёт использования цифровой индикации и средств визуализации системы, отображаемые на экране монитора (масштабируемая сетка, электронный шаблон детали с допусками); + При обработке по программе-наставнику сокращение перемещений, связанных с холостыми ходами; + Сокращение числа вкл./ откл. станка (время на нажатие кнопки или поворота рычага и остановки шпинделя); + Сокращение числа взятия пробных стружек за счёт привязки инструментов только один раз перед началом обработки и в случае переустановки детали.
$t_{\text{в.изм.}}$ **– вспомогательное время на измерения**	
Монотонные промежуточные и контрольные измерение поверхностей детали после выполнения перехода с применением универсального измерительного инструмента (штангельциркуля, микрометра, калибра).	+ Исключение промежуточных измерений за счёт привязки инструмента в начале обработки. + Сокращения объёма монотонной работы за счёт контроля качества в процессе обработки без остановки технологического процесса.

Норма времени на операцию в машиностроении определяется двумя способами: *аналитически-исследовательским* (на основе данных хронометражного исследования) и *аналитически-расчётным методом* (путём расчёта отдельных составляющих нормы времени по нормативам). Так как нормы времени для обработки деталей на универсальных станках с ИКСУ не известны, единственным методом для расчёта является *аналитически-исследовательский*, основанный на проведении экспериментальных исследований.

Для исследования влияния модернизации универсального станка ИКСУ на цикл обработки детали удобно рассмотреть элементарный переход по обработке поверхности вращения диаметром $d = 30h9$ и длинной $h = 10h14$ (Рисунок 3. 13).

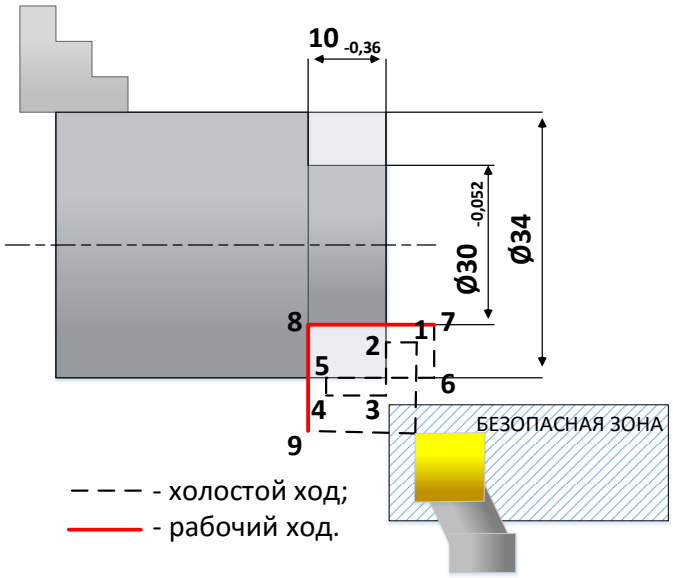


Рисунок 3. 13 – Схема обработки образцов на экспериментальном стенде при измерении штучного времени

Проанализирован состав и алгоритм приёмов, образующих переход при обработке поверхности с и без применения ИКСУ (Таблица 3. 13).

Таблица 3. 13 – Состав и алгоритм приёмов, входящих в технологический переход, включённых в штучное время при обработке образцов

№ этапа	Содержание этапа для различных типов станочного оборудования	
	Универсальный станок с ручным управлением (РУ)	Универсальный станок с ИКСУ
1.	Переместить инструмент в точку 1	Переместить инструмент в точку 1, установив его на обработку диаметра 29,97 мм
2.	Переместить инструмент в точку 2 (коснуться торца, установить ноль на лимбе маховика продольной подачи)	
3.	Переместить инструмент в точку 3	
4.	Переместить инструмент в точку 4	
5.	Переместить инструмент в точку 5 (коснуться диаметра, установить ноль на лимбе маховика поперечной подачи)	
6.	Переместить инструмент в точку 6	
7.	Установить инструмент на диаметр 29,97 мм в точку 7	
8.	Включить вращение шпинделя	
9.	Переместить инструмент в точку 8 на расстояние 9,6 мм	
10.	Вывести инструмент из зоны резания в точку 9	
11.	Переместить инструмент в безопасную зону и остановить вращение шпинделя	
12.	Измерить полученную поверхность – обнулить показания штангельциркуля, измерить диаметра (длина не измерялась)	x

В результате серии испытаний получены массивы данных (Таблица 3. 14).

Таблица 3. 14 – Массивы данных измерений штучного времени полученных при обработке образцов на экспериментальном стенде, сек.

№ п.п.	РУ	ИКСУ	№ п.п.	РУ	ИКСУ	№ п.п.	РУ	ИКСУ
1.	70	28	11.	53	30	21.	48	23
2.	50	43	12.	49	33	22.	39	21
3.	57	30	13.	40	28	23.	38	23
4.	53	28	14.	45	26	24.	40	19
5.	70	30	15.	40	32	25.	48	22
6.	60	35	16.	45	21	26.	47	30
7.	54	32	17.	57	23	27.	50	20
8.	53	26	18.	48	19	28.	40	28
9.	53	23	19.	58	24	29.	48	25
10.	52	25	20.	47	20	30.	47	30

Для анализа полученного массива данных (Таблица 3. 14) воспользуемся ранее применяемой для анализа данных при исследовании точности методикой [53]. Приведём результаты расчётов для штучного и проанализируем их.

Вначале проанализируем содержат ли массивы данных переменные систематические составляющие погрешности воспользовавшись критерием Аббе и формулами (3.2) – (3.4). Переменная систематическая составляющая погрешности не оказывает существенное влияние на результаты измерения (Таблица 3. 15).

Таблица 3. 15 – Результаты расчётов критерия Аббе

Тип станка	$\bar{t}$, мм	A	q	n, шт.	$A_{q,n}$
РУ	49,967	1,078	0,05	30	0,726
ИКСУ	26,567	1,000			

Проверим сомнительные значения в выборке на грубые ошибки по *критерию Шарлье* и формулам (3.3), (3.5) и (3.6). Измерения $t_1^{\text{РУ}}$, $t_5^{\text{РУ}}$ и $t_2^{\text{ИКСУ}}$ содержат грубые ошибки и исключаются (Таблица 3. 16). В дальнейшем анализе будем использовать исправленные выборки, объёмами равными $n^{\text{РУ}} = 28$ и $n^{\text{ИКСУ}} = 29$

Таблица 3. 16 – Результаты расчётов критерия Шарлье

Номер измерения	Тип станка	$t_{\text{сомн}}$	t	s(x)	$K_{\text{ш}}$	$\lvert t_{\text{сомн}} - \bar{t}\rvert$	$s(t)K_{\text{ш}}$
1; 6	РУ	70	49,967	8,045	2,126	20,033	17,107
19	РУ	58	49,967	8,045	2,126	8,033	17,107
2	ИКСУ	43	26,567	5,431	2,126	16,433	11,548

Рассчитаем основные статистики исправленных выборок по формулам (3.3), (3.5) и среднее квадратичное отклонение $\bar{t}$, как $s_t = s(t)/\sqrt{n}$ (Таблица 3. 17).

Таблица 3. 17 – Результаты расчётов статистик исправленных выборок

Тип станка	n	$\bar{t}$	$s(t)$	s_t
РУ	28	48,536	6,137	1,160
ИКСУ	29	26,000	4,554	0,861

Так как штучное время является случайной величиной, значение которой зависит от множества факторов, выдвинем гипотезу о том, что оно распределено по нормальному закону распределения. Воспользуемся составным критерий (для $15 < n < 50$) который включает в себя два критерия, при удовлетворении которых гипотеза о нормальном распределении считается достоверной с заданной вероятность. По формулам (3.7) – (3.10) выполнены расчёты составляющих критериев (Таблица 3. 18).

Таблица 3. 18 – Результаты расчётов первого и второго критерия

Тип станка	1-й критерий				2-й критерий						
	d	$q_1/2$	$d_{q_1/2,}$	$d_{1-q_1/2}$	q_2	n	P	m	$S(t)$	$t_{P/2} = Z_{P/2}$	$t_{P/2}S(t)$
РУ	0,792	0,01	0,887	0,754	0,03	28	0,97	2	6,137	2,172	13,328
ИКСУ	0,848		0,885	0,755		29			4,554		9,890

Гипотеза о нормальности принимается для всех выборок (выполняются оба критерия). Уровень значимости составного критерия $q = q_1 + q_2 = 0{,}05$, где q_1 и q_2 – уровень значимости для 1-го и 2-го критерия.

По формулам (3.11) и (3.12) определим доверительные интервалы для времени обработки при неизвестной точности измерений (Таблица 3. 19).

Таблица 3. 19 – Доверительные интервалы для времени

Тип станка	n	k	P	$t_P(k)$	$s(t)$	$t_н < t < t_в$	
						$t_н$	$t_в$
РУ	28	27	0,95	2,05	6,14	46,118	50,953
ИКСУ	29	28	0,95	2,05	4,55	24,242	27,758

По формулам (3.10) – (3.16) определим доверительный интервал для средней квадратичной погрешности (Таблица 3. 20).

Таблица 3. 20 – Доверительные интервалы для средней квадратичной погрешности времени

Тип станка	n	k	P	$P_н$	$P_в$	$\chi_н$	$\chi_в$	$s(t)$	$s(t)_н < s(t) < s(t)_в$	
									$s(t)_н$	$s(t)_в$
РУ	28	27	0,9	0,05	0,95	40,11	16,15	6,14	5,035	7,935
ИКСУ	29	28	0,9	0,05	0,95	41,35	16,93	4,55	3,748	5,857

Рассчитаем и построим по массивам исправленных выборок данных эмпирические и теоретические кривые нормального распределения для различных типов станочного оборудования, воспользовавшись общеизвестными методиками, например приведённой в работе [55]. Результаты расчётов представим в виде сводных гистограмм и теоретических кривых распределения, (см. Рисунок 3. 14**)**

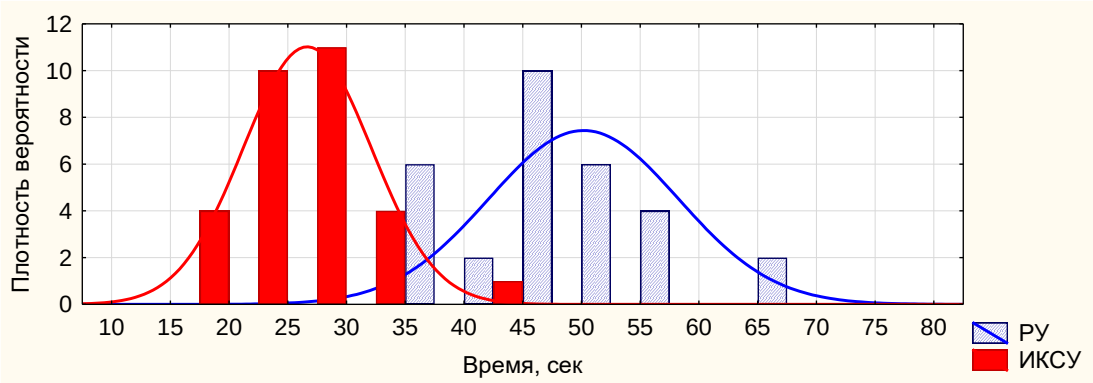


Рисунок 3. 14 – Гистограммы и кривые распределения экспериментальных значений штучного времени при обработке образцов на различных типах станочного оборудования

В результате модернизации универсального станка с ИКСУ более чем в 2 раза сокращается штучное время обработки, при обеспечении 9 квалитета точности обработки с вероятностью отсутствия возникновения брака 0,99. Для учёта величины брака $P_{\text{бр.}}$ (см. Рисунок 3. 12) при расчётах время обработки необходимо умножить на коэффициент учёта брака, который рассчитывается по формуле

$$K_{\text{бр}} = 1/\left(1 - P_{\text{бр.}}\right) \qquad (3.21)$$

С учётом полученных ранее значений, можно сделать вывод о следующем. Технологический процесс изготовления детали стал более производительным и гибким, за счёт частичной автоматизации функций оператора и информационной поддержки как выполнения процесса обработки детали, так и этапов его технологической подготовки, промежуточного и окончательного контроля. В итоге, достигаемая производительность и надёжность технологического процесса позволяет сократить время производства запасной части (ЗЧ), а значит и время простоя погрузочно-доставочной машины в ремонте, а гибкость обеспечить возможность оперативного реагирования производственного модуля ременно-механического участка ОАО «Апатит» постоянно меняющуюся номенклатуру ЗЧ.

3.2.4. Влияния применения интерактивной компьютерной системы управления на обучаемость операторов

После модернизации универсального станка интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) происходит частичная автоматизация действий рабочего и перераспределяются функций, выполняемых элементами системы при обработке деталей. Элементы системы «Компьютер–человек–станок» дополняют друг друга своими преимуществами: человек – творческим разумом, умением решать задачи нестандартно; компьютер – способностью быстро считывать, хранить, перерабатывать и воспроизводить большие объёмы информации; станок – точное соответствие выполняемых процессов управляющим взаимодействиям. Описана функциональная схема работы станка с ИКСУ (см. Рисунок 3. 15) [60, 61].

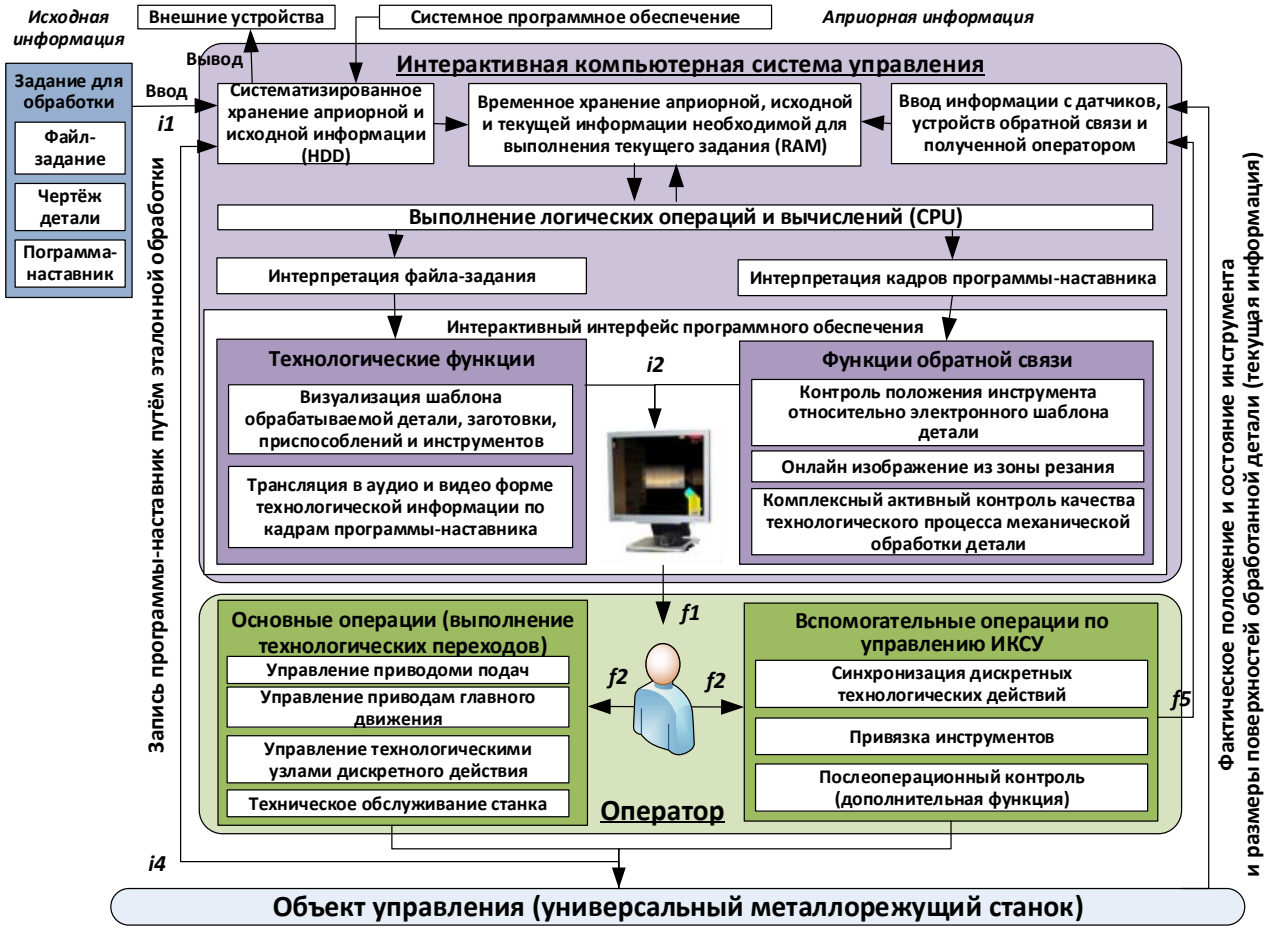


Рисунок 3. 15 – Функциональная схема работы универсального станка с ИКСУ
(каналы связи соответствуют обозначениям см. Рисунок 3. 5)

Перераспределение функций в системе «Компьютер–человек–станок» упрощает процесс её обслуживания, позволяя снизить требования к квалификации

оператора, без ухудшения качества изготавливаемых деталей и с подержанием высокого уровня надёжности выполнения технологического процесса.

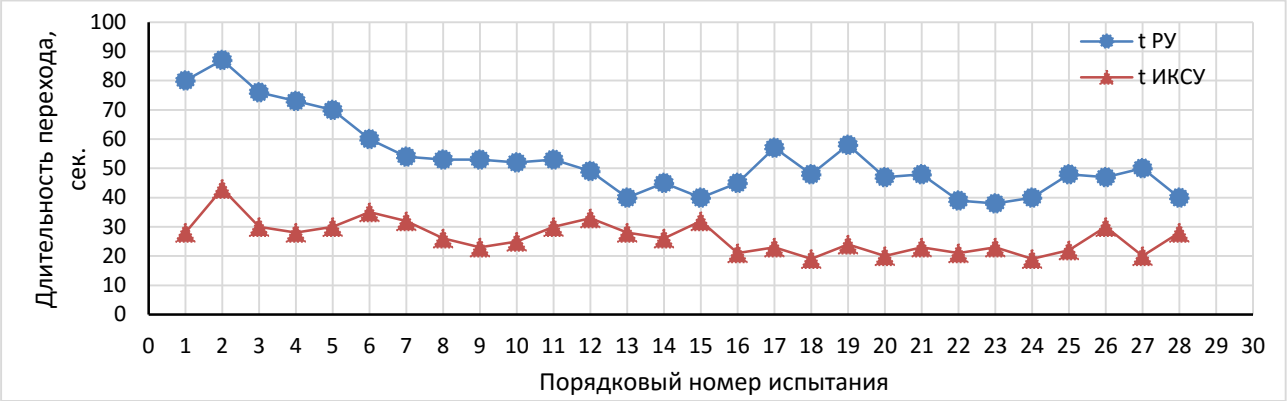
Как видно из полученных ранее результатов исследований [62] модернизация универсального станка ИКСУ приводит к повышению точности, снижению времени и процента брака при изготовлении деталей. Обычно при обработке деталей более высокие показатели обеспечиваются за счёт высокой квалификации рабочего. Однако для работы на универсальном станке, модернизированном ИКСУ не требуется высококвалифицированного обслуживания, но при этом обеспечивает высокие технологические показатели. Это позволяет сразу включить оператора с низкой квалификацией в производственный процесс при наличии базовых профессиональных знаний, навыков и понимания основ работы ИКСУ, без ухудшения качества выпускаемой продукции. Совмещение практической работы и интерактивного обучения способствует ускорению обучаемости. Это очень важно при изготовлении запасных частей для погрузочно-доставочных машин в условиях ремонтного производства ОАО «Апатит» вследствие низкого технологического уровня станочного оборудования и дефицита высококвалифицированных рабочих.

Обычно, для описания влияния изменений процесса обучения используют кривые обучаемости. Сложность заключается в том, что для их построения необходимы большие массивы данных, которые не представляется возможным собрать в рамках данной диссертационной работы. В связи с этим, возникает необходимость менее трудоёмкого описания улучшения процесса обучаемости. В качестве показателей для демонстрации повышения обучаемости удобно взять точность и время обработки поверхности, совместный эффект от которых демонстрирует повышение эффективности выполнения процесса, что является целью обучения. Представим полученные массивы данных в виде хронологии проведения испытаний (Рисунок 3. 16).

Проанализировав приведённые графики можно сделать выводы о том, что процесс обработки на универсальном станке с ИСКУ более стабильный и обеспечивает более высокие показатели по точности и времени уже при первых испытаниях. Из графика (см. Рисунок 3. 16. а.) видно, что для достижения производительности работы оператора станка с ИКСУ рабочему-универсалу

требуется большое количество повторений. График хронологии изменения отклонения размера (см. Рисунок 3. 16. б.) демонстрирует более высокую точность обработки и стабильность её обеспечения уже на первых испытаниях, тогда как при работе на универсальном станке наблюдается тенденция небольшого ухудшения точности за счёт утомляемости рабочего вследствие монотонной рутинной работы.

а.



б.

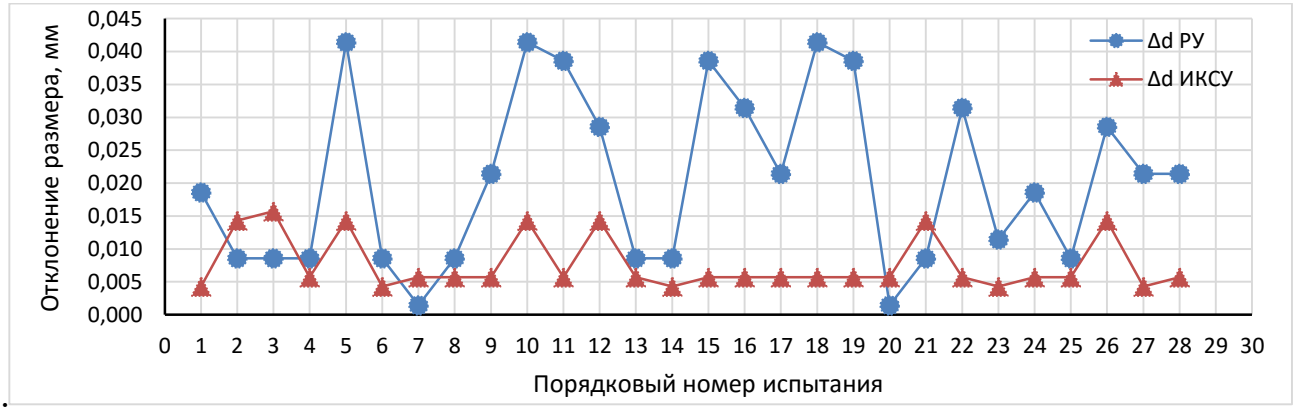


Рисунок 3. 16 – Хронология изменения времени (а) и отклонений размеров обработанных поверхностей при проведении повторных испытаний на экспериментальном стенде при ручном управлении (РУ) и ИКСУ

В конечном итоге можно сделать вывод о том, что применение ИКСУ способствует более быстрой обучаемости операторов, для достижения требуемых технологических показателей качества. Сложность заключается в том, что на сегодняшний день, физически, при обработке деталей оператор контролирует на дисплее ИКСУ получаемые результаты, однако не может оперативно и комплексно оценить степень их соответствия теоретическим требованиям. Их величина определяется на этапе окончательного технического контроля, что делает технологический процесс менее гибким. В связи с отсутствием возможности оперативно и комплексно оценить качество изготовления в процессе обработки, возникает необходимость в разработке такого метода и способа его реализации.

3.3. Метод оценки качества изготовления деталей на универсальных станках с интерактивной компьютерной системой управления

3.3.1. Математическое описание метода оценки качества

После модернизации универсального станка интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) реализуется функция активного контроля. Данная функция позволяет управлять размерами детали в процессе обработки, что обеспечивает повышение качества её изготовления. Её реализация обеспечивается *скрытой (опосредственной) обратной связью*, которая делает систему «Компьютер–человек–станок» замкнутой. Данный вид обратной связи осуществляется через оператора путём зрительного восприятия им *исходной* и *текущей информации* на дисплее ИКСУ (см. Рисунок 3. 17), её анализа, принятия решения и выполнения на её основе физического воздействия на органы управления исполнительными механизмами станка (см. Рисунок 3. 5).

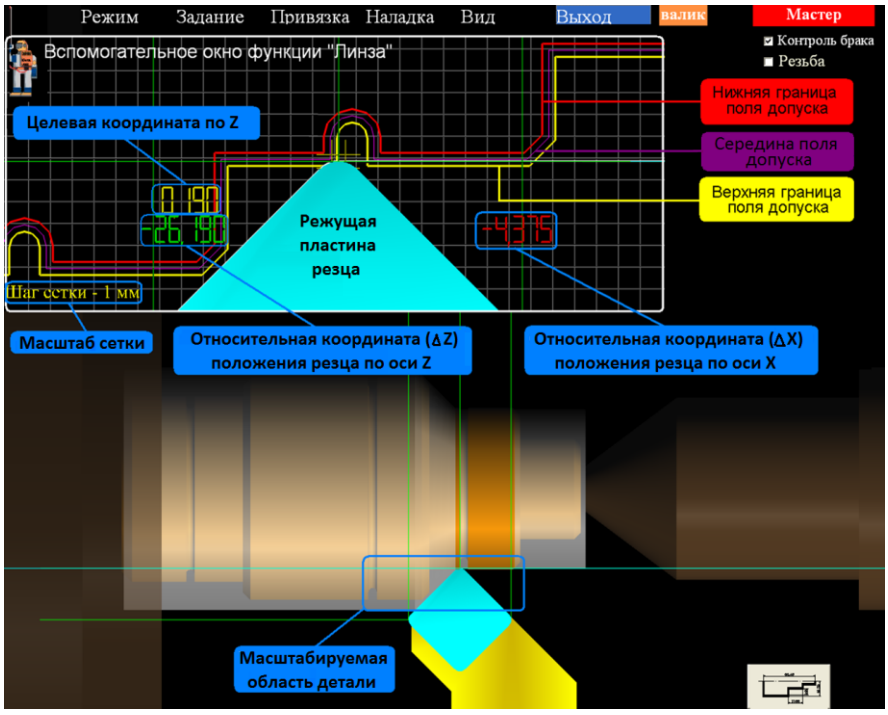


Рисунок 3. 17 – Вид интерфейса программного обеспечения ИКСУ для токарной обработки, отображаемого на дисплее устройства «ПроЭмулятор»

Любая деталь состоит из некоторой совокупности поверхностей, которые получаются путём выполнения ряда технологических переходов. В связи с

наличием большого количества показателей возникает сложность в комплексной оценке качества выполнения технологических процессов изготовления деталей. Для решения данной проблемы получаемые технологические показатели целесообразно свести к одному комплексному показателю уровня качества. Сложность заключается в том, что на сегодня в ИКСУ отсутствует возможность комплексной оценки обеспечиваемого при обработке деталей уровня качества.

На кафедре «Технология машиностроения и ремонт горных машин» Московского государственного горного университета профессором Г. И. Солодом разработан метод *безэкспертной* оценки качества изготовления деталей [53, 64]. Адаптируем данную методику для комплексной оценки качества изготовления деталей на универсальных станках, модернизированных ИКСУ [63].

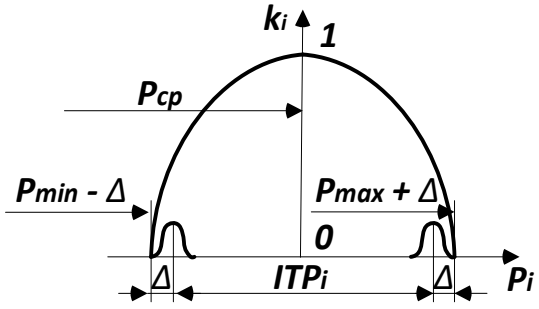
Качество изготовления может определяться по разным свойствам и характеризующим их показателям. Как было выявлено ранее в качестве таких показателей целесообразно использовать *точность* и *время* обработки детали, которые далее мы будем применять для комплексной оценки уровня качества.

Единичный уровень качества по точности $k_{i\,IT}$ для i-й обработанной поверхности, размер которой оценивается параметром P_i, вычисляется по формулам (3.22) – (3.24) в соответствии с расчётными схемами (см. Рисунок 3. 18). Если поверхность, входящая в соединение, образует зазор или натяг то в схемах левая часть относится к охватывающим, а правая к охватываемым [53, 64].

Определение фактического показателя P_i при обработке деталей на универсальных станках выполняют при послеоперационном контроле, что позволяет по технологическим требованиям, приведённым на чертеже детали оценивать качество изготовления, но только уже после изготовления детали. В процессе же обработки детали на универсальном станке с ИКСУ оператор контролирует на дисплее фактическое положение режущего инструмента (см. Рисунок 3. 17), что позволяет с определённой погрешностью Δ контролировать фактический размер детали. Величина данной погрешности определяется индивидуально для каждого конкретного станка в зависимости от его технического состояния. Для сокращения величины Δ и увеличения точности обработки мы рекомендуем воспользоваться программной коррекцией, компенсирующей часть

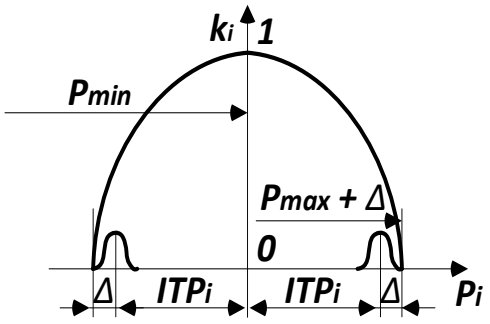
из возникающих в процессе обработки погрешностей. В подавляющем большинстве случаев при обработке деталей на универсальных станках с ИКСУ малой партии широкой номенклатуры, программную коррекцию можно выполнять по методике, описанной в статье [66], разработанной в результате аналитических исследований, основанных на базе математического аппарата и общеизвестных методик компенсации погрешностей обработки, описанных в работах [67 – 73].

а.



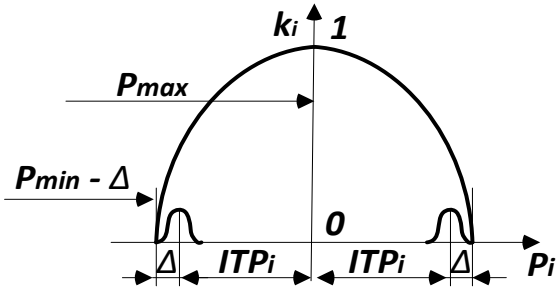
$$k_{i\,IT} = 1 - \frac{(P_i - \bar{P})^2}{(0{,}5ITP + \Delta)^2}\,, \quad (3.22)$$

б.



$$k_{i\,IT} = 1 - \frac{(P_i - P_{min})^2}{(ITP + \Delta)^2}\,, \quad (3.23)$$

в.

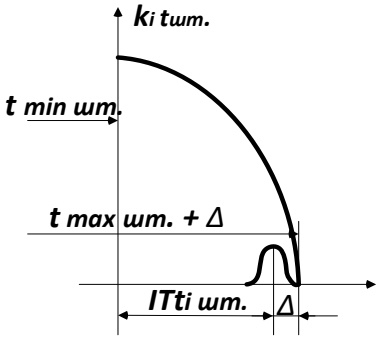


$$k_{i\,IT} = 1 - \frac{(P_{max} - P_i)^2}{(ITP + \Delta)^2}\,, \quad (3.24)$$

Рисунок 3. 18 – Расчётные схемы и формулы для определения уровней качества изготовления по точности геометрических размеров: *а. – свободных поверхностей; б. – поверхностей, образующих при сборке соединение с зазором; в. – поверхностей, образующих при сборке соединение с натягом (ITP – допуск на i-й параметр; $\bar{P}$, P_{min} и P_{max} – среднее, минимальное и максимальное значение i-го параметра; P_i – действительное значение параметра, полученное в технологическом процессе; Δ – абсолютная погрешность измерения)*

Так как обработка деталей на универсальных станках с ИКСУ осуществляется по электронному шаблону, отображаемому при включении опции «Линза» см. Рисунок 3. 17, который представляет собой чертёж детали в масштабе 1:1 с контурами полей допусков, то появляется возможность контролировать качество изготовления в процессе обработки и существенно сократить $t_{\text{всп.изм.}}$.

Следующий показатель, который стоит включить в оценку качества изготовления ЗЧ является *время*. Единичный уровень качества по времени $k_{i\,t\text{шт.}}$ обработки i-й поверхности, который оценивается параметром t_i, вычисляется по формуле (3.25) по схеме (см. Рисунок 3. 19). Единичный показатель качества по времени рассчитывается для каждого технологического перехода.



$$\begin{cases} k_{i\,t\text{шт.}} = 1 - \dfrac{(\,t_{i\ \text{шт.}} - t_{min\,\text{шт.}})^2}{(IT t_{\text{шт.}} + \Delta)^2}, \\ t_{min\,\text{шт.}} \le\ t_{i\ \text{шт.}} \le t_{max\,\text{шт.}}, \end{cases} \qquad (3.25)$$

Рисунок 3. 19 – Расчётная схема для определения уровня качества по параметру штучного времени выполнения перехода ***($IT t_{\text{шт.}} = t_{max\,\text{шт.}} - t_{min\,\text{шт.}}$ – допуск на i-е штучное время; $t_{i\,\text{шт.}}$ – действительное значение штучного времени, полученное в технологическом процессе; $t_{min\,\text{шт.}}$ и $t_{max\,\text{шт.}}$ – минимальное и максимальное значения i-го штучного времени в технологическом процессе при соблюдении регламента; Δ – абсолютная погрешность измерения)***

При расчёте уровня качества за $t_{min\,\text{шт.}}$ может быть принято $t_{\text{шт.}}$ выполнения той же операции на станке с ЧПУ, а $t_{max\,\text{шт.}}$ может быть задано исходя из плана графика, статистических данных либо экспертной оценкой (это время, после превышения которого пропадает целесообразность изготовления детали).

Для оценки совместного влияния повышения точности и снижения времени изготовления детали удобно ввести комплексный показатель качества изготовления, который вычисляется по следующий формуле

$$K_{\text{изг.}} = K_{IT} \times K_{t\text{шт}} = \sqrt[m_{IT}]{\prod_{i=1}^{m_{IT}} k_{i\,IT}} \times \sqrt[m_t]{\prod_{i=1}^{m_t} k_{i\,t\text{шт.}}}\,, \qquad (3.26)$$

где m_{IT} и m_t – количество параметров детали, по которым производится оценка качества изготовления по параметрам точности и времени i-й детали.

Полученный уровень качества $K_{\text{изг}}$ является универсальным параметром, который может быть применён в дальнейших математических моделях для установления необходимых зависимостей между технологическими показателями при изготовления запасных частей и показателями ремонтируемых ПДМ. Помимо

данный показатель можно применить, например, для расчёта размера заработной платы оператора станка с ИКСУ. Для оценки размера оплаты труда $ЗП_{опер.}$ введём линейную зависимость, учитывающую установленную систему тарифов и штрафов, величины которых определяются для каждой конкретной детали исходя из удельных затрат на изготовление детали.

$$ЗП_{опер.} = aK_{изг.} - b\,, \qquad (3.27)$$

где a – тариф оплаты за качество; b – штраф за изготовление бракованной детали и $K_{изг}$ – уровень качества изготовления детали, вычисляемый по формуле (3.26).

В Приложении Г приведён пример расчёта уровня качества и размера оплаты труда оператора при изготовлении типовой запасной части – *поршня гидроцилиндра механизма рулевого управления погрузочно-доставочной машины*.

3.3.2. Формат реализации и алгоритм работы метода оценки качества

Для реализации метода оценки уровня качества изготовления деталей на универсальных станках удобно воспользоваться программным обеспечением (ПО) интерактивной компьютерной системы управления (ИКСУ) – системы «ПроЭмулятор». С целью автоматизации процесса оценки уровня качества на базе функций ПО ИКСУ целесообразно разработать приложение, реализованное в формате расширения, надстройки или обновления. После установки данного приложения в пункт меню «Наладка» добавляется новая функция «Активный контроль качества», при помощи которой у оператора появляется возможность уточнить, по каким параметрам будет выполняться оценка уровня качества.

Оценка уровня качества выполняется на основании исходных данных по качеству, которые можно представить в виде либо табличного, либо текстового файла, например, с расширением *.qlt (quality - качество). В данном файле также можно фиксировать получаемые фактические значения по точности и времени обработки, единичные уровни и комплексный показатель качества, а также задавать значения тарифов и штрафов для расчёта размер оплаты труда оператора.

Для реализации метода оценки качества, при его активном контроле на универсальных станках с ИКСУ, выполняется по следующему алгоритму:

1. Для активного (оперативного) контроля уровня качества оператор перед обработкой включает наладку «Контроль качества» см. Рисунок 3. 20.

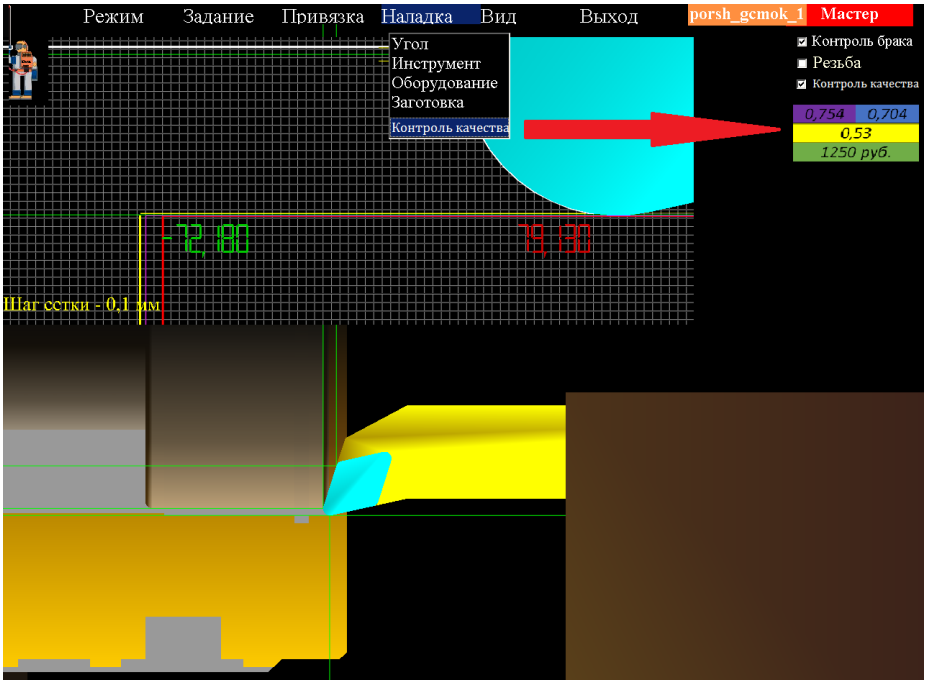


Рисунок 3. 20 – Отображение в ПО ИКСУ значения параметров качества при обработке поршня гидроцилиндра погрузочно-доставочной машины

2. После включения наладки «Контроль качества» появляется диалоговое окно «Активный контроль качества» (см. Рисунок 3. 21) для выбора параметров данной функции. При включении соответствующих функций на дисплее ПроЭмулятор отображаются текущие значения комплексных уровней качества по точности, времени и итоговое значение комплексного показателя качества изготовления детали, а также величина размера оплаты труда оператора за качество выполненной работы.

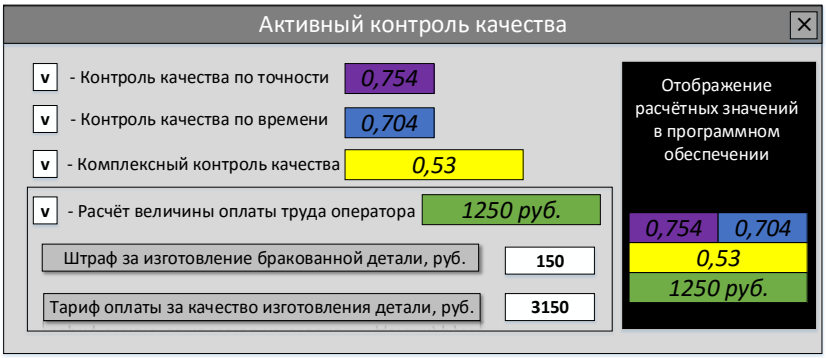


Рисунок 3. 21 – Диалоговое окно выбора параметров функции «Активный контроль качества»

3. При включении наладки «Контроль качества по точности» (см. Рисунок 3. 21) происходит считывание информации из файла-задания в одноимённый файл с расширением *.qlt, например, в табличном виде (см. Таблица 3. 21) в столбцы (3) – (5). На базе этой информации рассчитываются теоретические параметры полей допусков поверхностей детали по формулам (3.28) – (3.31). Данная информация вносится в столбцы (6) – (9) той же таблицы.

$$IT = (esP - eiP)\,, \tag{3.28}$$

$$P_{min} = P_{i\,\text{теор}} + eiP\,, \tag{3.29}$$

$$P_{max} = P_{i\,\text{теор}} + esP\,, \tag{3.30}$$

$$P_{\text{ср}} = (P_{max} + P_{min})/2\,, \tag{3.31}$$

где $P_{i\,\text{теор}}$ – теоретическое значение i-го номинального размера по чертежу; eiP – нижнее предельное отклонение размера (отступ красной линии отклонения); esP – верхнее предельное отклонение размера (отступ жёлтой лини отклонения); ITP – допуск на i-й параметр; $\bar{P}$, P_{min} и P_{max} – среднее, минимальное и максимальное значение i-го параметра; $P_{i\,\text{факт}}$ – фактическое значение параметра, полученное в технологическом процессе.

Таблица 3. 21 – Пример табличного представления теоретических и фактических значений параметров точности при обработке детали

№ раз-мера	Теоретические (заданные на чертеже) и расчётные параметры								Фактические параметры	
	Обозна-чение	$P_{i\,\text{теор}}$	eiP	esP	ITP	$P_{min.}$	$P_{max.}$	$P_{\text{ср.}}$,	$P_{i\,\text{факт}}$	$k_{i\,IT}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ø76H8	76	0	0,046	0,046	76	76,046	76,023	76,03	0,923
2	Ø82	82	0	0,87	0,87	82	82,87	82,435	82,1	0,51
.	.	.	.	.	.			.	.	.
.	.	.	.	.	.			.	.	.
n	Ø153f9	153	-0,043	-0,143	0,1	152,957	152,857	152,907	152,95	0,389

4. При включении наладки «Контроль качества по времени» (см. Рисунок 3. 21) исходная информация считывается из файла с расширением *.qlt, содержащего время выполнения переходов. Информация о времени выполнения переходов задаётся при записи программы-наставника (файла с расширением *.prg), в режиме «С записью». Во время записи обработки появляются дополнительные кнопки и поля, позволяющие запускать счётчик времени выполнения перехода и указывать допуск на него в процентах (см.

Рисунок 3. 22). Данный счётчик позволяет оператору фиксировать в процессе записи эталонной обработки время выполнения действий нескольких кадров, которые реализуют переход. Пользователь сам выбирает, когда начать запись, когда её остановить. Данное время должно ассоциироваться с командами программы-наставника и вписывать файл с расширением *.qlt, например, в табличном виде (см. Таблица 3. 22) в столбцы (3) и (4). Теоретические параметры рассчитываются по формулам (3.32) и (3.33) и вносятся в столбцы (5) и (6) той же таблицы.

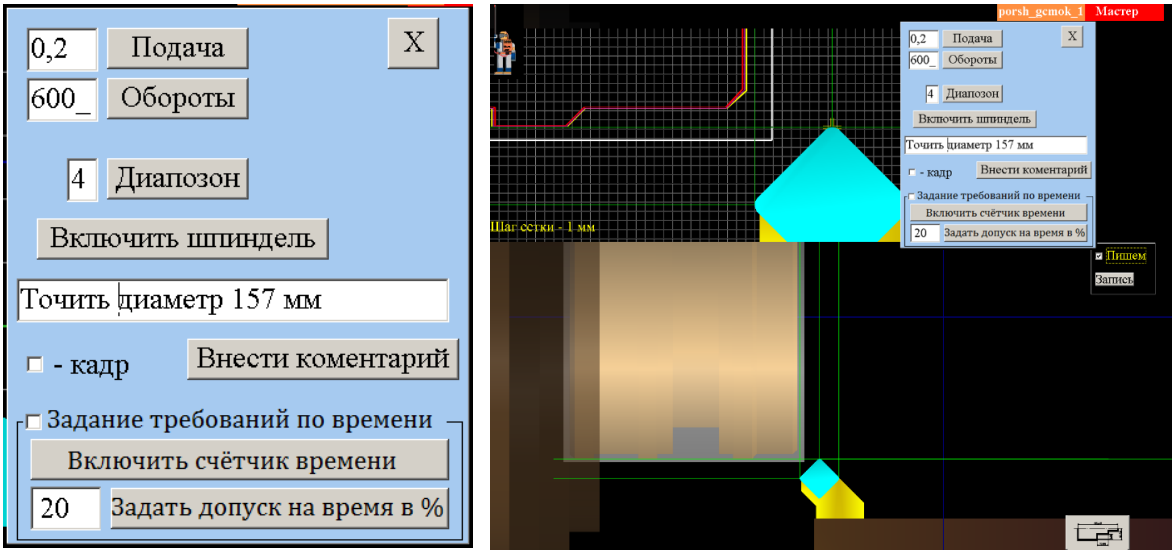


Рисунок 3. 22 – Пункт меню для задания требований по времени обработки, реализованная в режиме «С записью»

$$IT_{t\text{шт}} = t_{i\ \text{теор.}} * IT_{\%\ t_{\text{шт.}}} = t_{i\ min.} * IT_{\%\ t_{\text{шт.}}} \quad (3.32)$$

$$t_{max\ \text{шт.}} = t_{i\ min.} + IT_{t\text{шт}} \quad (3.33)$$

где $IT_{\%\ t_{\text{шт.}}}$ – величина допуска на i-е штучное время, выраженное в процентах; $IT t_{\text{шт.}}$ – допуск на i-е штучное время, выраженное в минутах; $t_{i\ \text{шт.теор}}$ – значение штучного времени выполнения перехода, полученное при записи технологического процесса в режиме «С записью»; $t_{min\ \text{шт.}}$ и $t_{max\ \text{шт.}}$ – минимальное и максимальное значения i-го штучного времени в технологическом процессе при соблюдении регламента, определяемое через допуск.

5. После того, когда имеется базовая информация для контроля качества по точности и времени, записана программа-наставник, в режиме «Наставник» возможна обработка с оперативным контролем качества.

Таблица 3. 22 – Пример табличного представления теоретических и фактических значений времени выполнения переходов при обработке детали

№ перехода (набора кадров)	Краткое описание перехода	Теоретические (нормативные) и расчётные показатели времени, мин.				Фактические показатели времени, мин.	
		$t_{i\ \text{шт.теор}} = t_{min\ \text{шт.}}$	$IT_{\%\ t_{\text{шт.}}}$	$IT_{t_{\text{шт.}}\cdot}$ мин.	$t_{max\ \text{шт.}}$	$t_{i\ \text{шт.факт}}$	$k_{i\ \text{шт.факт}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Черновая подрезка торца на размер 101,4±IT14/2 мм; Ra12,5	0,48	20	0,17	0,65	0,59	0,70
2	Черновое точение на диаметр Ø158,66h14 мм; длину 81,2±IT14/2 и Ra12,5	2,00	40	0,71	2,70	2,60	0,46
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
n	Черновое точение наружной канавки шириной 38±IT14/2 мм на диаметр Ø154,66h14 мм и Ra12,5	0,94	30	0,33	1,27	1,19	0,57

6. В процессе обработки детали, фактические данные по точности вносятся в столбец (10) (Таблица 3. 21), и по времени в столбец (7) (Таблица 3. 22), после чего рассчитываются единичные показатели качества по формулам (3.22) – (3.25). Назначение поверхности указывается при создании файла-задания. Полученные единичные показатели качества по точности вносятся в столбец (11) (Таблица 3. 21) и по времени в столбец (8) (Таблица 3. 22).

7. Для комплексной оценки качества изготовления детали необходимо включить функцию «Комплексный контроль качества» которая становится доступной при включении функций «Контроль качества по точности» и «Контроль качества по времени» (см. Рисунок 3. 21). Фактическое значение качества изготовления детали рассчитывается по формуле (3.26), а результат вносится в файл с расширением *.qlt, например, в табличном виде (см. Таблица 3. 23) в столбец (3) и выводится на дисплей ИКСУ (Рисунок 3. 20).

Таблица 3. 23 – Значение параметра качества выполнения технологического процесса механической обработки и тарифов оплаты труда оператора

Параметр качества	Значение комплексного показателя качества параметра	Значение комплексного параметра качества выполнения ТП	Штраф за изготовление бракованной детали, руб.	Тариф оплаты за качество изготовления детали, руб.	Стоимостная оценка выполненной работы, руб.
1	2	3	4	5	6
Точность	0,754	0,530	150,00	3150	1520
Время	0,704				

8. Для расчёта величины размера оплаты труда необходимо в диалоговом окне «Активный контроль качества» поставить галочку в поле «Расчёт величины оплаты труда» и ввести значение «Штрафа за изготовление бракованной детали» и «Тарифа оплаты за качество изготовления детали» в соответствующие поля (см. Рисунок 3. 21). После введения значений и нажатии соответствующих кнопок, данные вносятся в столбцы (4) и (5) (Таблица 3. 23). Далее по формуле (3.27) вычисляется величина оплаты труда, которая затем выводится на дисплей ИКСУ (см. Рисунок 3. 20).

9. При начале обработки уровень качества по точности равен нулю, а по времени рассчитывается по ходу выполнения программы-наставника. Соответственно комплексный уровень качества равен нулю. Когда оператор дошёл до этапа чистовой обработки и вошёл в поле допуска первой поверхности уровень качества по точности становится отличным от нуля, при этом рассчитывается комплексный уровень качества. При контроле единичных показателей, учитываются только те, которые описывают уже обработанные поверхности.

10. По аналогии при дальнейшей обработке рассчитываются единичные показатели качества по другим обработанным поверхностям. По ходу выполнения дальнейшей обработки комплексный уровень качества уточняется за счёт включения в его расчёт единичных уровней качества последних обработанных поверхностей.

11. По полученному показателю уровня качества изготовления детали, если заранее заданы тарифы оплаты труда см. Рисунок 3. 21, рассчитывается фактическое значение уровня оплаты труда. Этот уровень изменяется в зависимости от уровня уточняемого уровня качества. В случае возникновения брака фиксируется штраф, который потом в дальнейшем будет вычитаться итоговой заработной платы оператора. Это позволяет повысить их мотивацию и максимально исключить возникновение брака.

3.4. Выводы по главе

1. Анализ особенностей работы традиционных типов станочных систем (универсальных станков и станков с ЧПУ), выявил несоответствие их ряду сформулированных требований, предъявляемых к станочному оборудованию в ремонтном производстве для изготовления запасных частей (ЗЧ), используемых при ремонте погрузочно-доставочных машин (ПДМ) на ОАО «Апатит».
2. В качестве станочного оборудования производственных модулей ремонтно-механических участков для изготовления ЗЧ ПДМ предложено использовать универсальные станки, модернизированные интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ), образующие новый тип станочной системы.
3. На основе полупромышленного экспериментального стенда проанализированы принцип работы и функциональные возможности универсальных станков с ИКСУ и выявлены показатели качества, применяемые для обоснования эффективности их применения при «самообеспечении» ПДМ ЗЧ.
4. В результате исследований технологических показателей, обеспечиваемых фактически на полупромышленном экспериментальном стенде выявлено, что точность изготовления для диаметральных размеров деталей повысилась на 65%, а штучное время сократилось до 2-х раз.
5. Установлены зависимости процента брака от класса точности обрабатываемых деталей, анализ которых показал, что даже в условиях низкой квалификации обслуживания оператором станка при обработке диаметральных поверхностей с одинаковой точностью до 9 квалитета процент брака не превышает 1%.
6. Разработана метод комплексной оценки качества технологического процесса изготовления ЗЧ и формат её реализации на универсальных станках с ИКСУ. Данный метод учитывает точность, время и процент брака при изготовлении деталей и позволяет оценить эффективность работы и размер оплаты оператора станка с ИКСУ, в ходе выполнения им технологического процесса.

ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ САМООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ ПОГРУЗОЧНО-ДОСТАВОЧНЫХ МАШИН

4.1. Роль технологии оперативного изготовления запасных частей в системе технического обслуживания и ремонта погрузочно-доставочных машин

4.1.1. Место технологии оперативного изготовления запасных частей в структуре системы технического обслуживания и ремонта

На сегодняшний день структура и состав системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и входящей в неё подсистемы снабжения запасными частями (ЗЧ) на различных горных предприятиях отличается и зависит от разных параметров, начиная от вида обслуживаемых средств механизации, заканчивая территориальным расположением образующих предприятие подразделений (рудников, карьеров, обогатительных фабрик и т. д). Рассмотрим централизованную трёхуровневую систему ТОиР погрузочно-доставочных машин (ПДМ), входящих в состав парка подземной самоходной техники ОАО «Апатит» (см. Рисунок 4. 1).

Рисунок 4. 1 – Графическая модель 3-х уровневой системы ТОиР парка ПДМ на предприятии ОАО «Апатит»

Одной из важнейших задач системы ТОиР является своевременное и надёжное снабжение ПДМ исправными агрегатами и ЗЧ, необходимыми для восстановления их работоспособного состояния. Такой метод ремонта называется сменно-узловым и широко применяется при ремонте ПДМ для повышения оперативности их проведения. Неисправные агрегаты при этом восстанавливаются путём замены или восстановления отказавших их деталей и после ремонта пополняют текущий запас. Текущий запас агрегатов, служит для безотказного выживания системы в течение времени пополнения запаса и хранится в непосредственной близости от места эксплуатации парка ПДМ на складе [85].

Как показал анализ, выполненный в Главе 1 на предприятиях при ремонте задействованы механические отделения ремонтно-механических участков (РМУ), которые исходя из своих технических и кадровых возможностей обеспечивают малую долю потребностей ПДМ в ЗЧ по причине несовершенства технологии и дефицита квалифицированных специалистов. Однако, повысив уровень технологи изготовления деталей агрегатов ПДМ можно увеличить объёмы и номенклатуру изготавливаемых ЗЧ. Выполняя самообеспечение ЗЧ агрегатов на данном уровне, пропадает необходимость по программе выпуска ЗЧ, задействовать в снабжении ПДМ структуры системы снабжения ТОиР. Это сокращает цикл и время доставки необходимого агрегата к месту эксплуатации и снижает расходы на ремонт ПДМ.

С учётом того, что оперативная технология изготовления ЗЧ ориентирована на простые детали и обладает высокой гибкостью, то она предназначена, в первую очередь, для применения соответственно при ежемесячных (РО), текущих (ТР) и аварийных (АР) ремонтах (текущих) ПДМ. Данные виды ремонтов выполняются в РМУ вблизи к месту эксплуатации. Оперативное восстановление агрегатов будет способствовать сокращению их запасов и повышению надёжности обслуживания ПДМ. В свою очередь капитальные ремонты (КР) ПДМ целесообразнее проводить в ремонтно-механических цехах (РМЦ), обеспечивая их агрегатами, произведенными по заранее установленной во время всего ремонтного цикла номенклатуре ЗЧ. Данная программа может являться частью программы выпуска РМЦ, производство которой выполняется с применением технологий,

ориентированных на серийный выпуск продукции. Серия будет формироваться за счёт того, что РМЦ осуществляет ремонты ПДМ, одинаковых моделей, эксплуатируемых в рамках производственных мощностей данного региона. Описана схема логистики процесса снабжения системы ТОиР ПДМ на ОАО «Апатит» (см. Рисунок 4. 2). Однако, потребности ЗЧ при РО, ТР и АР (текущих) имеют большую неопределённость и требует быстрого реагирования системы снабжения. Для своевременного и качественного их проведения огромное значение имеет гибкость системы обеспечения ЗЧ. На сегодняшний день на ОАО «Апатит» снабжение данных видов ремонта идёт, преимущественно, из складских запасов и очень редко силами механических отделений РМУ. Это либо увеличивает длительность ремонтов, либо затраты на их проведение из-за необходимости хранения большого объёма ЗЧ. Данные проблемы могут быть решены за счёт производства определённой группы ЗЧ, отбираемых по разработанному алгоритму (см. Рисунок 2. 4 и Рисунок 2. 5) производственным модулях РМУ ОАО «Апатит» по технологии, соответствующей сформулированным в Главе 2 требованиям.

Предлагаемая технология оперативного изготовления ЗЧ хорошо дополняет широко применяемую на ОАО «Апатит» и др. горнодобывающих предприятиях систему планово-предупредительных ремонтов (ППР). Однако, как показал многолетний опыт проведения ППР, данная система не совершена по определённому ряду причин.

Анализ работ [17, 88, 89, 90] показал, что в последнее время для повышения эффективности выполнения мероприятий по ТОиР на предприятиях широко применяют информационные технологии, на основе которых наблюдается две тенденции. К первой из них относится *применение средств неразрушающего контроля для диагностики и мониторинга состояния ПДМ*, которая лежит в основе *ремонта по их фактическому состоянию*. Ко второй относится *применение автоматизированных систем управления системой ТОиР* для повышения эффективности планирования, контроля и управления ППР ПДМ. Проанализируем кратко данные тенденции на ОАО «Апатит» и то, каким образом в них вписывается предлагаемая нами технология оперативного изготовления ЗЧ ПДМ.

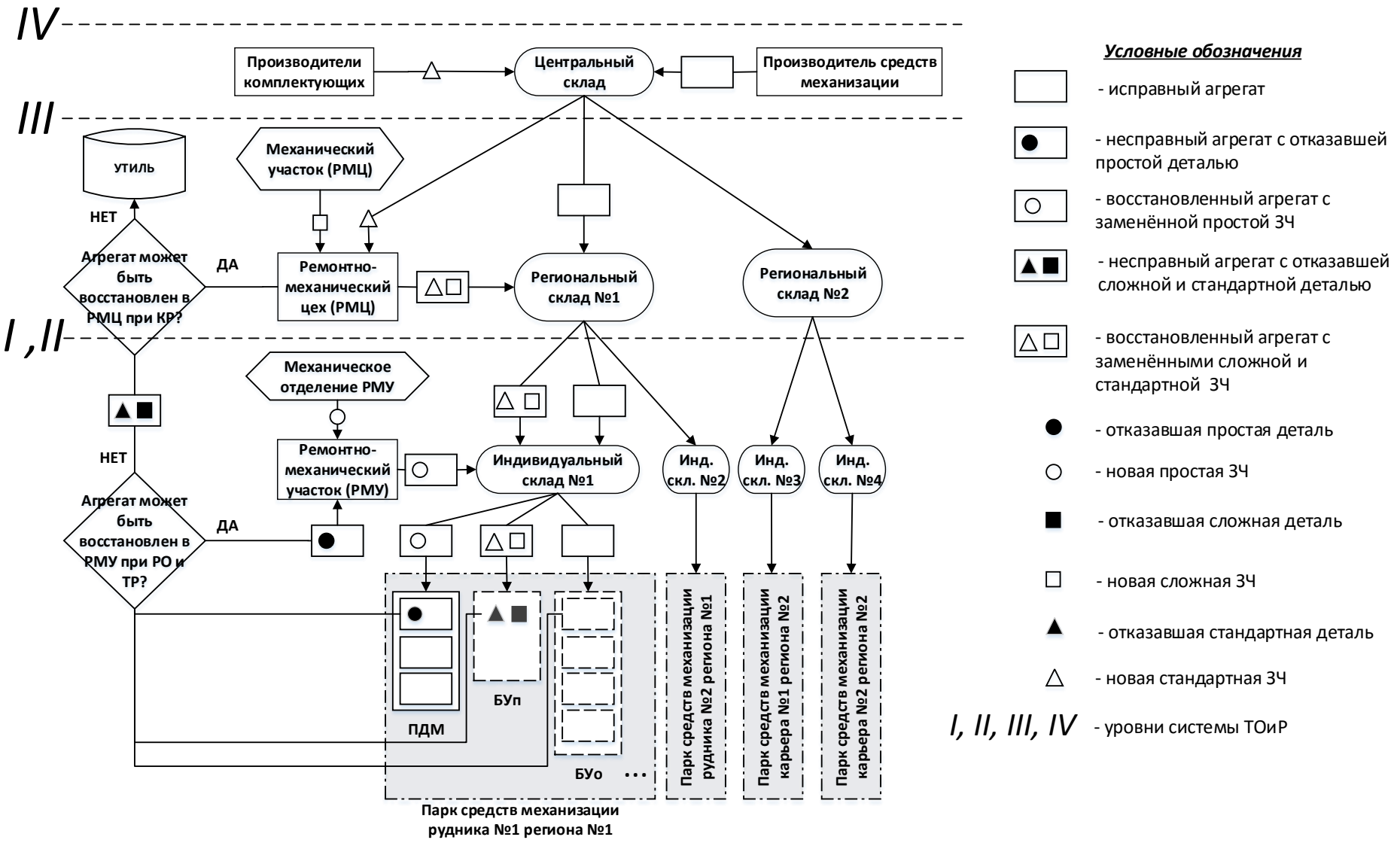


Рисунок 4. 2 – Блок-схема логистического процесса сменно-узлового ремонта при выполнении мероприятий по ТОиР парка средств механизации территориально распределённого комбината ОАО «Апатит» и места в ней системы ремонта ПДМ *(БУп и БУо соответственно, проходческие и очистные буровые установки)*

4.1.2. Пути повышения эффективности самообеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин за счёт совершенствования системы их ТОиР

В настоящее время на ОАО «Апатит» для поддержания работоспособного состояния погрузочно-доставочных машин (ПДМ) применяется смешанная система технического обслуживания и ремонта (ТОиР), включающая в себя [91]:

- реактивное (РТО) – ремонт и замена запасных частей (ЗЧ) производится в случае выхода из строя ПДМ или выработки ими ресурса;
- планово-предупредительный ремонт (ППР), который производится ранее среднестатистического отказа ПДМ с заданной вероятностью;
- обслуживание ПДМ по фактическому состоянию (ОФС);

На сегодняшний день в ОАО «Апатит» основной акцент делается на ППР, графики проведения которых предоставляют производители ПДМ. При её широком применении существует высокая вероятность выполнения большого объема работ по обслуживанию бездефектных ПДМ, состояние которых на момент проведения ППР не требует ремонта, но обслуживается с целью гарантировать заданную вероятность безотказной работы в межремонтный интервал. Как показывает практика, ППР не сокращает частоту выхода из строя ПДМ, а приводит к снижению уровня надёжности и росту затрат на проведение ремонтов, особенно в плане закупки и содержания не нужных ЗЧ. Для минимизации этой негативной тенденции, в системе ТОиР ПДМ необходимо делать больший акцент на ОФС.

Для самообеспечения ЗЧ по принципу «точно вовремя» ПДМ и др. средств механизации на ОАО «Апатит», необходимо, чтобы система ТОиР соответствовала второму из сформулированных в п. 2.2.4 требований. Его суть заключается в возможности оперативно оценить фактическое состояние ПДМ, определить место возникновения неисправности или дефекта, выполнить наблюдение за его изменением во времени и прогнозировать дальнейшее развитие с целью предсказания момента возникновения отказа, для своевременного его устранения. Это и является сутью ОФС.

Идея ОФС состоит в минимизации отказов путем применения методов (диагностики и мониторинга) и средств (контрольно-измерительной аппаратуры) отслеживания и распознавания технического состояния агрегатов ПДМ по совокупности их эксплуатационных характеристик. По результатам анализа технических параметров агрегатов ПДМ, определяется необходимость проведения мероприятий по ТОиР и планируются сроки и объемы их проведения [91].

Для обработки огромного количества диагностируемой информации применяют специальное программное обеспечение (ПО). Данное ПО предназначено для хранения, систематизации и анализа диагностической информации, а также позволяет создавать диагностическую модель обследуемого объекта, составлять алгоритмы его диагностики, выполнять обработку данных и прогнозировать тенденции их развития. Зная фактический тренд изменения диагностируемого параметра, уровень его предельного значения и время изготовление ЗЧ для ПДМ, заранее можно спрогнозировать момент подачи сигнала на изготовление ЗЧ. В итоге к моменту возникновения потребности в ЗЧ, при отказе диагностируемого агрегата ПДМ, необходимый комплект ЗЧ будет находиться на ремонтной базе «точно вовремя». При этом нет необходимости держать большой объём ЗЧ на складах, рассчитанный на спрос за время комплектования заказа, подачи заявки, её выполнения и поставки от производителя ПДМ, особенно в случае его зарубежного расположения, что актуально для ПДМ.

Ещё одной особенностью ПО для хранения и обработки диагностируемой информации, является возможность прямого взаимодействие с информационными системами управления (ИСУ) ТОиР в рамках *концепции CALS-технологии*. *CALS*[21] *(Continuous Acquisition and Life cycle Support*) – концепция, объединяющая принципы и технологии информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) продукции на всех его стадиях. Концепция ИПИ основана на использовании интегрированной информационной среды ИИС[22] и обеспечивает единообразные способы управления процессами взаимодействия посредством электронного

[21] Далее по тексту будет использоваться аббревиатура русскоязычной формулировки понятия CALS – информационная поддержка процессов жизненного цикла изделий (ИПИ).

[22] Русскоязычная формулировка понятия ИИС – единое информационное пространство (ЕИП).

обмена данными всех участников ЖЦ: заказчиков и производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала [92, 93]. ИИС является ядром ИПИ и представляет собой совокупность распределенных баз данных, содержащих сведения об изделиях, производственной среде, ресурсах и процессах предприятия, которые образуют интегрированные информационные модели продукции и процессов. Они являются единым источником информации об изделии, что позволяет любому участнику его ЖЦ получать для обработки в нужное время, в нужном виде и в конкретном месте необходимую информацию в соответствии с правами доступа к ней.

Затраты, возникающие на постпроизводственных стадиях ЖЦ ПДМ и связанные с поддержанием их работоспособного состояния за весь период эксплуатации, могут быть равны затратам на приобретение или в несколько раз их превышать [17 – 19]. Для их снижения и повышения эффективности эксплуатации ПДМ на горных предприятиях применяются ИСУ ТОиР. ИСУ ТОиР могут быть связаны через ИИС с другими участниками ЖЦ ПДМ для выполнения комплекса мероприятий, объединённых понятием «Интегрированная логистическая поддержка» (ИЛП). ИЛП предназначена для регламентированного подхода к организации ЖЦ потребителя и поставщика изделия с целью обеспечить простоту и дешевизну их эксплуатации и поддержки. Она включает логистический анализ, планирование ТОиР, интегрированные процедуры поддержки материально-технического обеспечения, меры по обеспечению персонала электронной эксплуатационной и ремонтной документацией (интерактивными электронными техническими руководствами) [96, 97].

Практика показывает, что для автоматизации управления ТОиР ПДМ применяют два подхода к внедрению ИСУ ТОиР [89]:

Первый подход: используется несколько программных продуктов, каждый из которых автоматизирует свою сферу деятельности. Этому подходу соответствуют *EAM-системы*[23], разработанные специально для управления процессами ТОиР.

[23] *Информационные системы управления основными фондами EAM (Enterprise Asset Management)* — специально класс систем, позволяющий эффективно управлять, в том числе ТОиР средств механизации. EAM-системы имеют глубокую функциональность в области ТОиР, но не всегда обладают требуемой полнотой в области горизонтальной интеграции с другими системами, касающимися иных сфер деятельности предприятия.

Второй подход: для автоматизации всех служб предприятия используется один универсальный программный продукт. Данному подходу соответствуют *ERP-системы*[24], в составе крупнейших из которых имеются модули управления ТОиР.

Для наглядности описания информационного взаимодействия участников системы ТОиР ПДМ по фактическому состоянию и определения места алгоритма формирования программы выпуска см. Рисунок 2. 4 и Рисунок 2. 5 (сущность блока условия «Эффективно производить ЗЧ на месте») и технологии оперативного самообеспечения ЗЧ в ней разработана схема см. Рисунок 4. 3. Применение универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления, позволяет через информационные каналы связи управлять производством ЗЧ.

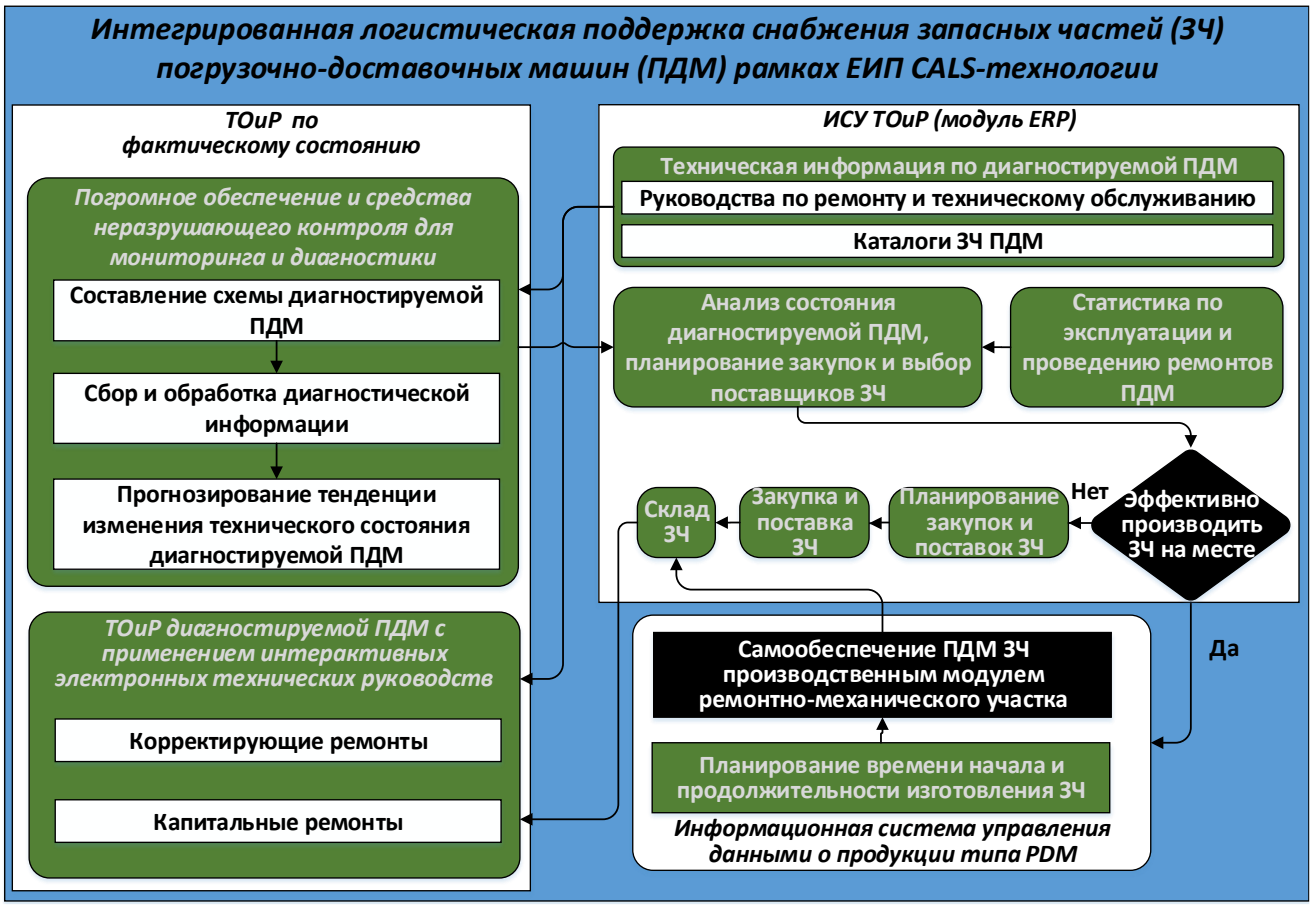


Рисунок 4. 3 - Схема информационного взаимодействия участников систем снабжения ЗЧ и ТОиР по фактическому состоянию и место в нём технологии изготовления ЗЧ для ПДМ

[24] *Модули ТОиР в ERP-системах (Enterprise Resource Planning — управление ресурсами предприятия)*. В таких системах функционал по моделированию сложных средств механизации, его ТОиР представлен в меньшем по сравнению с EAM-системами объеме, но, что очень важно для средних и крупных промышленных предприятий, этот функционал интегрирован со всеми модулями ERP-системы.

4.2. Математическая модель, устанавливающая взаимосвязь качества изготовления запасных частей с коэффициентом готовности

4.2.1. Определение целевой функции для оценки эффективности оперативного обеспечения запасными частями ремонта погрузочно-доставочных машин

Для оценки эффективности применения новой технологии оперативного изготовления запасных частей (ЗЧ), ограничим рассматриваемую задачу. С целю упрощения анализа и подбора математической модели, рассмотрим алгоритм работы 1-го и 2-го уровня системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) ОАО «Апатит» см. Рисунок 4. 4.

Рисунок 4. 4 – Блок-схема сменно-узлового ремонта ПДМ с изготовлением ЗЧ в ПМ РМУ имеющей зоны с циклами (А – сменно-узлового ремонта ПДМ с восстановлением неисправных агрегатов и В – поддержание текущего запаса ЗЧ агрегатов ПМ РМУ), где: *1 и 2 – ПДМ с отказавшим и восстановленным агрегатом; 3, 4 и 5 – отказавший, восстановленный и новый агрегаты ПДМ и 6 и 7 –отказавшая и новая детали агрегатов ПДМ*

Сформулируем цель, которая преследуется при внедрении новой технологии изготовления ЗЧ в структуру ТОиР. *Каким образом следует строить систему*

ТОиР, чтобы дольше сохранить работоспособность ПДМ при минимальных производственных потерях? В качестве *критерия эффективности* для оценки степени достижения выдвинутой цели нами принят *коэффициент готовности* $K_{\text{г}}$. Для упрощения задачи, рассмотрим коэффициент готовности ПДМ связанный только с возможными отказами j-й детали i-го агрегата и обозначим его как $K_{\text{г}ij}$ По своей сути $K_{\text{г}ij}$ это вероятность того, что в произвольно выбранный единичный интервал времени t любая наугад взятая ПДМ окажется в работоспособном состоянии $P_{\text{рсп }ij}$ относительно её j-ой детали i-го агрегата т.е. из-за отказа j-ой детали i-го агрегата в ремонте не будет ни одной ПДМ $P_0(t) = P_{\text{рсп }ij} = K_{\text{г}ij}$.

Суммарные производственные потери $C_{\text{сум}ij}$ при снабжении ПДМ j-ми ЗЧ i-го агрегата, при которых обеспечивается максимальный $K_{\text{г}ij}$, будут складываться из затрат на их снабжение и потерь от простоев ПДМ при выполнении ремонта. Обозначим C_{Aij} и C_{Bij} потери в контурах A и B соответственно (см. Рисунок 4. 4). Так как контуры A и B имеют общий текущий запас ЗЧ, то суммарные потери $C_{\text{сум}ij}$ помимо затрат на приобретение агрегатов и потерь от простоев ПДМ в ремонте за время T будут включать потери $C_{Bij} = Z\left(R_{ij}^*\right) \cdot T$, где $Z(R_{ij}^*)$ средние минимальные удельные затраты на снабжение j-ой ЗЧ i-го агрегата, рассчитываемые для различных логистических вариантов по формулам (2.21) при снабжении ЗЧ внешними источниками и (2.22) при самообеспечении ЗЧ. Потери C_{Bij} учитывают простои ПДМ, вызванные дефицитом j-ой ЗЧ i-го агрегата в текущем запасе. Формула для расчёта $C_{\text{сум}ij}$ обеспечивающих максимальный $K_{\text{г}ij}$ примет вид

$$C_{\text{сум}ij} = C_{Aij} + C_{Bij} = C_{\text{а}i} \cdot n_i + \left(Z\left(R_{ij}^*\right) + C_{\text{пр.маш.}} \cdot P_{\text{отк.}ij}\right) \cdot T_{\text{ам.а}i}\,, \qquad (4.1)$$

где $C_{\text{а}i}$ – стоимость i-го агрегата; n_i – количество i-ых агрегатов (в запасе на складе); $C_{\text{пр.маш.}} = \hat{\xi}$ – стоимость потерь от простоя одной ПДМ в ожидании ремонта в единицу времени, рассчитывается по формуле (2.18); $P_{\text{отк.}ij} = 1 - K_{\text{г}ij}$ – вероятность отказа i-го агрегата ПДМ из-за j-ой детали; $T_{\text{ам.а.}i}$ – время амортизации i-го агрегата.

В итоге, целевую функцию можно представить в следующем общем виде

$$\begin{cases} K_{\text{г}ij} = P_{0ij}(t) \;\rightarrow \boldsymbol{max}, \\ C_{\text{сум}ij} = C_{\text{а}i} \cdot n_i + \left(Z\left(R_{ij}^*\right) + \text{С}_{\text{конц.}} Q_{\text{экс}} n_{\text{см}} T_{\text{см}} K_{T_{\text{м}}} K_{\text{ср.сод.конц}} \cdot \left(1 - K_{\text{г}ij}\right)\right) \cdot T_{\text{ам.а}i} \;\rightarrow \boldsymbol{min} \end{cases} \qquad (4.2)$$

Параметры $P_{0ij}(t)$ и n_i являются характеристиками системы ТОиР. Они зависят от её пропускной способности, особенностей обслуживания ПДМ и рассчитываются с применением формул теории массового обслуживания.

4.2.2. Описание потока отказов погрузочно-доставочных машин и пропускной способности системы обслуживания при сменно-узловом ремонте

Определим характеристики системы технического обслуживания и ремонта при сменно-узловом ремонте погрузочно-доставочных машин (ПДМ) с использованием аппарата теории массового обслуживания [98, 99]. Опишем входящий поток заявок на ремонт. Примем *допущение*, что *число отказов ПДМ, вызванных поломкой i-го агрегата при отказе j-й детали, попадающих на интервал времени t, распределено по закону Пуассона* с математическим ожиданием $a_{ij} = \lambda_{\text{пдм}ij} \cdot t$, где $\lambda_{\text{пдм}ij}$ – плотность потока отказов ПДМ из-за поломки j-й детали i-го агрегата. Тогда, вероятность того, что за время t, произойдёт k отказов, равна

$$P_k(t) = \left(\lambda_{\text{пдм}ij} \cdot t\right)^k / k! \cdot e^{-\lambda_{\text{пдм}ij} \cdot t} . \qquad (4.3)$$

За неимением достаточного количества информации по отказам ЗЧ, и для упрощения задачи рассмотрим интенсивность отказов ПДМ, вызванную выходом из стоя j-ой детали i-ого агрегата – $\lambda_{\text{пдм}ij}$. Примем *допущение*, что *отказ любой детали агрегата, приводит к его отказу, а отказ агрегата, к отказу ПДМ* (достаточно распространённая ситуация). Интенсивность отказов $\lambda_{\text{пдм}ij}$ вычислим по j-му наименованию ЗЧ к i-му агрегата, заказываемому системой снабжения в течении промежутка времени t. Таким образом, если из исходной номенклатуры ЗЧ выбрать j-е ЗЧ для рассматриваемого i-го наименования агрегата, то интенсивность отказов $\lambda_{\text{пдм}ij}$ можно определить по следующей формуле

$$\lambda_{\text{пдм}ij} = \lambda_{\text{а}ij} = \lambda_{\text{д}ij} = \left(k_{\text{откл}.ij} \cdot z_{\text{отк.д}.ij}\right) / \left(t \cdot z_{\text{испр.д}.ij}\right) , \qquad (4.4)$$

где $\lambda_{\text{а}ij} = \lambda_{\text{д}ij}$ интенсивности отказов i-го агрегата и j-й детали соответственно (допущение); $k_{\text{откл}.ij}$ – коэффициент отклонения интенсивности спроса на ЗЧ от интенсивности отказов j-й детали i-го агрегата; $z_{\text{отк.д}.ij}$ и $z_{\text{испр.д}.ij}$ – количество отказавших и исправно работающих j-х деталей в i-ом агрегате за время t.

Эффективность системы ТОиР характеризуется пропускной способностью, т.е. средним числом заявок, которое система может обслуживать в единицу времени. Пропускная способность зависит от числа n_i и производительности каналов обслуживания (в нашем случае, агрегатов) в единицу времени. Важнейшей

величиной, оценивающей производительность обслуживания агрегата, является время обслуживания одной заявки $T_{\text{об.пдм}ij}$ вызванной отказом j-ой детали i-го агрегата, равно времени ремонта агрегата $t_{\text{рем.пдм}ij}$ и рассчитывается по формуле

$$T_{\text{об.пдм}ij} = t_{\text{рем.пдм}ij} = t_{\text{дем.а}i} + t_{\text{вост.а}ij} + t_{\text{дост.а.}i} + t_{\text{уст.а}i}\,, \qquad (4.5)$$

где $t_{\text{дем.а}i}$ – время демонтажа, отказавшего i-го агрегата; $t_{\text{вост.а}ij}$ – время восстановления i-го агрегата ПДМ путём замены j-й ЗЧ; $t_{\text{дост.а}i}$ – время доставки нового или восстановленного i-го агрегата ПДМ с индивидуального склада; $t_{\text{уст.а}i}$ – время установки исправного i-го агрегата в ПДМ.

Для упрощения вывода формул и расчётов в работе [99] *принято допущение, что при наличии исправного агрегата ремонт ПДМ выполняется мгновенно*. Восстановление i-го агрегата заключается в замене отказавших j-ой деталей новой ЗЧ по разработанному алгоритму (см. Рисунок 4. 4). В итоге, время восстановления, i-го агрегата из-за отказа j-ой детали можно определить по следующей формуле

$$t_{\text{вост.а}ij} = t_{\text{разб.а}i} + t_{\text{деф.а}i} + t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} + t_{\text{дост.д}i} + t_{\text{сб.а.}i} + t_{\text{пров.а.}i}, \qquad (4.6)$$

где $t_{\text{разб.а}i}$ и $t_{\text{деф.а.}i}$ – время разборки и дефектации деталей i-го неисправного агрегата; $t_{\text{ср.д. }ij\text{ в сист.}}$ – среднее время нахождение заявки в системе снабжения при устранении отказа j-ой детали в i-ом агрегате ПДМ; $t_{\text{дост.д}ij}$ – время доставки новой ЗЧ для i-го агрегата из индивидуального склада; $t_{\text{сб.а}i}$ – время сборки i-го агрегата с новыми ЗЧ; $t_{\text{пров.а}i}$ – время проверки восстановленного i-го агрегата.

Время замены отказавших деталей агрегата на новые ЗЧ из индивидуального склада зависит от производительности его работы. Так как по мере израсходования текущего запаса его необходимо пополнять, то производительность системы будет завесить от объёма запаса и производительности источника пополнения.

Поддержание уровня текущего запаса можно представить, как систему массового обслуживания (СМО) с ожиданием. Ранее в Главе 2 данная система уже рассматривалась для определения оптимального уровня текущего запаса R_{ij}^{*}. Здесь, оценим вероятности состояний системы для определения показателей её работы.

Разработана графическая схема модели СМО, описывающая её работу в *контуре В* (Рисунок 4. 4) при поддержании уровня текущего запаса j-ой ЗЧ i-го агрегата ПДМ производственным модулем (ПМ) ремонтно-механического участка (РМУ) см. Рисунок 4. 5.

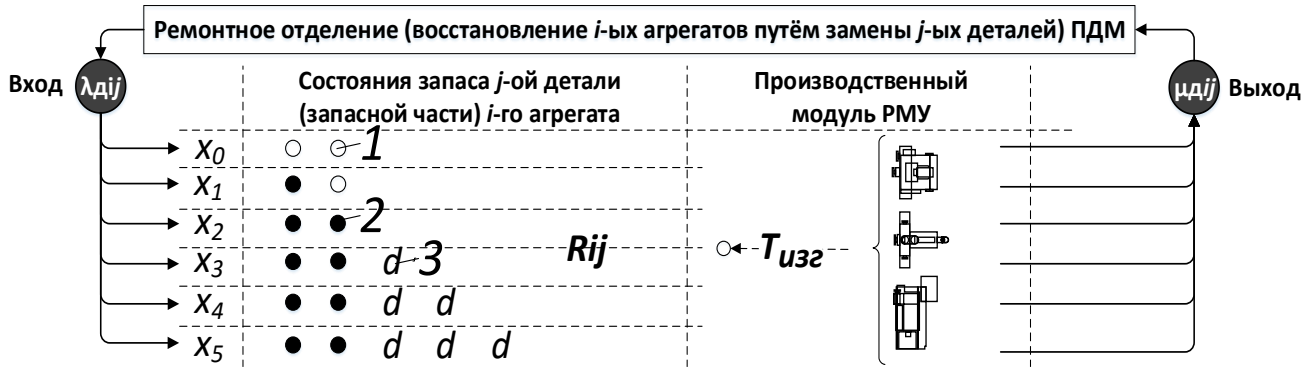


Рисунок 4. 5 – Схема СМО поддержания уровня текущего запаса *j*-ой детали *i*-го агрегата ПМ РМУ (цикла В): *состояние запаса j-ых ЗЧ i-го агрегата: 1 – имеется в наличии на складе, 2 – требует пополнения; 3 – вызвано дефицитом*

Для упрощения анализа и расчётов *примем допущения о пуассоновском распределении потока обслуживания j-х деталей i-х агрегатов ПДМ (поставок или изготовления ЗЧ) с параметром* $\mu_{\text{д}ij}$. Принятые допущения позволяют оценить вероятности состояний СМО *цикла В* (Рисунок 4. 4) с использованием цепей Маркова. Если процесс обслуживания осуществляется одним ПМ по одной ЗЧ, формулы для расчёта вероятностей будут идентичны СМО, с постоянным временем поставки (изготовления). В соответствии с [25] вероятности состояний не зависят от распределения времени поставки, если времена поставок независимы.

Входящим потоком в данной СМО, является поток отказов j-х деталей i-х агрегатов с интенсивностью $\lambda_{\text{д}ij} = 1/t_{\text{отк.д}ij}$, где $t_{\text{отк.д}ij}$ – наработка на отказ j-ой детали i-х агрегатов. Интенсивность пополнения текущего запаса j-х ЗЧ i-х агрегатов $\mu_{\text{д}ij} = 1/t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}}$ при самообеспечении ПМ РМУ. При этом СМО может находиться в одном из состояний: x_0 – запас не требует пополнения; x_1 – запас уменьшился на единицу и требует пополнения; $x_2 - x_R$ – величина наличного запаса равна разности оптимальной величины[25] текущего запаса R_{ij}^* и количества заявок в системе, на которое требуется его пополнение; x_{R-1} – наличный запас необходимо пополнить на величину разности R_{ij}^* и количества заявок, вызванных дефицитом запаса ЗЧ. Вероятности нахождения СМО в одном из данных состояний обозначим как $p(k)$, где $k = 0; 1; 2 \ldots R + y$ (y – допустимый размер дефицита запаса) величина, на которую уменьшился текущий запас, оценивается по формулам [25]

[25] *Оптимальная величина уровня текущего запаса* R_{ij}^* *при различных логистических вариантах пополнения (снабжения от внешних источников и самообеспечении) рассчитываются по формулам (2.21) и (2.22).*

$$\psi_1(x) = \begin{cases} p\left(R_{ij}^* - x;\ \lambda_{дij}\tau\right), 0 < x \le R_{ij}^* \ , \\ p\left(R_{ij}^*;\ \lambda_{дij}\tau\right), x = 0, \end{cases} \tag{4.7}$$

$$\psi_2(y) = P\left(R_{ij}^* \ + y;\ \lambda_{дij}\tau\right), y \ge 0, \tag{4.8}$$

$$p\left(R_{ij}^*; \lambda_{дij}\tau\right) = \left(\lambda_{дij}\tau\right)^{R_{ij}^*} / R_{ij}^*! \cdot e^{-\lambda_д \tau}, \tag{4.9}$$

$$P\left(R_{ij}^*; \lambda_{дij}\tau\right) = \sum_{f=R_{ij}^*}^{\infty} p\left(f; \lambda_{дij}\tau\right) = 1 - \sum_{f=0}^{R_{ij}^*-1} p\left(f; \lambda_{дij}\tau\right), \tag{4.10}$$

где $\psi_1(x)$ вероятность того, что спрос за время изготовления $\tau = T_{\text{изг.д}\,ij}$ или поставки $\tau = T_{\text{пост.д}\,ij}$, спрос за время пополнения составит $R_{ij}^* - x$ или R_{ij}^*; $\psi_2(y)$ – вероятность того, что спрос за время пополнения превысит уровень запаса на y единиц (эти требования будут учтены при поставке).

Зная вероятности состояний, можно определить любые характеристики системы. Для нахождения среднего времени нахождения заявки в системе $t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}}$ по формуле Литтла [100] необходимо знать количество заявок $N_{\text{ср.д}\,ij}$ в системе, которое в соответствие с [99] можно рассчитать по формуле

$$N_{\text{ср.д.}ij} = N_{\text{ож.д.}ij} + N_{\text{изг.д.}ij} = \lambda_{дij}\tau + 2B\left(R_{ij}^*\right), \tag{4.11}$$

$$B\left(R_{ij}^*\right) = \lambda_{дij}\tau P\left(R_{ij}^* - 1;\ \lambda_{дij}\tau\right) - R_{ij}^* P\left(R_{ij}^*; \lambda_{дij}\tau\right). \tag{4.12}$$

Определим среднее время нахождения заявки в системе

$$t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} = N_{\text{ср.д.}ij} / \lambda_{дij} = \left(\lambda_{дij}\tau + 2B\left(R_{ij}^*\right)\right)/\lambda_{дij}. \tag{4.13}$$

Зная $t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}}$, в контуре B, можно определить среднее время восстановления неисправного агрегата $t_{\text{вост.а}\,ij}$ подставив (4.13) в (4.6). Обозначим буквой C остальные компоненты времени, входящие в формулу (4.6) независящие от способа пополнения запаса. При этом окончательная формула примет вид

$$t_{\text{вост.а}ij} = t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} + C = \left(\lambda_{дij}\tau + 2B\left(R_{ij}^*\right)\right)/\lambda_{дij} + C, \tag{4.14}$$

$$C = t_{\text{разб.а.}i} + t_{\text{деф.а.}i} + t_{\text{дост.д.}i} + t_{\text{сб.а}i} + t_{\text{пров.а}i}. \tag{4.15}$$

При случайных параметрах входящего и исходящего потоков, любая характеристика СМО зависит от вероятностей нахождения системы в её возможных состояниях и оценивается в зависимости от условий её работы. Рассмотрим принцип работы такой СМО для математического описания процесса агрегатного ремонта с восстановлением путём замены отказавших их деталей изготовленными в ПМ РМУ ЗЧ, реализуемого в контуре A см. Рисунок 4. 4.

4.2.3. Определение характеристик системы технического обслуживания и ремонта при выполнении сменно-узлового ремонта

При выполнении сменно-узлового ремонта погрузочно-доставочных машин (ПДМ) с восстановлением неисправных агрегатов систему массового обслуживания (СМО) можно представить в виде схемы см. Рисунок 4. 6.

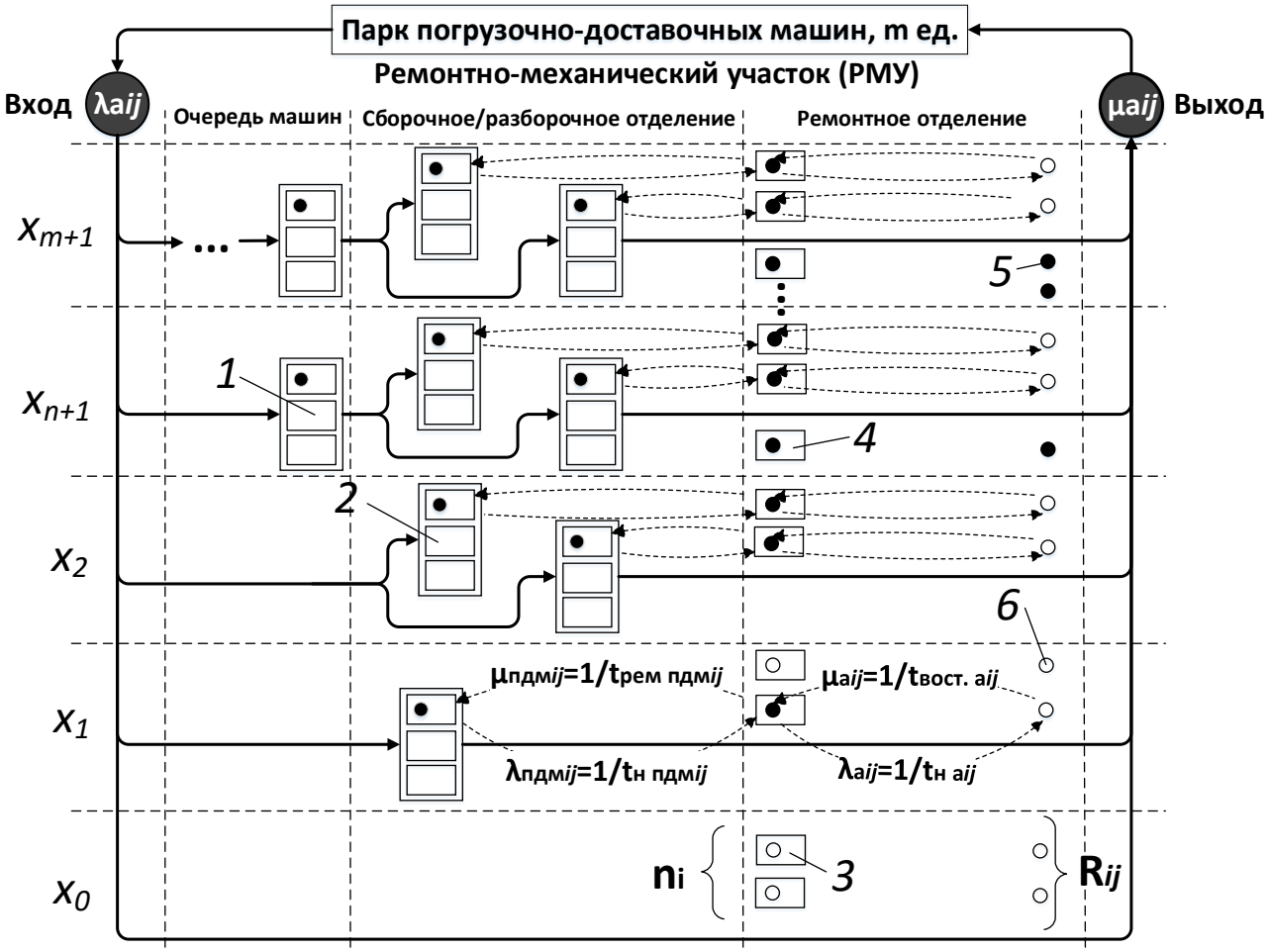


Рисунок 4. 6 – Схема СМО при выполнении сменно-узлового ремонта ПДМ в РМУ (цикла А): *состояние ПДМ 1 – ждут ремонта и 2 – ремонтируются; состояния запасных агрегатов 3 – исправное и 4 – неисправное; состояние деталей 5 – отказавшее, 6 – новое и 7 – дефицит*

Анализ литературы [98, 99, 101] выявил, что для описания вероятностей состояний рассматриваемой системы массового обслуживания, удобно воспользоваться примером расчёта *пропускной способности системы с запасными частями на случай выхода из строя агрегатов*. Адаптируем описанный в работе [99] пример обслуживания резервом группы однотипных машин к нашему случаю.

Имеется парк ПДМ, включающий в себя m единиц техники одинаковых моделей (допущение). В процессе работы агрегаты ПДМ, могут выходить из строя. Отказы i-х агрегатов ПДМ – случайные события, возникающие с плотностью $\lambda_{\text{а}ij}$. Время наработки i-х агрегатов на отказ распределено показательно со средним значением $t_{\text{н а}ij}$. При отказе i-х агрегата во избежание простоя ПДМ и для восстановления её работоспособности имеется текущий запас из n_i единиц исправных агрегатов. Каналы обслуживания, в нашем случае это агрегаты. Они могут находиться в неработоспособном состоянии, например, в случае наличия в нём неисправного агрегата, заменённого ранее исправным, и на данный момент ещё невосстановленного. Восстановление i-го неисправного агрегата выполняется заменой j-й детали, послужившей источником отказа, на исправный из текущего запаса из R_{ij}^{*} запасных частей (ЗЧ), уровень которых поддерживается оптимальным за счёт снабжения либо от внешних источников, либо путём самообепечения. Длительность восстановления i-го агрегата определяется тем, какая j-я деталь отказала и является случайной величиной. Время восстановления неисправного агрегата распределено показательно со средним временем обслуживания $t_{\text{вост а}ij}$. Система может находиться в одном из следующих состояний см. Рисунок 4. 6: x_0 – все агрегаты исправны и все ПДМ работают; x_k – k запасных агрегатов $1 \le k \le n_i$ неисправны и либо ремонтируются все, либо часть ремонтируются, а часть ожидают ремонта; x_{n_i+s} – n_i запасных агрегатов исправны и s ПДМ не работают $1 \le s \le m$. Для оценки вероятностей $p_0(t)$; $p_k(t)$ и $p_{n_i+s}(t)$ нахождения системы в соответствующих состояниях в момент времени t вводится система дифференциальных уравнений [99]. Для упрощения восприятия индексы i и j в формуле (4.16) опущены.

$$\left.\begin{array}{c} dp_0(t)/dt = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ dp_k(t)/dt = -(\lambda + k\mu)p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + (k+1)\mu_{k+1}(t) \\ \text{при } 0 < k < R, \\ dp_k(t)/dt = -(\lambda + R\mu)p_k(t) + \lambda p_{k-1}(t) + R\mu p_{k+1}(t) \\ \text{при } R \le k < n+1, \\ dp_{n+s}(t)/dt = -(\lambda + R\mu)p_{n+s}(t) + \lambda p_{n+s-1}(t) + R\mu p_{n+s+1}(t) \\ \text{при } 1 \le s < m, \\ dp_{n+m}(t)/dt = -R\mu p_{n+m}(t) + \lambda p_{n+m-1}(t). \end{array}\right\} \quad (4.16)$$

Обозначив через $a = \lambda_{aij}/\mu_{aij}$ и учитывая условие $\sum_{k=0}^{n_i+m} p_k(t) = 1$, оценим вероятности состояний для стационарного режима работы. Зная вероятности состояний можно найти параметры эффективности работы системы обслуживания.

$$P_{0ij} = \left[1 + \sum_{k=1}^{R_{ij}^*} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=1}^{n_i - R_{ij}^* + 1} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k + \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^{n_i - R_{ij}^*} \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=2}^{m} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k\right]^{-1}, \quad (4.17)$$

$$P_{kij} = a^k/k! \cdot P_{0ij} \quad \text{при } k \le R_{ij}^*, \quad (4.18)$$

$$P_{kij} = \left(a/R_{ij}^*\right)^{k-R_{ij}^*} \cdot a^{R_{ij}^*}/R_{ij}^*! \cdot P_{0ij} \quad \text{при } R_{ij}^* \le k < n_i + 1, \quad (4.19)$$

$$P_{kij} = \left(a/R_{ij}^*\right)^{k-R_{ij}^*} \cdot a^{R_{ij}^*}/R_{ij}^*! \cdot P_{0ij} \quad \text{при } n_i + 1 \le k < m + n_i\,. \quad (4.20)$$

Для нахождения вероятностей состояний системы помимо количества машин m, интенсивности отказов λ_{aij} и восстановления μ_{aij} агрегатов, необходимо знать количество i-х агрегатов n_i и их j-х ЗЧ к ним – R_{ij}. Ранее по формулам (2.21) и (2.22) нами уже было определено оптимальное количество ЗЧ R_{ij}^*, обеспечивающих минимум удельных затрат на снабжение.

Наиболее простым способом определения оптимального количества агрегатов n^* является подбор (табуляция) такого их количества, которое будет определять тот вариант, который обеспечивает минимум суммарных потерь, вычисляемых по формуле (4.1) с учётом (4.17). Например, вычислить оптимальное количестве агрегатов n^* можно по минимальным значениям $C_{\text{сум.}ij}$ путём табулирования возможных значений[26] n в формуле (4.1) с учётом формулы (4.17). Значения стоимостей, входящих в формулу (4.1) задаются заранее.

С учётом целевой функции, описываемой формулой (4.2) можно определить обеспечиваемый применением данного варианта обеспечения ПДМ агрегатами и ЗЧ коэффициент готовности $K_{\text{г}ij}$ парка ПДМ. При этом, вычисленный коэффициент готовности $K_{\text{г}ij}$ парка ПДМ относится только к снабжению и ремонту, связанному с заменой j-ой детали i-го агрегата ПДМ. Однако описав схему их расположения (резервирования), номенклатуру и количество ЗЧ и агрегатов в ПДМ, можно рассчитать общий $K_{\text{г}}$ при эксплуатации ПДМ.

---

[26] *Как правило, для рассматриваемых условий, объём текущего запаса изменится от 0 до 10. Данные расчёты удобно выполнить, например, в табличном редакторе MS Excel.*

4.2.4. Математическая модель взаимосвязи коэффициента готовности с технологическими параметрами и качеством запасных частей

В результате подстановки в целевую функцию (4.2) формулы (4.17) для расчёта вероятности отсутствия погрузочно-доставочных машин (ПДМ) в системе ремонта получим зависимость коэффициента готовности от суммарных затрат на снабжение запасными частями (ЗЧ) и потерь, вызванных их дефицитом

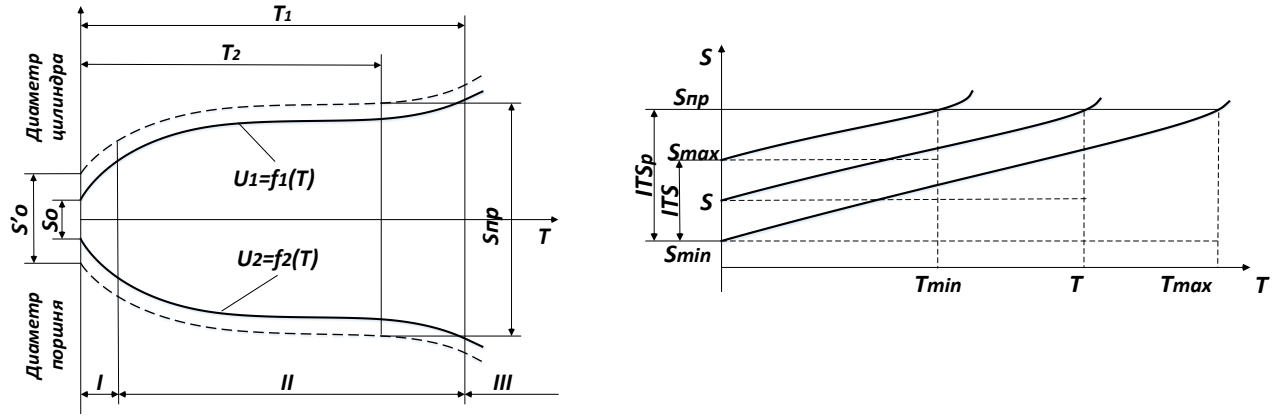
$$\begin{cases} K_{\text{г}ij} = \left[1 + \sum_{k=1}^{R_{ij}^*} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=1}^{n_i - R_{ij}^* + 1} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k + \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^{n_i - R_{ij}^*} \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=2}^{m} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k \right]^{-1} \rightarrow \boldsymbol{max}, \\ C_{\text{сум}ij} = C_{\text{a}i} \cdot n_i + \left(Z\left(R_{ij}^*\right) + \text{C}_{\text{конц.}} Q_{\text{экс}} n_{\text{см}} T_{\text{см}} K_{T_{\text{м}}} K_{\text{ср.сод.конц}} \cdot \left(1 - K_{\text{г}ij}\right)\right) \cdot T_{\text{ам.}ai} \rightarrow \boldsymbol{min}. \end{cases} \quad (4.21)$$

Для получения из формулы (4.21) математической модели, взаимосвязи *коэффициента готовности* $K_{\text{г}ij}$ с технологическими параметрами (точностью геометрических размеров, штучным временем и процентом брака), обеспечивающими при изготовлении ЗЧ, необходимо установить их связь с *параметром* $\alpha = \lambda_{\text{a}ij}/\mu_{\text{a}ij}$, величина которого зависит от *интенсивности отказов* $\lambda_{\text{a}ij}$ и *интенсивности восстановления* $\mu_{\text{a}ij}$ агрегатов машин.

Интенсивность отказов агрегатов $\lambda_{\text{a}ij}$ зависит от ресурса работы соединений, включающего поверхность *j*-й детали *i*-го агрегата. В большинстве случаев причинами их отказов являются нарушение посадок *деталей типа тел вращения*. Исследованию данного вопроса посвящено множество работ в связи с чем в диссертации будет кратко проанализирован частный случай применительно к посадкам с зазором на примере соединения *поршень-гидроцилиндр* [102].

На основании проведённых профессором Ю.Ф. Набатниковым исследований взаимосвязи ресурса с уровнем качества соединения установлено, что ресурс соединения определяется величиной посадки и зависит от фактических размеров, полученных при изготовлении сопряжённых поверхностей и метода сборки соединений. В процессе эксплуатации гидроцилиндров зазоры в соединении *поршень-гидроцилиндр* из-за изнашивания поверхностей увеличиваются и при достижении предельного значения $S_{\text{пр.}}$ наступает отказ. Величина $S_{\text{пр.}}$ определяется

из зависимости контактных напряжений от величины зазора между рабочими поверхностями. Изменение ресурса соединения типа *вал-втулка* описывается кривыми износа, (см. Рисунок 4. 7. а.), где $U_1 = f_1(T)$ и $U_2 = f_2(T)$ – зависимости износа отверстия и вала соответственно, S_0 – зазор, полученный при изготовлении и сборке соединения, $S_{\text{пр.}}$ – предельный зазор, при достижении которого резко повышается интенсивность изнашивания поверхностей соединения [102].



а. б.

Рисунок 4. 7 – Изменение зазора в зависимости от продолжительности работы соединения: *а – общая схема изнашивания поверхностей поршня и цилиндра; б - кривые изнашивания соединений без учёта приработки:* $\boldsymbol{ITS}$ *– допуск на зазор при изготовлении цилиндра,* $\boldsymbol{ITS}_{\text{р}} = \boldsymbol{S}_{\text{пр}} - \boldsymbol{S}_{\boldsymbol{min}}$ *– эксплуатационный допуск на зазор*

В рамках данной работы, представляет интерес рассмотреть увеличение ресурса соединения за счёт повышения точности обработки поверхностей детали, образующих соединение. Рассмотрим период работы с установившейся скоростью износа (область II) и интенсивным изнашиванием (область III) см. Рисунок 4. 7. а.

В связи со случайным характером отклонений размеров, получаемых при обработке деталей, случайными будут и получаемые зазоры, величина которых при сборке ограничивается допуском на зазор $ITS_{\text{р}}$. Чем меньше будет фактический зазор в соединении, тем больше будет ресурс его работы. Максимальный ресурс работы T_{max} имеют соединения с минимальным зазором S_{min} см. Рисунок 4. 7. б.

Теоретически, при изготовлении и сборке соединения *гидроцилиндр-поршень*, расположение полей допусков сопряжённых поверхностей должно соответствовать требованиям см. Рисунок 4. 8. а. С учётом того, для изготовления данных поверхностей деталей, можно применять универсальные станки с ручным управлением (РУ) и интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ)

обеспечивающие различные показатели точности обработки, то фактически возможны следующие схемы расположения полей рассеяния относительно теоретических см. Рисунок 4. 8. б., Рисунок 4. 8. в. и Рисунок 4. 8. г.

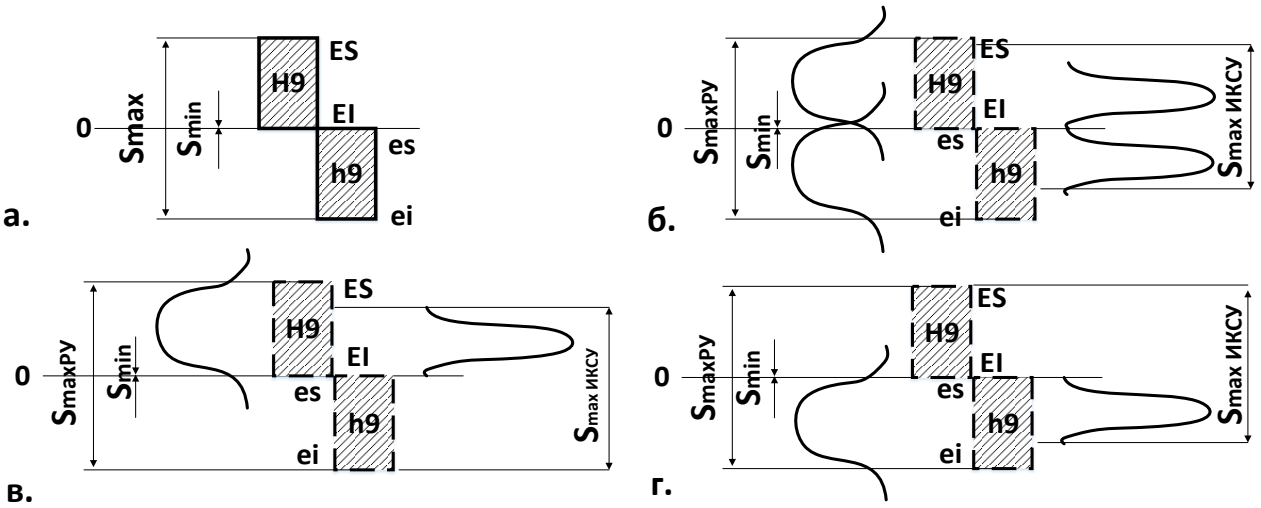


Рисунок 4. 8 – Схемы расположения полей допусков посадки с зазором H9/h9 при их восстановлении или изготовлении с применением различных типов станочного оборудования (РУ и ИКСУ*): а – теоретическая: б – фактическая при обработке поверхностей обеих деталей; в – фактическая при обработке поверхности отверстия; г – фактическая при обработке поверхности вала*

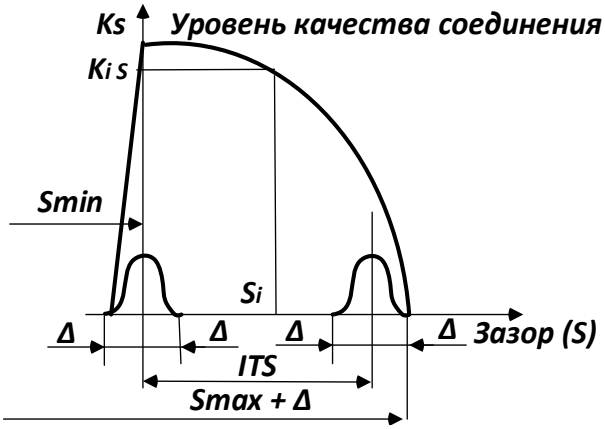
При величине поля рассеяния, превышающем величину поля допуска, что характерно для обработки деталей на универсальных станках с РУ, полученные после изготовления и сборки соединения хотя и соответствуют требованиям, но не исключают вероятность возникновения брака. При уменьшении поля рассеяния, например, в случае модернизации универсальных станков ИКСУ, что было выявлено в результате исследований, не только уменьшается максимально возможные зазоры в соединениях, но и практически исключается брак. С учётом того, что меньшая величина зазора обеспечивает больший ресурс, то повышение точности обработки, способствует увеличению запаса ресурса соединения.

Так как процесс изнашивания оказывает влияние на поверхности соединения и вала, и отверстия, то для восстановления ресурса работы соединения нужно при ремонте обеспечить необходимый зазор. Ресурс соединения зависит от метода его изготовления (восстановления). Больший эффект достигается при обработке обеих поверхностей, образующих соединения Рисунок 4. 8. б. нежели чем каждой в отдельности Рисунок 4. 8. в. и Рисунок 4. 8. г.

Для оценки эффекта от повышения точности соединения воспользуемся методикой безэкспертной оценки качества, разработанной профессором Солодом Г.И. на кафедре *«Технология машиностроения и ремонт горных машин»* Московского государственного горного университета [53, 68] положения которой сводятся к следующему:

- уровень качества соединения учитывает погрешность измерения Δ;
- уровень качества соединения равен единице, если зазор в соединении равен минимально допустимой по технологической документации величине;
- уровень качества соединения близок к нулю, если зазор максимальный;

Зависимость между уровнем качества соединения и величиной зазора является квадратичной Рисунок 4. 9 и определяется по формуле



$$K_{i\,s} = 1 - \left(\frac{S_i - S_{min}}{ITS + \Delta}\right)^2, \qquad (4.22)$$

Рисунок 4. 9 – Расчётная схема для определения уровня качества изготовления и сборки соединения с зазором (*ITS* – допуск на зазор; S_i – зазор в соединении, полученный при сборке, Δ=1,05 – величина погрешности измерения в соответствии с ISO-5725)

При заданном допуске на зазор ITS и величине погрешности измерения Δ, уровень качества будет тем выше, чем ближе зазор S, полученный при изготовлении и сборке, приближается к минимальному допустимому зазору S_{min}, что соответствует функциональному назначению соединения.

В результате исследования, выполненного в работе [102] установлена взаимосвязь ресурса с уровнем качества соединения

$$T/T_{max} = 1 - \left(1{,}05\sqrt{1-K}\right)/K_p, \qquad (4.23)$$

где T и T_{max} – фактическая и максимальная наработка соединения до предельного состояния, $K_p = ITS_p/ITS > 1$ – коэффициент запаса ресурса по точности.

Для упрощения задачи установления взаимосвязи между технологическими показателями, достигаемыми при изготовлении ЗЧ и эксплуатационными показателями ПДМ, связанными с работой их агрегатов, в которые входят данные ЗЧ, введём следующие *допущения*. Отказ в соединении *гидроцилиндр-поршень* приводит к отказу гидроцилиндра и переходу ПДМ в неработоспособное состояние, при этом наработка между отказами агрегата ПДМ, равна ресурсу работы данного соединения $T = T_o$. Это позволяет использовать приведённые зависимости (4.22) и (4.23) для оценки наработки на отказ ПДМ, связанной с выходом из строя гидроцилиндра, с учётом схемы их расположения в конструкции ПДМ. Для каждой конкретной реализации можно определить получаемый зазор S_i и рассчитать по формуле (4.23) отношение T/T_{max}, после чего зная максимальный ресурс соединения T_{max}, определить фактический минимальный остаточный ресурсы его работы T_o и интенсивность отказов $\lambda_{\text{а}ij}$.

Интенсивность восстановления неисправного агрегата в *цикле А* $\mu_{\text{а}ij} = 1/t_{\text{вост.а.}ij}$, где $t_{\text{вост.а.}ij}$, определяется по формуле (4.6). Среднее время замены отказавшей детали агрегата на новую есть среднее время нахождения заявки в системе *цикла В*, определяется по формуле Литтла. При $t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} = N_{\text{ср.д.}ij}/\lambda_{\text{д}ij.}$, известном среднем количестве заявок, находящихся в системе $N_{\text{ср.д.}}$ и с учётом $\lambda_{\text{а}ij} = \lambda_{\text{д}ij}$, $\mu_{\text{а}ij} = 1/t_{\text{вост.а.}ij}$, формул (4.11) – (4.15) и ряда преобразований получим формулу для расчёта a при «самообеспечении» ЗЧ

$$a = \lambda_{\text{а}ij}/\mu_{\text{а}ij} = \lambda_{\text{а}ij} t_{\text{вост.а}ij} = \lambda_{\text{д}ij}\left(T_{\text{шт.}ij} + C\right) + 2B\left(R^*_{\text{изг}ij}\right). \qquad (4.24)$$

Штучное время $T_{\text{шт.}ij}$ рассчитывается с учётом процента брака путём умножения времени выполнения переходов на коэффициент учёта брака (3.21), где вероятность брака $P_{\text{бр.}}$, зависящая от точности их обработки и определяемая из полученных зависимостей см. Рисунок 3. 12.

Полученные формулы (4.21) и (4.24) являются математическими моделями, устанавливающими взаимосвязь между коэффициентом готовности и технологическими показателями, обеспечиваемыми при изготовлении ЗЧ в производственных модулях ремонтно-механических участков.

4.3. Установление зависимости коэффициента готовности агрегата погрузочно-доставочной машины от качества изготовления запасных частей

4.3.1. Алгоритм установления зависимости коэффициента готовности агрегата от уровня качества изготовления запасных частей

В связи с неявной взаимосвязью коэффициента готовности и уровня качества изготовления запасных частей (ЗЧ), между которыми требуется установить зависимости разработан алгоритм[27], включающий в себя следующие этапы:

1. **Табулировать размер детали P_i, образующий посадку с зазором в агрегате и рассчитать по формуле (3.26) показатели её качества $K_{\text{изг.}}(P_i)$.**
   1.1. Рассчитать по формуле (3.25) единичные уровни качества[28] $k_{i\,t\text{шт.}}$ по *штучному времени* $t_{i\ \text{шт.}}$ в соответствии со схемой см. Рисунок 3. 19.
      1.1.1. Разработать операционный технологический процесс изготовления детали и рассчитать время выполнения i-х переходов для универсальных станков с ИКСУ с учётом полученных зависимостей см. Рисунок 3. 14.
      1.1.2. Задать допуск на $IT t_{i\ \text{шт.}}$ *и определить* $\Delta t_{i\ \text{шт.}}$
      1.1.3. Выполнить фотографию рабочего времени обработки детали на универсальном станке с ИКСУ и определить $t_{i\ \text{шт.}}$ *для переходов;*
      1.1.4. Рассчитать штучное время выполнения переходов $t_{i\ \text{шт.}}$ *и умножить его на коэффициент учёта брака* $K_{i\ \text{бр}}$ *по формуле (3.21).*
   1.2. Рассчитать по формуле (3.23) единичные уровни качества $k_{i\,IT}$ по параметру *точности геометрических размеров* по схеме см. Рисунок 3. 18. б.
      1.2.1. Проанализировать чертеж детали, определить исходные данные и рассчитать параметры полей допусков (ITP_i, eiP_i, esP_i, $P_{i\ \text{ср.}} = ITP_i/2$*) всех поверхностей обрабатываемой детали;*
      1.2.2. Измерить поверхности деталей и определить значения их размеров P_i*;*

---

[27] *В данном алгоритме для упрощения записи будут опущены индексы и j-й детали i-го агрегата, но выполняемы расчёты рассматриваются для погрузочно-доставочных машин относительно данной ЗЧ. Вместо это индекса будет использован индекс i, обозначающей номер табулируемого размера.*

[28] *Индекс i – обозначает номер перехода, который выполняется при обработке детали.*

1.2.3. Определить поверхность детали, образующую посадку с зазором в соединении и табулировать размер P_i выбранной поверхности в рамках поля рассеяния данного размера см. Рисунок 3. 11.

2. Определить исходные данные для имитационного математического моделирования, основанного на целевой функции (4.21)

2.1.Рассчитать $\lambda_{\text{а}.i} = 1/T_i$ для всех полученных зазоров S_i (i – номер табулируемого значения размера детали, входящего в соединение).

2.1.1. Рассчитать теоретические параметры посадки S_{min}, ITS и Δ;

2.1.2. Рассчитать величины фактических посадок S_i табулируемого размера P_i, приняв размер поверхности сопряжённой детали за постоянный;

2.1.3. Рассчитать параметры $K_{i\,s}$ для зазоров S_i по формуле (4.22);

2.1.4. Рассчитать $T_i\,/T_{max}$ для полученных зазоров S_i по формуле (4.23);

2.1.5. Рассчитать T_i по принятому значению T_{max} для зазоров S_i.

2.2.Рассчитать значение параметра $\mu_{\text{а}.} = 1/t_{\text{вост.а}}$.

2.2.1. Рассчитать $T_{\text{шт}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{пер}}} t_{i\ \text{шт}}$ по времени выполнения i-ых переходов $t_{i\ \text{шт}}$, $n_{\text{пер}}$ – количество переходов, необходимых для обработки детали.

2.2.2. По полученному $T_{\text{шт}}$ рассчитать $N_{\text{ср.д.}}$ по формуле (4.11);

2.2.3. Рассчитать $t_{\text{вост.а}}$ по формуле (4.14).

2.3.Рассчитать значения R^* и $Z(R^*)$ по формулам (2.21) и (2.22)

2.3.1. Задать исходные данные A_1, A_2, J, $\hat{\xi}$ и рассчитать $C_{\text{изг.}}$ по $T_{\text{шт.}}$;

2.3.2. Табулировать R_i и рассчитать $Z(R_i)$ по формулам (2.21) и (2.22);

2.3.3. Выбрать $Z(R^*) \to min$ и определить R^*.

2.4.Рассчитать параметры $a_i = \lambda_{\text{а}.i}/\mu_{\text{а}}$ по формуле (4.24)

2.5.Задать m, $T_{\text{ам.а}i}$, $\text{С}_{\text{а}i}$, $C_{\text{пр.маш.}}$ и вычислить $Z(R^*)$.

3. Получить зависимости обеспечиваемого коэффициента готовности $K_{\text{г}}(n_i)$ от уровня качества $K_{\text{изг}}(P_i)$ и определить их оптимальные значения.

3.1.Табулировать n_i от 0 до 10 в формуле (4.21), рассчитать $K_{\text{г}}(n_i)$ и построить график зависимости $K_{\text{изг.}}(P_i)$ от $K_{\text{г}}(n_i)$;

3.2.Выполнить подборку по величине достоверности аппроксимации графика и уравнения, которые и выражают искомую зависимостью и определить оптимальные значения n_i^* и $K_{\text{г}}(n_i^*)$ по целевой функции (4.21).

4.3.2. Пример моделирования зависимости коэффициента готовности от уровня качества изготовления запасных частей

Для выполнения имитационно математического моделирования зависимости коэффициента готовности агрегатов погрузочно-доставочной машины (ПДМ) от качества изготовления запасных частей (ЗЧ) к ним для производственных условий ОАО «Апатит» в соответствии с алгоритмом, представленным в предыдущем пункте, сформулируем расчётную задачу.

При подземной разработке апатитового месторождения на Объединённом Кировском руднике эксплуатируется 50 единиц ПДМ одинаковых моделей (допущение). Во время работы ПДМ могут возникать отказы агрегатов и деталей, входящих в состав их конструкции. Для примера рассмотрим обеспечение ПДМ гидроцилиндрами механизмов: подъём стрелы (ГЦМПС), опрокидывания ковша (ГЦМОК) и рулевого управления (ГЦМРУ) и необходимыми для их ремонта ЗЧ – поршнями (детали выбираются те, которые могут быть изготовлены[29] в производственном модуле (ПМ) ремонтно-механического участка (РМУ) Объединённого Кировского рудника ОАО «Апатит»).

Ремонт ПДМ заключается в замене отказавших агрегатов исправными из текущего запаса, объёмом n_i шт. Отказавшие агрегаты поступают в РМУ, в котором выполняется дефектация деталей и замена отказавших на новые ЗЧ, из текущего запаса, объёмом R_{ij}^{*} шт. По мере необходимости текущий запас деталей может пополняться различными логистическими вариантами снабжения: *самообеспечением* (изготовлением в ПМ РМУ) с применением различных типов станочного оборудования (РУ – универсальные станки с ручным управлением; ИКСУ – универсальные станки с интерактивной компьютерной системой управления и ЧПУ – станки с числовым программным управлением) или *обеспечиваться внешним поставщиком*. ПМ РМУ имеет одну группу станков, на которой одновременно может изготавливаться только одна деталь. Рассчитывается

[29] *При оптимизации технологии программа выпуска производственного модуля ремонтно-механического участка может быть расширена в зависимости от достигнутых технологических возможностей.*

среднее время изготовления ЗЧ с учётом работы ПМ РМУ в одну смену, длительностью 8 ч. Для каждого поршня имеется свой оптимальный текущий запас, обеспечивающий минимальные средние удельные издержки на снабжение. При отказе агрегата он мгновенно заменяют на новые или восстановленный, а если таковых нет, то ПДМ простаивает, в ожидании их наличия. Причину отказа рассмотрим нарушение посадки с зазором типа *вал-втулка* диаметром $157H9/h9$, имеющей $S_{\text{пр.}} = 0{,}4$ мм, $K_p = 2$ и максимальные наработки на отказ (Таблица 4. 2 столбец 8). Рассматриваемые гидроцилиндры имеет по одной поверхности, образующие зазор (допущение), размеры которой табулируется с учётом принятого количества диапазонов моделирования и их величины, исходя из полученных экспериментальных данных (Таблица 4. 1 столбцы 4 и 5). Для расчёта качества изготовления детали по приведенным ранее формулам и алгоритмам также задаются коэффициенты для расчёта времени выполнения переходов (Таблица 4. 1 столбец 7).

Задав исходные данные (Таблица 4. 2) и рассчитав параметры системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) ПДМ, рассматриваемой двухфазной системы массового обслуживания для различных логистических вариантов обеспечения ЗЧ получим и достигаемые при этом коэффициенты готовности ПДМ. Так в результате моделирования получены зависимостей коэффициентов готовности ГЦМОК, ГЦМПС и ГЦМРУ от комплексного показателя уровня качества, достигаемого при самообеспечении поршней (их изготовлении с применением универсальных станков с РУ, ИКСУ и ЧПУ) получены, графики и уравнения искомых зависимостей см. Рисунок 4. 10.

Выполнено сравнение рассчитанных теоретических коэффициентов готовности агрегатов $\overline{К}_{\text{г теор.}}$ с полученными опытным путём на основе промышленных данных $\overline{К}_{\text{г эксп.}}$ при самообеспечении ПДМ ЗЧ путём их изготовления с применением РУ. При среднем уровне качества $\overline{К}_{\text{изг эксп}}^{\text{ГЦМОК}} = 0{,}63$ экспериментальное значение $\overline{К}_{\text{г эксп}}^{\text{ГЦМОК}} = 0{,}91$, тогда как при $\overline{К}_{\text{изг теор}}^{\text{ГЦМРУ}} = 0{,}63$ значение $\overline{К}_{\text{г теор.}}^{\text{ГЦМОК}} = 0{,}945$. Таким образом, ошибка не превышает 5%, что свидетельствует о хорошей сходимости результатов.

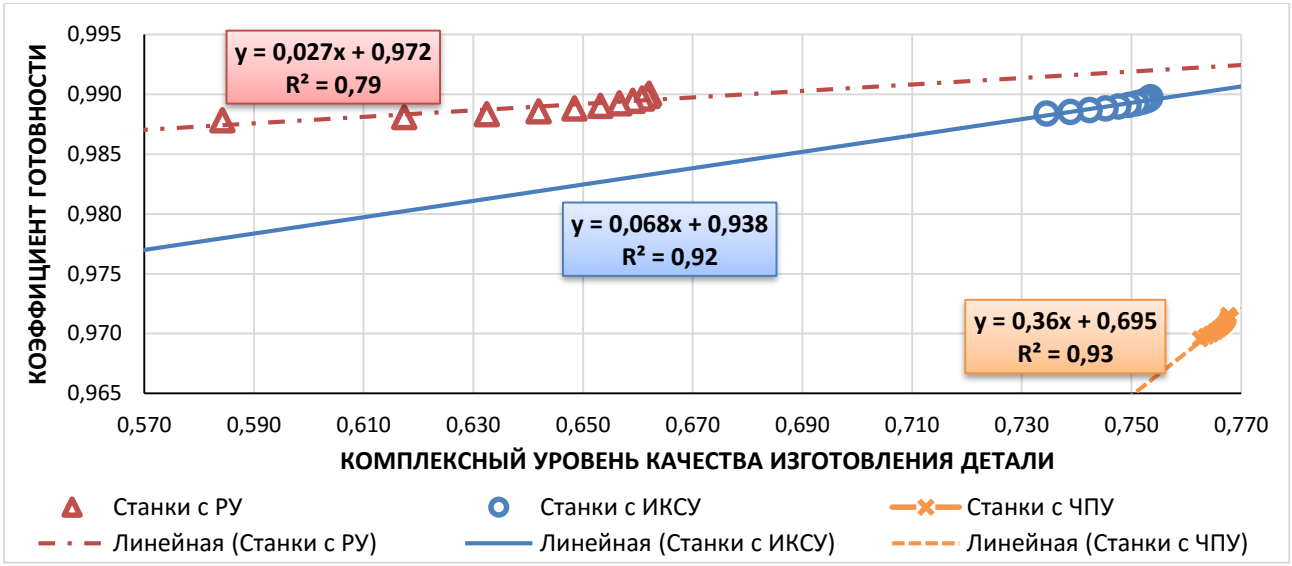
Таблица 4. 1 – Исходные данные для моделирования качества изготовления соединения для различных типов станочного оборудования

№ п.п.	Тип оборудования	IT, мм	Количество диапазонов моделир.	Шаг моделир., мм	Эксперимент. значение времени перехода, сек.	Коэф. пропорц. времени ti/tpy
1	2	3	4	5	6	7
1	Универсальные станки с РУ	0,1	10	0,010	47,50	1
2	Универсальные станки с ИКСУ	0,065	10	0,007	33,00	0,69
3	Универсальные станки с ЧПУ	0,04	10	0,004	28	0,59

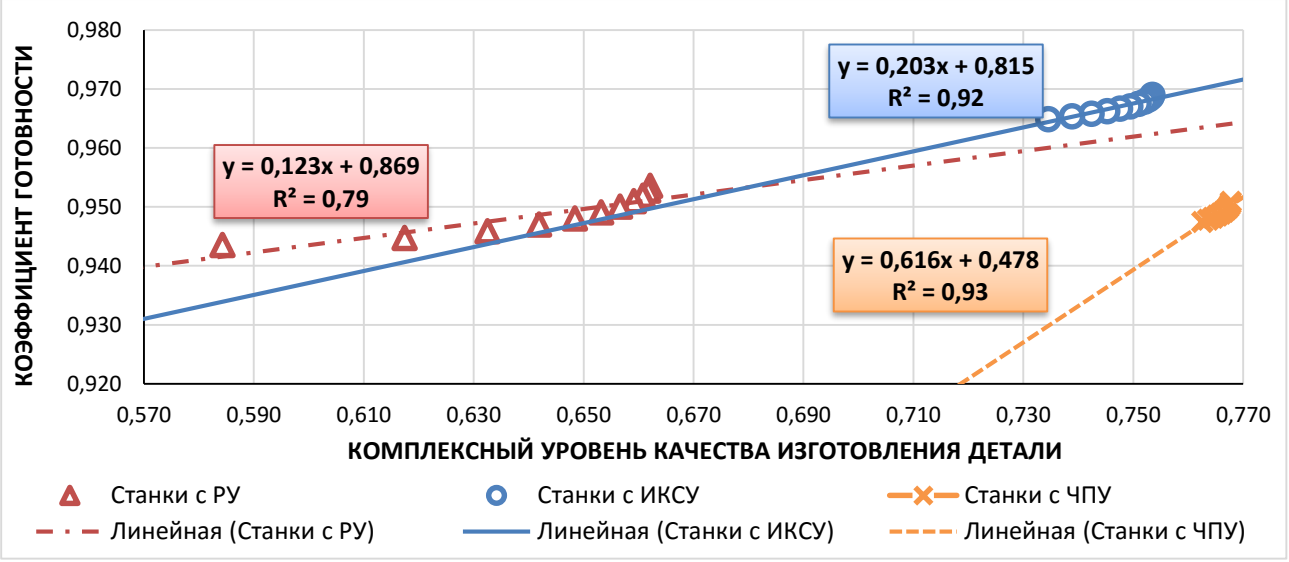
Таблица 4. 2 – Исходные данные для расчёта коэффициента готовности ГЦМОК, ГЦМПС и ГЦМРУ рабочего органа ПДМ при самообеспечение (изготовлении с применением различных типов станков)

№ п.п.	Наимен. агрегатра	Количество агрегатов в ПДМ, шт.	Наименование производимых деталей (запасных частей) агрегатов	Количество деталей в агрегате, шт.	Расход деталей (запасных частей) шт./год	Интенсивность отказов парка ПДМ из-за агрегата,	Максимальная наработка на отказ агрегата Tmax, сут.	Время пополнения запаса деталей агрегатов при самообеспечение (изготовлении с применением различных типов станков), ч.			Себестоимость изготовления деталей (при самообеспечении) с применением различных типов станков, руб./шт.			Стоимость агрегата, руб/шт
								РУ	ИКСУ	ЧПУ	РУ	ИКСУ	ЧПУ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	ГЦМОК	1	Поршень	1	6	0,024	2083	8,03	7,23	12,05	14788	13199	19403	180000
2.	ГЦМПС	2	Поршень	1	2	0,008	6250	5,05	7,05	20,70	5531	8193	25375	210000
3.	ГЦМРУ	2	Поршень	1	20	0,081	618	19,34	10,13	5,90	34128	18675	13015	190000

а.



б.



в.

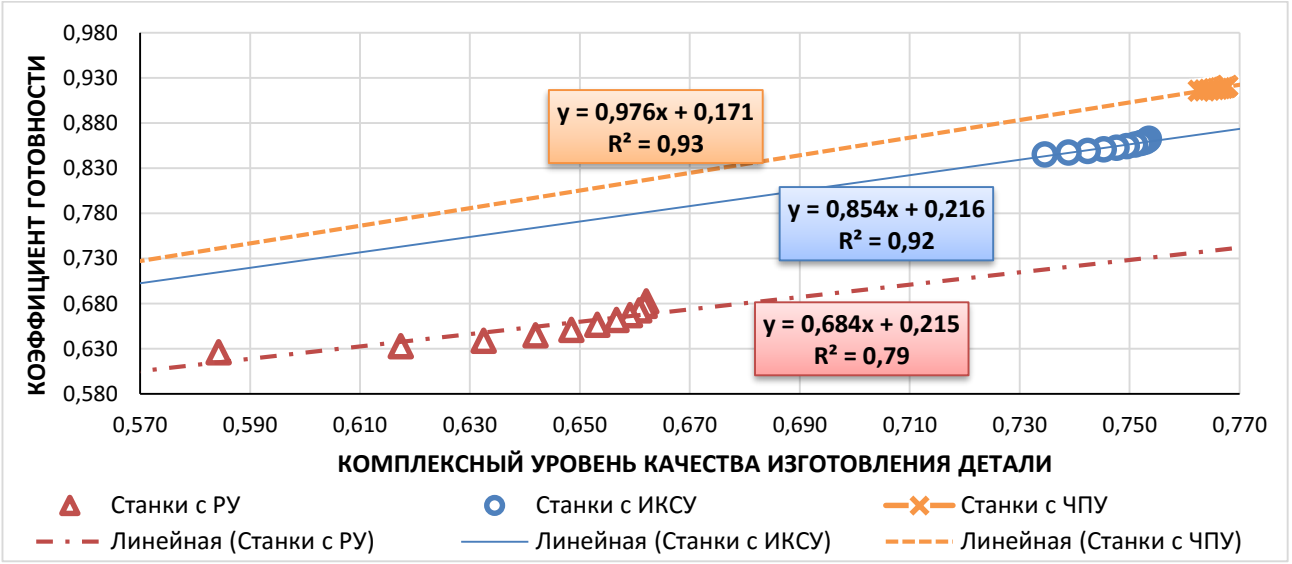


Рисунок 4. 10 – Графики зависимостей коэффициентов готовности гидроцилиндров ПДМ от уровней качества изготовления поршней к ним при самообеспечении с применением универсальных станков с РУ и ИКСУ и ЧПУ: *а. ГЦМПС (λ = 2 шт./год); б. ГЦМОК (λ = 6 шт./год) и в. ГЦМРУ (λ = 20 шт./год)*

4.4. Оценка эффективности самообеспечения запасными частями по сравнению с другими возможными логистическими вариантами снабжения

4.4.1. Установление зависимости коэффициента готовности от затрат на его обеспечение для различных логистических вариантов снабжения

Для демонстрации эффективности «самообеспечения» погрузочно-доставочных машин (ПДМ) запасными частями (ЗЧ) силами производственных модулей ремонтно-механических участков с применением универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) необходимо сравнить его с существующими логистическими варианта снабжения ПДМ ЗЧ: самообеспечения с применением станков с ручным (РУ) и числовым программным управлением (ЧПУ) и снабжения внешними поставщиками.

Полученную ранее математическую модель (4.21) и (4.24) можно использовать для установления зависимости коэффициента готовности от затрат на самообеспечение ПДМ ЗЧ и потерь на снабжение в зависимости от применяемого для их изготовления типа станков. Для получения искомых зависимостей при логистическом варианте *снабжения ЗЧ внешними поставщиками* также, как и для случая самообеспечения используется целевая функция (4.21), за исключением формулы для расчёта $\lambda_{\text{а}ij}/\mu_{\text{а}ij}$, которая в данном случае примет вид

$$a = \lambda_{\text{а}ij}/\mu_{\text{а}ij} = \lambda_{\text{а}ij} t_{\text{вост.а}ij} = \lambda_{\text{д}ij}\left(\tau_{\text{пок}ij} - T/2 + C\right) + 2B\left(1; R^*_{\text{пок}ij} - 1; T\right), \qquad (4.25)$$

$$t_{\text{вост.а}ij} = t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} + C = \left(\lambda_{\text{д}ij}\left(\tau_{\text{пок}ij} - T/2\right) + 2B\left(1; R^*_{\text{пок}ij} - 1; T\right)\right)/\lambda_{\text{д}ij} + C. \qquad (4.26)$$

Формула (4.25) получена по аналогии с (4.24). В данном случае средне время восстановления агрегатов $t_{\text{вост.а}ij}$ определяется по формуле (4.26), полученной на основании формул (2.13) – (2.17) для расчёта оптимального объёма текущего запаса при периодической модели управления запасами с (R, T)-стратегией (см. Главу 2).

Разработан алгоритм установления для различных вариантов снабжения ЗЧ зависимости коэффициента готовности от затрат на его обеспечение (Таблица 4. 3.)

Таблица 4. 3 – Алгоритм моделирования зависимостей коэффициента готовности от затрат для различных логистических вариантов снабжения ЗЧ

№ этапа	Самообеспечение	Закупка у внешних поставщиков
1.	**Рассчитать оптимальный размер текущего запаса деталей ($R^*_{изг}$ и $R^*_{пок}$) и средние удельные затраты на снабжение $Z(R^*_{изг})$ и $Z(R^*_{пок})$ для соответствующих логистических вариантов снабжения ЗЧ для агрегата.**	
1.1.	Определить интенсивности отказов агрегата λ_{aij} в зависимости от точности изготовления деталей, обеспечиваемой применением различных типов станочного оборудования (РУ, ИКСУ и ЧПУ)	Определить интенсивность отказов агрегата λ_{aij} в зависимости расхода агрегатов за рассматриваемый период их амортизации $T_{ам.ai}$
1.2.	Рассчитать время изготовления с учётом процента брака	Рассчитать время поставки детали с учётом процента брака
1.2.1.	Вычислить значения штучного времени выполнения переходов $t_{шт}$ с учётом коэффициент учёта брака $K_{бр} = 1/(1 - P_{бр.})$, путём умножения на него. Процент брака $P_{бр.}$ зависит от точности получаемого межпериодного размера и определяется по полученным ранее зависимостям, приведенным на Рисунок 3. 12.	Вычислить значения времени поставки $\tau_{пок}$ с учётом коэффициент учёта брака $K_{бр} = 1/(1 - P_{бр.})$, путём умножения на него. Процент брака $P_{бр.}$ и время поставки $\tau_{пок}$ гарантирует поставщик (при расчёте задаётся).
1.2.2.	Рассчитать штучное время изготовления детали $T_{шт}$ агрегата путём суммирования времени выполнения переходов $t_{шт}$, учитывающих вероятность возникновения брака.	
1.3.	По штучному времени изготовления детали рассчитывается $C_{изг}$ для различных типов станочного оборудования (РУ, ИКСУ и ЧПУ);	
1.4.	Задать значения A_1, A_2, J, $\hat{\xi}$, где стоимость переналадки оборудования A_2 зависит от его типа (РУ, ИКСУ и ЧПУ) и варьируется $A_{2ру} < A_{2иксу} < A_{2чпу}$	Задать значения A_1, A_2, J, $\hat{\xi}$ и $C_{пок}$
1.5.	Рассчитать по формуле (2.22) минимальные средние удельные затраты на снабжение $Z(R^*_{изг}) \to min$ и соответствующие им оптимальный размера текущего запаса $R^*_{изг}$	Рассчитать по формуле (2.21) минимальные средние удельные затраты на снабжение $Z(R^*_{пок}) \to min$ и соответствующие им оптимальный размера текущего запаса $R^*_{пок}$
2.	**Определить значения параметра $a = \lambda_{aij}/\mu_{aij}$ при различных логистических вариантах снабжения за счёт самообеспечения по формуле (4.24)**	**Определить параметр $a = \lambda_{aij}/\mu_{aij}$ при поставке по формуле (4.25)**
3.	**Выполнить варьирование (табулирование) n в диапазоне от 0 до 10 и рассчитать по формуле (4.21) значение параметров $K_{гij}$, $C_{сумij} = C_{зч} + C_{пот}$ для самообеспечении с применением станков РУ, ИКСУ, ЧПУ и поставке от внешних поставщиков.**	

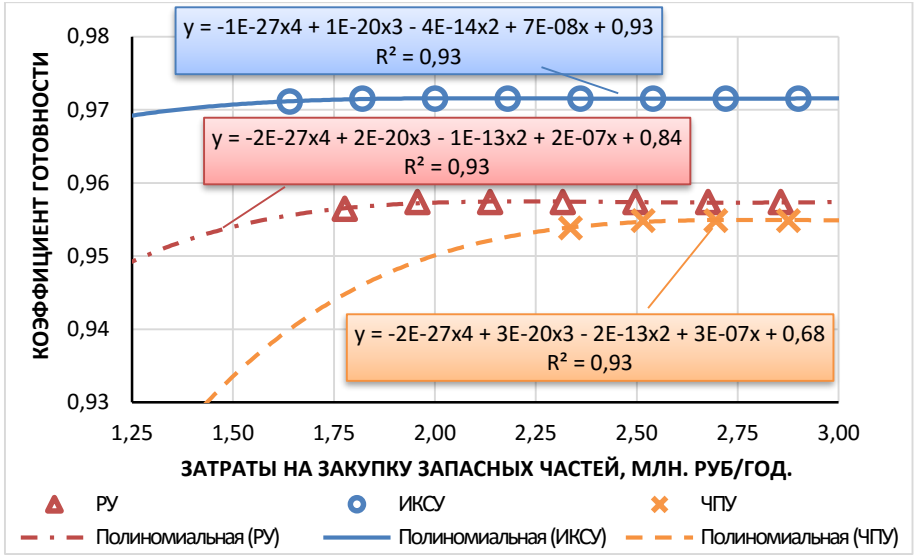
4.	**Построить графики зависимости между следующими параметрами:**
4.1.	Коэффициентом готовности $K_{\text{г}ij}$ и затратами на снабжение ЗЧ $C_{\text{зч}}$ при самообеспечении с применением различных типов станков (РУ, ИКСУ и ЧПУ);
4.2.	Коэффициентом готовности $K_{\text{г}ij}$ и потерями $C_{\text{сум}ij}$ (включающими затраты на снабжение ЗЧ и потери от их дефицитов) при самообеспечении с применением различных типов станочного оборудования (РУ, ИКСУ и ЧПУ);
4.3.	Коэффициентом готовности $K_{\text{г}ij}$ и затратами на снабжение ЗЧ $C_{\text{зч}}$ при самообеспечении с применением универсальных станков с ИКСУ и при закупке у внешнего поставщика;
4.4.	Коэффициентом готовности $K_{\text{г}ij}$ и потерями $C_{\text{сум}ij}$ (включающими затраты на снабжение ЗЧ и потери от их дефицитов) при самообеспечении с применением универсальных станков с ИКСУ и при закупке у внешнего поставщика;

4.4.2. Моделирование зависимости коэффициента готовности от затрат на его обеспечение запасными частями при различной логистике снабжения

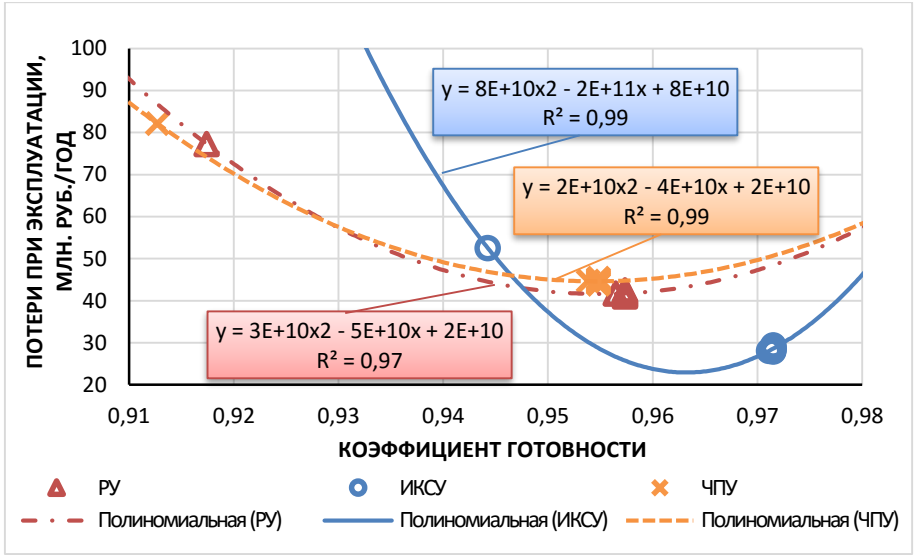
С использованием предложенной математической модели и описанного в предыдущем пункте алгоритма, выполнены расчёты показателей системы технического обслуживания и ремонта погрузочно-доставочных машин (ПДМ) по части обеспечения поршнями гидроцилиндров механизма опрокидывания ковша (ГЦМОК) Таблица 4. 1. Для автоматизации расчётов выбран табличный редактор *MS Excel*, в котором разработаны таблицы исходных данных Таблица 4. 1, Таблица 4. 2, прописаны расчётные формулы математической модели, а также разработана программа для автоматизации итераций вычислений в *Visual Basic For Application*. По результатам моделирования построены графики зависимости коэффициента готовности от затрат на обеспечение ЗЧ (см. Рисунок 4. 11 а. и Рисунок 4. 11 б.). Также получены графики зависимости эксплуатационных потерь от затрат на хранение ЗЧ и простоев ПДМ от коэффициента готовности (см. Рисунок 4. 11 б. и Рисунок 4. 11 г.)

На основании приведенных графиков явно видно преимущество самообеспечения ЗЧ с применением универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления для изготовления поршней ГЦМОК в производственном модуле ремонтно-механического участка.

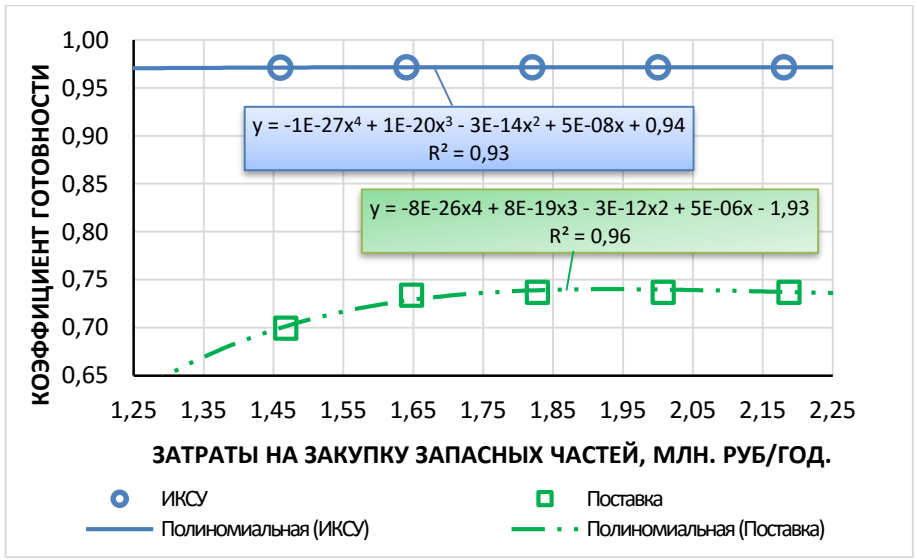
а.



б.



в.



г.

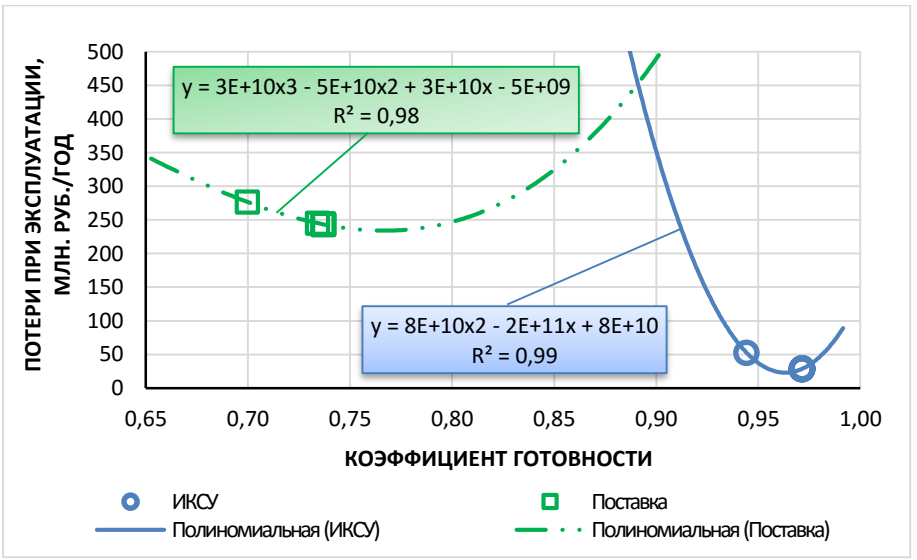


Рисунок 4. 11 – Графики зависимости обеспечиваемого уровня коэффициента готовности для ГЦМРУ от затрат на обеспечение их поршнями и суммарных потерь от простоев: *а. и б. – при самообеспечении с применением различных типов станочного оборудования; в. и г. – при самообеспечении и снабжения внешними поставщиками.*

4.5. Выводы по главе

1. В результате анализа системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР) погрузочно-доставочных машин (ПДМ) подтверждена целесообразность применения технологии оперативного изготовления запасных частей (ЗЧ) в производственных модулях (ПМ) ремонтно-механических участков (РМУ) для самообеспечения ими ежемесячных и текущих ремонтов ПДМ.
2. Даны предложения по совершенствованию системы ТОиР ПДМ, включающие: систему по прогнозируемому техническому обслуживанию; применению интегрированного информационного обеспечения ТОиР типа EAM или модулей ERP совместно с новой технологией оперативного изготовления ЗЧ.
3. Выявлено, что внедрение новой технологии позволило на 20 - 25% повысить качество изготовления поршней гидроцилиндров рабочего органа ПДМ, что при средней интенсивности их 0,036 $сут^{-1}$ обеспечило повышение коэффициента готовности (КГ) приблизительно на 10%.
4. Описан алгоритм самообеспечения ЗЧ для выполнения ТОиР ПДМ на базе их изготовления в ПМ РМУ по предложенной технологии.
5. Разработана математическая модель взаимосвязи КГ с уровнем качества агрегатов ПДМ, обеспечиваемым при изготовлении ЗЧ к ним в ПМ РМУ по новой технологии, учитывающая их устройство и условия эксплуатации.
6. Установлены зависимости: КГ от затрат на снабжение ПДМ ЗЧ и потерь, вызванных их дефицитом при закупке ЗЧ от внешних поставщиков и при самообеспечении с применением различных типов станочного оборудования.
7. Оперативное изготовление поршней гидроцилиндров механизма рулевого управления с применением универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления позволило обеспечить их КГ более 0,96 при уровне качества 0,73 и средней интенсивности их 0,036 $сут^{-1}$ снизить производственные потери в 2-а раза, по сравнению с применением станков с РУ и в 5-ть раз по сравнению с закупкой у сторонних производителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований дано новое решение актуальной задачи выявления связей, определяющих влияние качества технологии изготовления запасных частей (ЗЧ) на показатели надёжности погрузочно-доставочных машин (ПДМ), что позволило решить важную практическую задачу повышения эффективности их использования на горнодобывающих предприятиях.

Результаты и выводы, полученные лично автором:

1. Разработан новый метод самообеспечения ПДМ ЗЧ заключающийся в их изготовлении с применением универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) в производственных модулях ремонтное-механических участков горных предприятий.

2. В результате экспериментальных исследований установлено, что применение универсальных станков с ИКСУ для изготовления ЗЧ позволяет повысить уровень качества на 20 – 25% за счёт повышения точности обработки на 65%, сокращения штучного времени более чем в 2 раза и снижения процента брака до уровня, ниже 1%.

3. Разработана методика комплексной оценки качества изготовления ЗЧ, учитывающего точность их размеров, процент брака и штучное время, реализация которого на аппаратно-программной базе ИКСУ универсального станка обеспечивает индикацию и оперативны контроль качества в процессе механической обработки деталей.

4. Для обоснования эффективности применения предложенного метода смообеспечения ЗЧ разработана математическая модель, определяющая расходы на ЗЧ с учётом издержек на их изготовление или приобретение и хранение и потерь от простев ПДМ вследствие дефицита ЗЧ. Она устанавливает взаимосвязь между коэффициентом готовности агрегатов ПДМ и качеством изготовления ЗЧ.

5. На основе разработанной модели получены зависимости коэффициента готовности агрегатов ПДМ от уровня качества изготовления ЗЧ. На примере изготовления поршней гидроцилиндров для ПДМ установлено, что предложенная технология позволила обеспечить коэффициент готовности гидроцилиндров ПДМ не менее 0,96 при уровне качества изготовления поршней к ним более 0,73.

6. Разработанный проект реализации технологии оперативного изготовления ЗЧ включён в программу технического перевооружения ремонтного предприятия КФ ООО «Механик». Экономический эффект от его использования достигается повышением коэффициента готовности агрегатов ПДМ на предприятии ОАО «Апатит» на боле чем 20% и сокращением на 80% производственных потерь из-за простоев ПДМ в ремонте по сравнению с закупкой ЗЧ у сторонних производителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О компании [Электронный ресурс] // ОАО «ФосАгро» - Режим доступа http://www.phosagro.ru/about/ (13.10.2011).
2. Продукция [Электронный ресурс] // ОАО «ФосАгро» - Режим доступа http://www.phosagro.ru/production/ (13.10.2011).
3. Глубокий, С.С. Оценка запасов апатит-нефелиновых руд. / С.С. Глубокий // Горный журнал. – 2009. - №9, - с. 22 – 24.
4. Григорьев, В.Г. Акционерному обществу «Апатит» - 75 лет. / В.Г. Григорьев // Минералогия Кукисвумчоррского месторождения. – 2004, - с. 7 – 13.
5. Шапошник, Ю.П. ОАО «Апатит»: 80 лет в авангарде горно-химической промышленности России. / Ю. П. Шапошник // Горный журнал. 2009. №9, - с. 17 – 22.
6. Пашкин, Л.Н. Организация ремонта горно-механического оборудования ОАО «Апатит» / Л.Н. Пашкин, С.Г. Коржаев // Горный журнал. - 2004. - №9, - с. 68 - 73.
7. Свинин, В.С. Стратегическое планирование - основа стабильности работы предприятия. / В. С. Свинин, А. Ю. Звонарь, В. Ю. Запорожец // Горный журнал. – 2009. - №9, - с. 25 – 28.
8. Городниченко, В.И. Основы горного дела. / В.И. Городниченко, А.П.Дмитриев - М.: Горная книга, 2008. — 456 с.
9. Образцов, А.Н. Опыт организации технического обслуживания и ремонта горного оборудования в ОАО «Апатит». / А.Н. Образцов, Н.А. Сисякин // Горный журнал. – 2009. - №9, - с. 66 – 69.
10. Отчёт по доразведке Юкспорского месторождения апатит-нефилиновых руд с коренной комплексной оценкой запасов 1995-2001 / А.С. Фаныгин – Кировск: ОАО «Апатит», 2001. - 180 с.
11. Отчёт по доразведке Кукисвумчоррского месторождения апатит-нефилиновых руд с коренной комплексной оценкой запасов 1995-2001 / Е.А.Каменев – Кировск: ОАО «Апатит». 2001, - 230 с.
12. Отчёт о работе самоходной техники Кировского рудника / С.В. Попов - Кировск: ОАО «Апатит», 2011, - 140 с.

13. Программа выпуска запасных частей механосборочного участка ремонтно-механического комплекса – Апатиты: ООО «АЭМС», 2011, - 42 с.
14. LH409E Spare Part Manual. - Turku, Finland: Sandvik Mining and Construction, 2011, - 417 p.
15. Toro 400E Инструкция по эксплуатации и безопасности. Турку, Финляндия: Tamrock Corp., 1997, - 34 с.
16. Деменкова, Е. А. Структурное моделирование системы поддержки работоспособного состояния технологических машин лесного комплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Деменкова Екатерина Алексеевна. - М., 2010. - 159 с.
17. Сергеев, В. Ю. Обоснование и разработка новой технологии фирменного сервисного обслуживания карьерных экскаваторов.: дис. ... канд. техн. наук.: 05.05.06 / Сергеев Валерий Юрьевич – М., - 2010. - 158 с.
18. Гамбаль, М. Ю. Оптимизация потребности запасных частей большегрузных автосамосвалов на карьерах Севера: автореф. дисс. ... канд. техн. наук.: 05.05.06 / Гимбаль Максим Юлианович – Иркутск, 2008, - 22 с.
19. Галимова, Е. О. Обоснование методики формирования резерва запасных частей для транспортных предприятий нефтегазового комплекса: автореф. дисс. ... канд. техн. наук.: 05.22.10 / Галимова Екатерина Олеговна - Тюмень, 2006. - 23 с.
20. Носенко, В.В. Сервисное обеспечение эксплуатации шахтных погрузочных машин и проходческих комбайнов избирательного действия: автореф. дисс. ... канд. техн. наук.: 05.05.06 / Носенко Виктория Владимировна – Новочеркасск, 2010, - 27 с.
21. Данилов, П. А. Снижение технических затрат при производстве запасных частей для подъёмно-транспортных машин.: дис. … канд. техн. наук.: 05.02.08 / Данилов Павел Алексеевич. – М., - 2009. - 163 с.
22. Вольф, А. К. Совершенствование обеспечения системы технического сервиса лесных машин запасными частями: автореф. дисс. ... канд. техн. наук.: 05.21.01 / Вольф Андрей Карлович – М., 2006, - 16 с.
23. Хроменко, А. А. Оптимизация управления многономенклатурными распределенными запасами ремонтируемых узлов сложной техники.: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.13.06 / Хроменко Алексей Александрович - М., - 2011, - 19 с.

24. Рыжиков, Ю.И. Управление запасами. / Ю.И. Рыжиков - М.: Наука. 1969. – 344 с.
25. Хедли Дж. Анализ систем управления запасами: Пер. с англ. / Хедли Дж., Уайтин Т. – М.: 1969, 512 с.
26. Рыжиков, Ю. И. Теория очередей и управление запасами: Учебное пособие. / Ю. И. Рыжиков – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
27. Сакович, В.А. Модели управления запасами. / В.А. Сакович – Минск: Наука и техника, 1986. - 319 с.
28. Стерлигова, А. Н. Управление запасами широкой номенклатуры. С чего начать? / А. Н. Стерлигова // ЛогИнфо. - 2003. - № 12. - С. 3.
29. Прасникова, С. С. Логистика запасов. / С. С. Прасникова, С. Ю. Чекмарев, В.А. Шаланда СПб.: ПЭИПК, 2006, - 65 с.
30. Ковалев, К. Логистика в розничной торговле: как построить эффективную сеть. / К. Ковалев, С. Уваров, П. Щеглов - СПб.: Питер, 2007. - 272 с.
31. Lee, S.G. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. / S.G. Lee, Y.-S. Ma, G.L. Thimm, J. Verstraeten // Computer in Industry 59, 2008, p. 296-303.
32. Андреева, Л. И. Регулирование потоков запасных частей к горному оборудованию. / Л. И. Андреева, О. А. Лапаева. // Горное оборудование и электромеханика. – №12. – 2006. – с. 40-43.
33. Таскин, С. П. Обеспечение запасными частями оборудования горных предприятий / С.П. Таскин, А.П. Макаров, С.Ю. Красноштанов // Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири: сб. науч. тр. 2006. №6, С. 122-126.
34. Шонбергер, Р. Японские методы управления производством (девять простых уроков). / Р. Шонбергер - М.: Экономика, 1988. – 251 с.
35. Бирбраер, Р. А. Особенности модернизации ремонтных предприятий крупных добывающих и металлургических холдингов. / Р.А. Бирбраер, В.В. Камчаткин, А. В. Московченко // Умное производство. - 2012. - март №1 (17). - С. 31-36.
36. ОК 012-93 Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Класс 72 М.: ВНИИКИ, 1991. — 60 с.
37. ОК 012-93 Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Класс 71, 72, 73, 74, 75, 76. Пояснительная записка – М.: ВНИИКИ, 1991, - 40 с.

38. ОК 021-95 Общероссийский технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004, - 181 с.
39. Методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis & Design Technique) / Дэвид А. Марка, К.МакГоуэн. – М.: Метатехнология, 1993. - 240 с.
40. Масляков, Н.С. Концепция обеспечения горных предприятий запасными частями для оперативного ремонта машин и оборудования «без запасов» / Н.С. Масляков, М.С. Островский // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении», 2014. с. 431 – 441.
41. Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении. / Б. М. Базров. – М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
42. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов. / Б.М. Базров – М.: Машиностроение, 2005. ¬ 736 с.
43. Серебреницкий, П.П. Программирование для автоматизированного оборудования. / П. П. Серебреницкий, А. Г. Схиртладзе – М.: Высшая школа, - 2003, - 592 с.
44. Системы ЧПУ [Электронный ресурс] // ООО «Компания «Группа 17» - Режим доступа http://elektronik-chel.ru/literature/sistemyi-chpu.html (08.10.2012).
45. Шарин, Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. / Ю.С. Шарин – М.: Машиностроение, 1986. - 176 с.
46. Веб-сайт компании разработчика устройства ПроЭмулятор: [Электронный ресурс] // ООО «Техтанко-21». - Режим доступа www.proemulator.ru (04.02.2013).
47. Yantovsky, A.V. Innovations in Machining. / A.V. Yantovsky – M.: National Defense #5, 2008, p. 44 – 45.
48. Янтовский А.В., Гуревич В.М. Способы работы на станке с неавтоматизированным управлением. – RU 2 381 089 C2 Патент на изобретение. Опубликован: 10.02.2010 Бюл №4
49. Масляков, Н.С. Преимущества универсальных станков с компьютерной системой управления. / Н. С. Масляков // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении». – 2012. – с. 404 – 412.
50. ПРО-эмулятор. Обучающий информационно-технологический комплекс. Токарный вариант. – М.: ООО «Техстанко-21», 2006. – 37 с.

51. Островский, М.С. Программирование обработки деталей горных машин на станках с ЧПУ / М.С. Островский, В.У. Мнацаканян, В.А. Тимирязев – М.: Изд. МГГУ, 2009 г. – 227 с.
52. ПРО-эмулятор. Инструкция по использованию AutoCAD для подготовки заданий. Токарный вариант. – М.: ООО «Техстанко-21», 2007. – 12 с.
53. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. Для вузов./ Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. - 767 с.
54. Соловьёв, В.П. Организация эксперимента: учебное пособие. / В.П. Соловьёв, Е.М. Богатов – Старый Оскол: ТНТ. 2012. – 256 с.
55. Скраган, В.А. Лабораторные работы по технологии машиностроения. / В.А. Скраган, И.С. Амосов, А.А. Смирнов - Л.: Машиностроение, 1974. - 192 с.
56. Демидович, Б.П. Краткий курс высшей математики: Учеб. Пособие для вузов / Б.П. Демидович, В.А. Кудрявцев. – М.: ООО «Издательство Астрель; ООО «Издательство АСТ», 2001. – 656 с.
57. Гмурман, В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003, - 479 с.
58. Толченов, Т.В. Техническое нормирование станочных и слесарно-сборочных работ. / Т. В. Толченов – М: МАШГИЗ, 1956, - 400 с.
59. ADEM – Автоматизация проектирования конструкторской и технологической подготовкой производства: [Электронный ресурс] // Группа компаний ADEM – Режим доступа – http://www.adem.ru (28.03.2015).
60. Масляков, Н.С. Модернизация универсальных станков за счёт интерактивной компьютерной системы управления / Н.С. Масляков // Ремонт, восстановление, модернизация, 2013. №4 с. 25 – 30.
61. Масляков, Н.С. Новая технология оперативного изготовления запасных частей в ремонтном производстве горных предприятий / Н.С. Масляков, М.С. Островский // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении», 2014. – с. 442 – 452.
62. Масляков, Н.С. Модернизация универсальных станков интерактивной компьютерной системой управления и её влияние на технологические

показатели при изготовлении деталей / Н.С. Масляков, А.Г. Исхаков // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении», 2015, - с. 234-243.

63. Масляков, Н.С. Методика комплексной оценки качества изготовления деталей в процессе их обработки на универсальных станках / Н.С. Масляков, М.С. Островский // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении», 2015. – с. 39 – 48.
64. Солод, Г.И. Избранные труды. Т. 1. Качество горных машин. /Г.И. Солод - М.: ОП МГГУ, 2011, - 251 с.
65. Масляков, Н.С. Механизация и автоматизация механической обработки в ремонтном производстве / Масляков Н.С. // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении», 2013. – с. 265 – 277.
66. Масляков, Н.С. Новый подход к созданию гибкой технологии производства запасных частей для самообеспечения горных предприятий/ М.С. Островский, Н.С. Масляков // Горное оборудование и электромеханика, 2013. №6. с. 23-27.
67. Волосов, С.С. Управление качеством продукции средствами активного контроля. / С.С. Волосов, З.Ш. Гейлер. - М.: Изд-во стандартов, 1989, 264 с.
68. Прошин А.А. Синез оптимальных подналадочных систем на ЭВМ: автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 1985, - 27 с.
69. Балакшин, Б.С. Адаптивное управление станками / Б.С. Балакшин - М.: Машиностроение, 1973. – 688 с.
70. Гейлер, З.Ш. Самонастраивающиеся системы активного контроля размеров. / З.Ш. Гейлер – М.: Машиностроение, 1978, - 224 с.
71. Ишуткин, В.И. Настройка металлорежущих станков / В.И. Ишуткин – М.: Машгиз, 1960. - 104 с.
72. Технология машиностроения. Методические указания к выполнению лабораторных работ. - Санкт-Петербург: ГУ путей сообщения, 2005. – 59 с.
73. Колесов, И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. / И.М. Колесов - М.: Машиностроение, 1997, - 597 с.

74. Продукция [Электронный ресурс] // ООО «Средневолжский станкозавод» - Режим доступа http://www.svsz.ru/products/stanki-svsz/ (12.05.2013).
75. Каталог оборудования [Электронный ресурс] // ООО «Кнут Индустрия» - Режим доступа http://www.knuth-industry.ru/catalog/ (15.05.2013).
76. Бирбраер, Р. А. Основы инженерного консалтинга: теория, экономика, организация. / Р. А. Бирбраер, И.Г. Альтшулер – 2-е изд., перераб., доп. М.: Дело, 2007. – 232 с.
77. Шубина, Н.Б. Материаловедение. Разработка технологического процесса термической обработки», учебное пособие для выполнения курсовой работы. / Н.Б. Шубина, О.В. Белянкина. – М.: МГГУ, 2007, - 85 с.
78. Радкевич, Я. М. Расчёт припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. для машиностроит. спец. вузов – 2-е изд., стер. / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский – М.: Высш. шк., 2007. – 272 с.
79. Масляков, Н.С. Требования к станочному оборудованию ремонтного производства. / Н.С. Масляков, В.В. Камчаткин // Сборник научных трудов, семинар «Современные технологии в горном машиностроении». 2012. с. 396-403.
80. Шубина, Н.Б. Проектирование машиностроительного производства: Учебное пособие. / Н.Б. Шубина, О.В. Белянкина - М.: Горная книга, 2009. - 115 с.
81. Мельников, Г. Н. Проектирование механосборочных цехов. Учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов. / Г.Н. Мельников, В.П. Вороненко; под ред. А. М. Дальского - М.: Машиностроение, 1990. - 352 с.
82. Туровец, О.Г., Организация производства на предприятии / О. Г. Туровец, Б.Ю. Сербиновский - Ростов-на-Дону: ИЦ МарТ, 2002. - 464 с.
83. ГОСТ 18322-78 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1980, - 13 с.
84. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Государственный стандарт союза ССР, 1990, - 24 с.
85. Ушаков, И.А. Курс теории надежности систем. Учебное пособие./И.А. Ушаков - М.: Дрофа, 2008. — 239 с.
86. Курбатова, О.А. Монтаж и ремонт горных машин и электрооборудования: Учеб. Пособие. / О.А. Курбатова, В.М. Павлюченко – Владивосток: ДВГТУ. – 2014. – 286 с.

87. Трегубов, Н.М. Ремонт горных машин. / Н.М. Трегубов, Л.Ф. Акастелов - М.: Недра, 1978.- 176 с.
88. Руцков, Е. ПО для автоматизации процессов управления ТОиР / Е. Руцков, Е. Данилова // Intalligent Enterprise. - 2004. - №9 (98). - С. 36-41.
89. Сидоренко, В. Д. Опыт применения информационной системы «TRIM – Жизнь машины» на карьере / В. Д. Сидоренко, А. П. Станков, К. Ю. Анистратов // Вестник Криворожского технического университета. - 2011. - вып. 29. - С. 28-30
90. Антоненко, И. Особенности внедрения информационных систем управления ТОиР / И. Антоненко, В. Матюшин // Техническое обслуживание и ремонт. 2010. №1. - С. 45-49.
91. Баркова, Н.А. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: учеб. пособие / Н.А. Баркова, Ю.С. Дорошев. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2009, - 157 с.
92. Судов, Е.В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е. В. Судов, А. И. Левин – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 2002. - 131 с.
93. Ковшов, А. Н. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения. Принципы, системы и технологии CALS/ИПИ. / А. Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров,и др. – М.: Издательский центр «Академия». 2007. - 304 с.
94. Давыдов, А. Н. CALS - поддержка жизненного цикла продукции. Руководство по применению. / А. Н. Давыдов, В. В. Барабанов, С. С. Шульга – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». - 1999. - 44 с.
95. Судов, Е.В. Интегрированная логистическая поддержка изделия. Концепция. / Е.В. Судов, А.И. Левин. – М.: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика». 2002. - 70 с.
96. Р 50.1.029 – 2001 Информационные технологии поддержки ЖЦ продукции. Интерактивные электронные технические руководства. Общие требования к содержанию, стилю и оформлению. Рекомендации по стандартизации. – М.: Госстандарт России, 2001. – 27 с.
97. Р 50.1.030 – 2001 Информационные технологии поддержки ЖЦ продукции. Интерактивные электронные технические руководства. Требования к логистической структуре баз данных. Рекомендации по стандартизации. – М.: Госстандарт России, 2001. – 37 с.

98. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. / Е.С. Вентцель - М.: Наука, 1969. - 576 с.
99. Новиков, О.А. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. / О.А. Новиков, С.И. Петухов – М.: Советское радио, 1969. – 400 с.
100. Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2-е изд., стер. / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988, - 208 с.
101. Кофман, А. Массовое обслуживание. Теория и приложения. / А. Кофман, Р. Кюон – М.: МИР, 1965. – 303 с.
102. Набатников, Ю.Ф. Повышение точности изготовления силовых гидроцилиндров механизированных крепей путём совершенствования технологического процесса сборки: дис. ... докт. тех. наук: 05.02.08 / Набатников Юрий Фёдорович – М.: - 2012. - 252 с.
103. Кантович, Л.И. Горные машины: Учеб. для. техникумов. / Л.И. Кантович, В.Н. Гетопанов – М.: Недра, 1989, - 304 с.
104. Тихонов, Н.В. Транспортные машины горных предприятий. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Н.В. Тихонов – М.: Недра, 1985, - 336 с.
105. Чернышов, В. Н. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / В.Н. Чернышов – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. Ун-та, 2008, - 96 с.
106. Иванова, П.В., Системы организации стратегии технического обслуживания и ремонта горных машин. / П.В. Иванова, Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю., Шибанов Д.А. // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции "Актульные проблемы технических наук в россии и зарубежом". 2015. с. 46-48.
107. Кантович, Л.И. Машины и оборудование для горностроительных работ / Л.И. Кантович, Г.Ш. Хазанович, В.В. Волков, Э.Ю. Воронова, А.В. Отроков, В.Г. Черных - М.: Горная книга. 2013. - 445 с.
108. Рахутин М.Г. Управление резервом запасных частей - один из путей повышения эффективности работы горнодобывающих предприятий // Горный журнал. - 2006. - № 12. - с. 32-33.
109. Галкин В.И., Шешко Е.Е. Транспортные машины. Учебник. - М.: «Горная книга».-2010.- 585 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – АКТ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ В КФ ООО «МЕХАНИК» Г. АПАТИТЫ

Общество с ограниченной ответственностью

«Механик» (ООО «Механик»)
Шоссе Северное, 75, г. Череповец, Вологодская область, 162625
ОГРН 1143528006412, ИНН 3528215377, КПП 352801001
ОКФС 16, ОКОГУ 4210014, ОКОПФ 30002

Кировский филиал ООО «Механик»
Промплощадка АНОФ-2, д. 22, г. Апатиты, Мурманская область, 184209
Тел. (81555) 38-621, Факс (815 55) 38-612, КПП 511843001, ОКПО 16444822

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
Кировского филиала ООО «Механик»
Янковский О. Д.
«24» ноября 2014 г.

АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы **Маслякова Н.С.** на тему: **«Обоснование и разработка метода повышения технической готовности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин»**, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук

Настоящий акт составлен о том, что результаты диссертационных исследований, выполненных сотрудником кафедры «Технология машиностроения и ремонт горных машин» в «Горном институте» Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» Масляковым Никитой Сергеевичем заслушаны и обсуждены на производственно-техническом совещании ООО «Механик». Разработанные автором предложения по совершенствованию технологии изготовления запасных частей для погрузочно-доставочных машин (ПДМ) включены в программу технического перевооружения ремонтно-механического комплекса (РМК) ООО «Механик» и включают в себя:

1. Результаты исследований технологических показателей, достигаемых при модернизации универсальных станков интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ) «ПроЭмулятор».

2. Методику конструкторско-технологической подготовки производства запасных частей, изготавливаемых на универсальных станках, модернизированных ИКСУ «ПроЭмулятор» с применением системы автоматизированного проектирования Adem CAD/CAM.
3. Проект организации производственного модуля для оперативного изготовления запасных частей в ремонтно-механических участках.
4. Методику расчёта затрат на владение запасными частями, учитывающую издержки на их снабжение и потери от простоев ПДМ в ремонте из-за дефицита запасных частей.
5. Пример технико-экономического обоснования эффективности применения универсальных станков, модернизированных ИКСУ «ПроЭмулятор» для изготовления типовой запасной части.

Приведённые Никитой Сергеевичем результаты исследований применения универсальных металлорежущих станков, модернизированных ИКСУ «ПроЭмулятор» для изготовления запасных частей позволяют достичь следующих результатов:

1. Повысить точность изготовления запасных частей на 65% и сократить производственный брак до 1%, обеспечив возможность изготовления запасных частей с требованиями по точности до 9 квалитета.
2. Сократить в 2 раза штучное время изготовления запасных частей в условиях невысокой квалификации рабочих-станочников, что позволяет снизить себестоимость их изготовления не менее чем на 10% по сравнению с имеющемся универсальном станочном оборудованием.
3. Снизить затраты на обеспечение запасными частями ПДМ на 17% при коэффициенте готовности 0,95.

Зам. директор ПТО по производству (*Семендяев А.С.*)

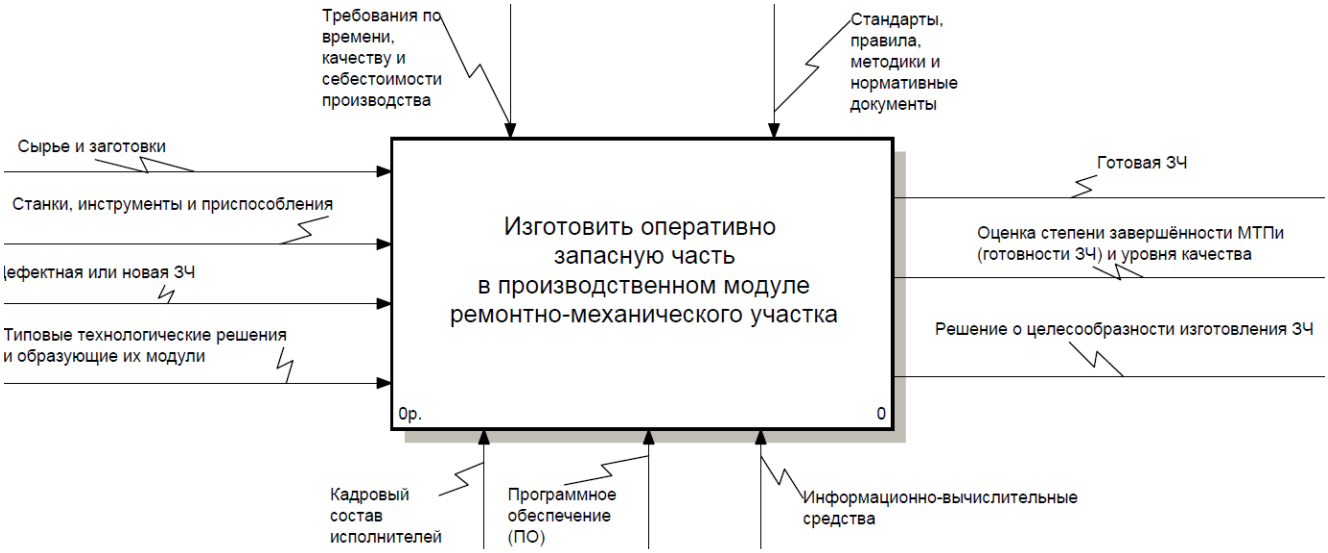
Начальник РМК (*Кулаков П.А.*)

Главный специалист по ремонтам (*Абросимов О.В.*)

Начальник механического цеха (*Иванов Е.В.*)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – ПРОЕКТ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ РЕМОНТНО-МЕХАНИЧЕСКОГО УЧАСТКА

Информационно-функциональная модель технологии оперативного изготовления запасных частей в производственном модуле ремонтно-механического участка



Цель модели:

Описать структуру технологии оперативного изготовления запасных частей в производственном модуле ремонтно-механического участка и определить состав средств, исполнителей, правил и порядок организации их взаимодействия для технико-экономического обоснования эффективности её применения.

Точка зрения:

Главного инженера рудника.

Рисунок Б. 1 – Изготовить оперативно запасную часть в ПМ РМУ (А-0)

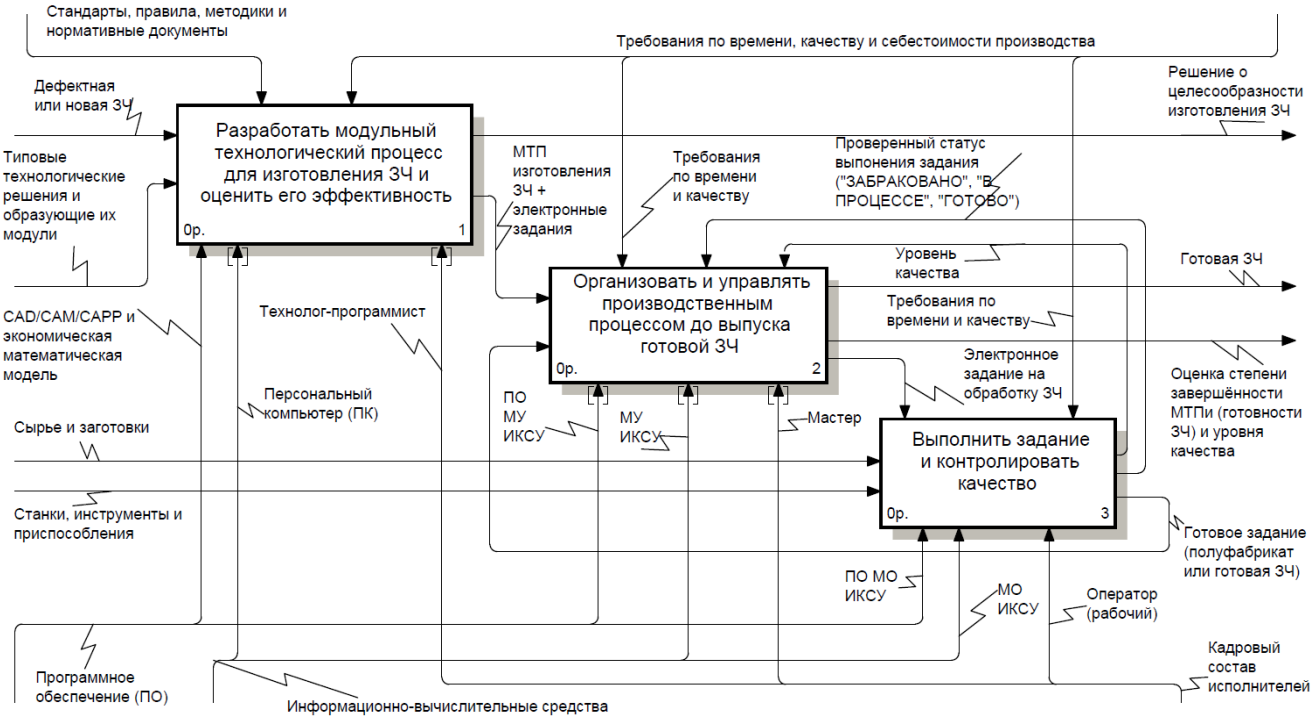


Рисунок Б. 2 – Декомпозиция блока «Изготовить оперативно ЗЧ в ПМ РМУ» (А0)

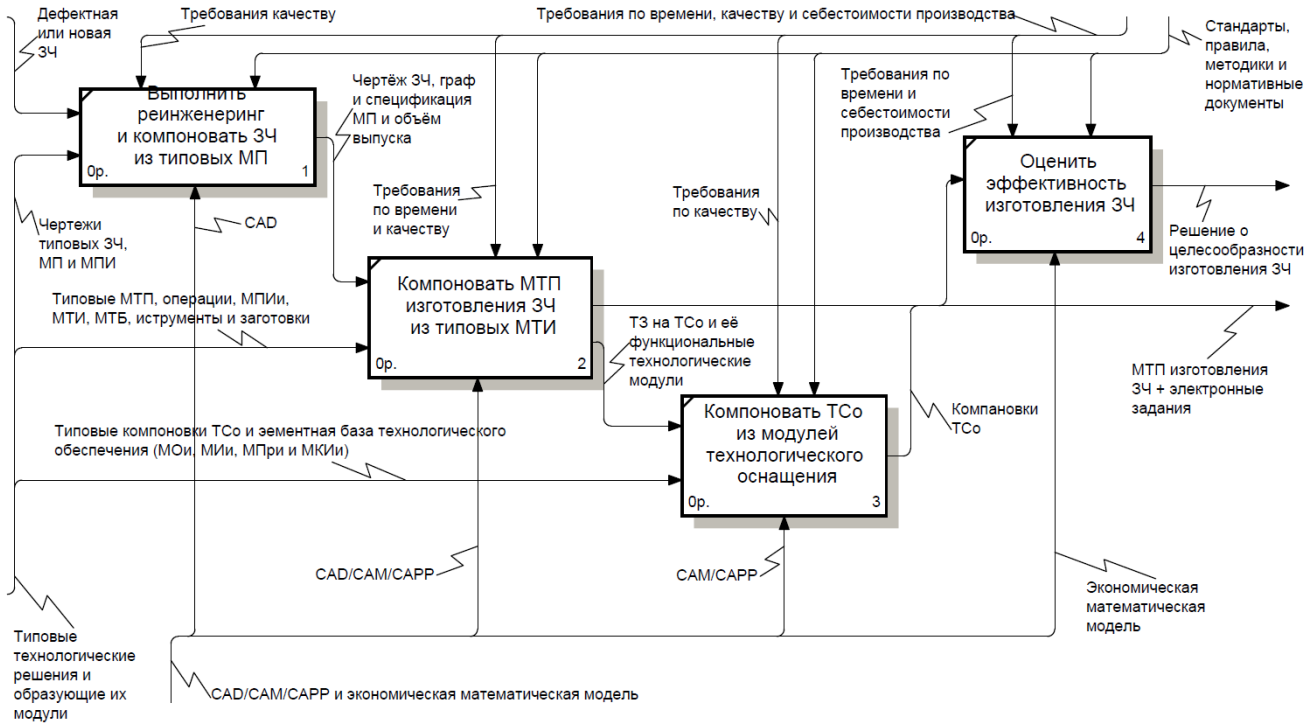


Рисунок Б. 3 – Декомпозиция блока «Разработать модульную технологию для изготовления ЗЧ и оценить её эффективность» (А1)

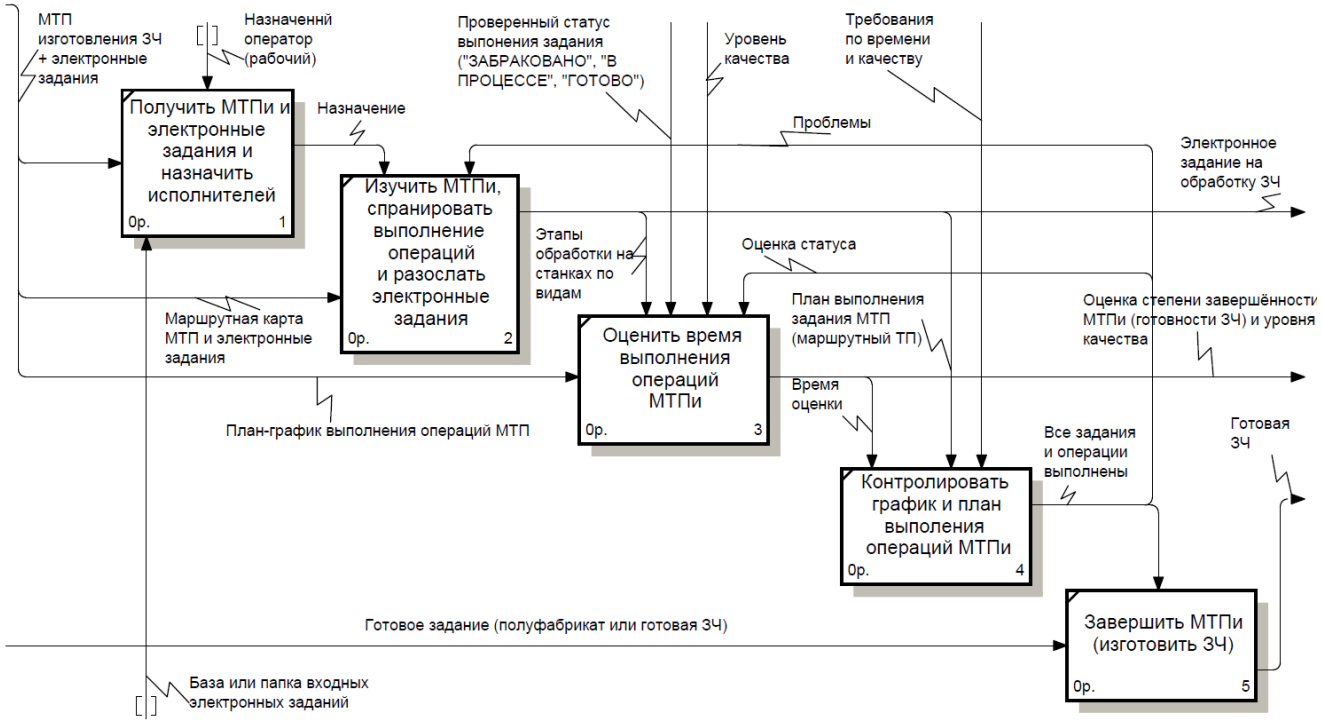


Рисунок Б. 4 – Декомпозиция блока «Организовать и управлять производственным процессом до выпуска готовой ЗЧ» (А2)

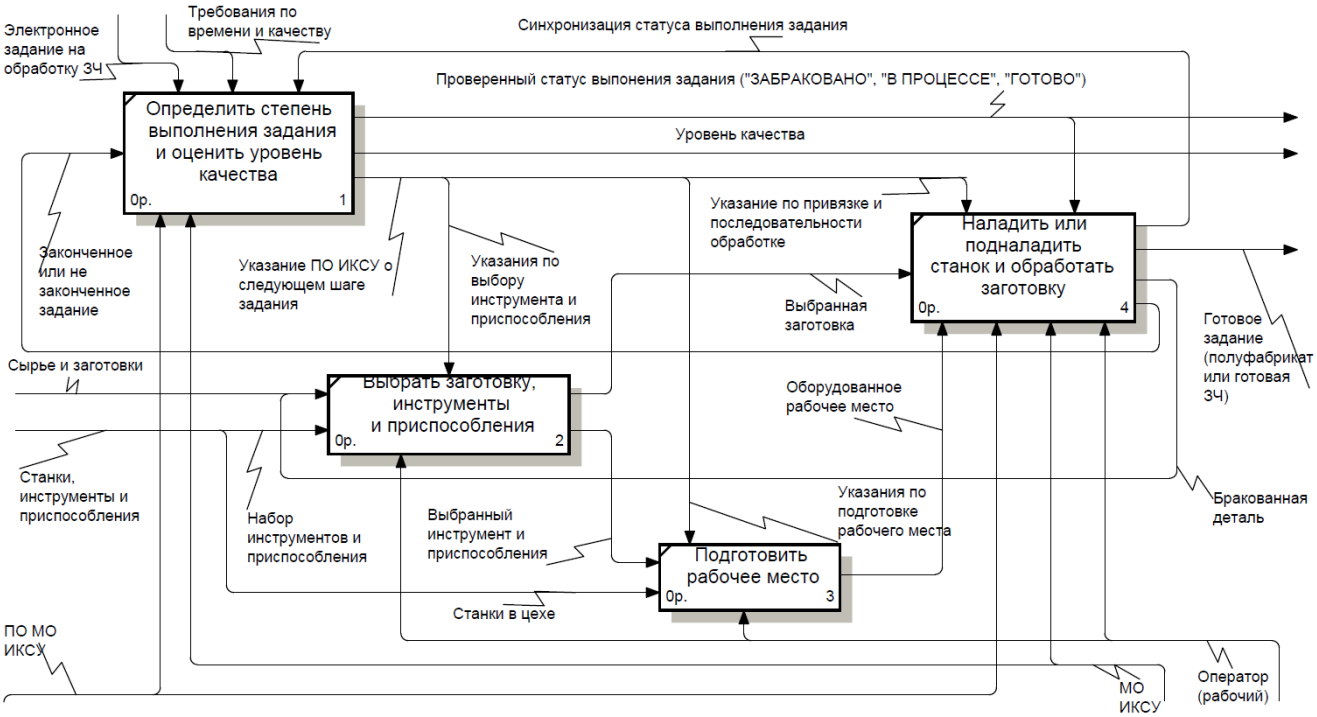


Рисунок Б. 5 – Декомпозиция блока «Выполнить задание и контролировать его качество» (А3)

Применяемые средства автоматизации

Таблица Б. 1 – Состав и конфигурации ИКСУ «ПроЭмулятор», применяемых для модернизации парка универсальных станков ПУ ПМУ

Оборудование	Количество, шт.
Устройство для универсальных 2-х координатных токарных станков с электронным глазом (ЭГ) и электронным щупом (ЭЩ) - **104-ПЭ1**	1
Устройство для универсальных 4-х координатных координатно-расточных станков с поворотным столом или делительной головкой с ЭГ и ЭЩ – **304-ПЭ1**	1
Устройство для универсальных 2-х координатных кругло-шлифовальных станков с ЭГ и ЭЩ - **402-ПЭ1**	1

Таблица Б. 2 – Состав аппаратно-программных средств автоматизированного рабочего места технолога и мастера

Наименование аппаратно-программных средств	Количество, шт.
Автоматизированное рабочее место мастера	
Преподавательский центр - **701-ПЭПЦ**	1
Автоматизированное рабочее место технолога	
Adem CAD/CAM/CAPP, AutoCAD и встроенные редакторы заданий и инструментов.	1
Персональный компьютер	1
Встроенные модули технологической подготовки заданий для ИКСУ «ПроЭмулятор»	1

Таблица Б. 3 – Состав и условные обозначения технических средств производственного модуля ремонтно-механического участка

Условное обозначение	Значение	Коли-чество
1	Склад заготовок	1
2	Горизонтальная ленточная пила ленточная пила **HB 280 B**	1
3	Токарно-винторезный станок повышенной точности **SAMAT 400 XV**	1
4	Сверлильно-фрезерный станок **KBF 50**	1
5	Механический круглошлифовальный станок **RSM 500 A**	1
6	Стеллаж	1
7	Камерная закалочная печь **ПКМ 4.8.4/11,5**	2
8	Масляная закалочная ванна **ВМ 9.7.7/0,6**	1
9	Моечная машина **ВП 9.7.7/0,9**	1
10	Камерная отпускная печь **ПКМ 7.7.10/7**	2
11	Щит управления	2
12	Тележка	1
13	Передвижной гидравлический ручной кран	1
14	Рабочее место	4
15	Приёмочный стол	3
16	Инструментальная тумба	3
17	Стеллаж приспособлений	3
18	Стеллаж готовых деталей	3
19	Шкаф с документами	3
ИКСУ	Интерактивная компьютерная система управления	3
ЛС	Локальная сеть	1
СБДКТ и ОИ	Сервер баз данных конструкторско-технологической и оперативной информации	1
ПКМ	Персональный компьютер мастера (модуль управления работой ИКСУ)	1
ПКТ	Персональный компьютер технолога	1
КИМ	Контрольно-измерительная машина для реинжиниринга деталей	1
РММ	Рабочее место мастера	1
РМТ	Рабочее место технолога	1
АСУП РМЗ	Автоматизированная система управления предприятием ремонтно-механического завода	1
СТБ	Стенд технической безопасности	1
ЩПО	Щит пожарной охраны	1
ПЯ	Пожарный ящик с песком	1
ПК	Пожарный кран	1
I	Заготовительное отделение	
II	Отделение механической обработки	
III	Отделение термической обработки	
IV	Административное и служебное помещение	
V	Бытовое помещение, комната отдыха, склад инструментов, приспособлений, расходных материалов и запасных частей	

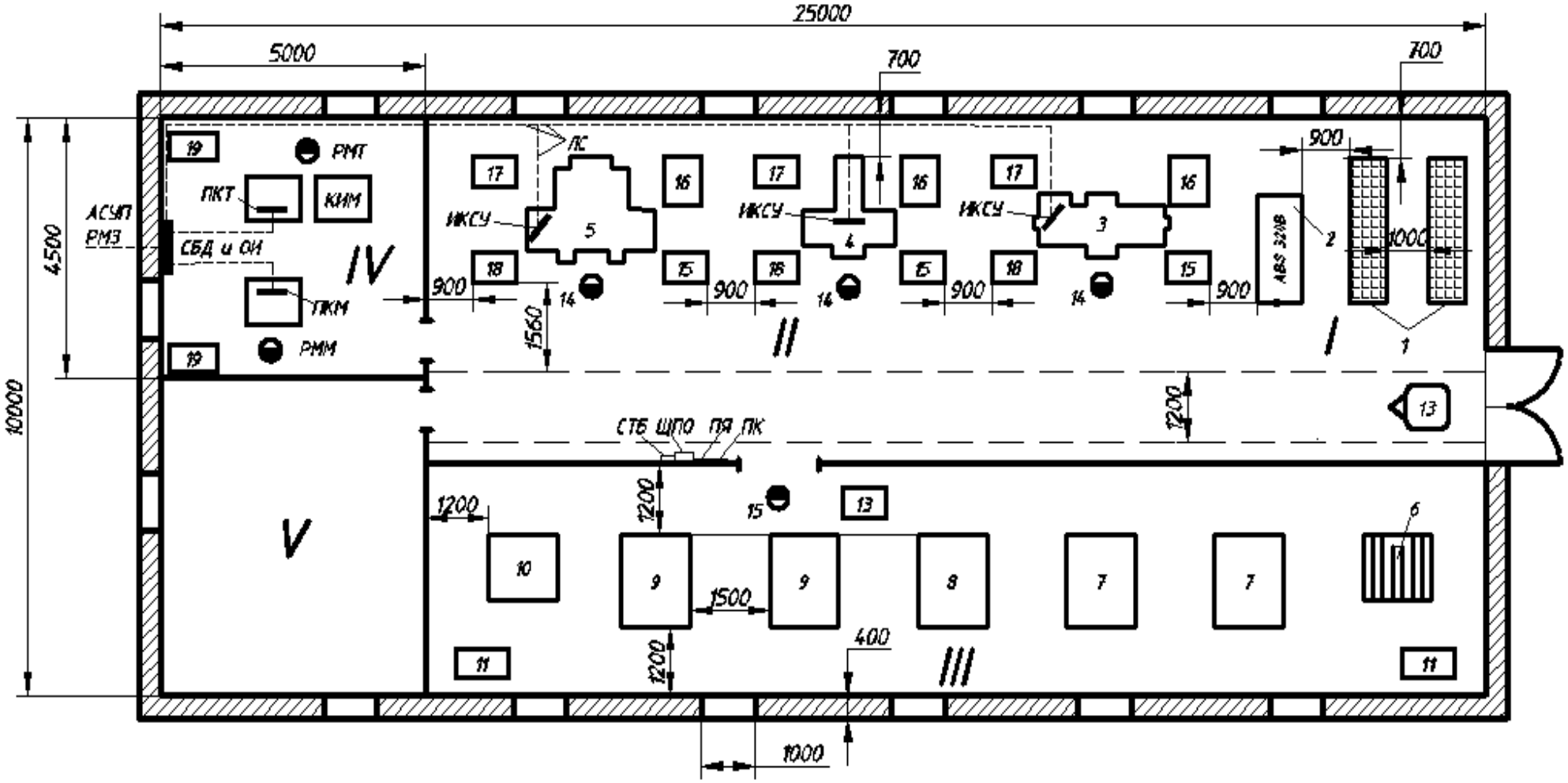


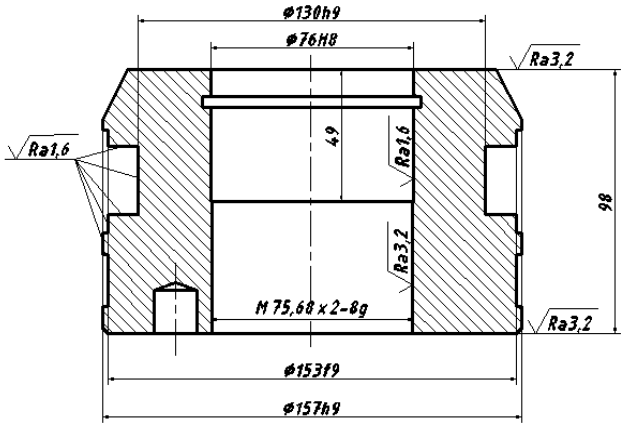
Рисунок Б. 6 – Планировка производственного модуля ремонтно-механического участка горного предприятия, оперативно изготавливающего запасные части по предлагаемой технологии

ПРИЛОЖЕНИЕ В – ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНКОВ С ИНТЕРАКТИВНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

Таблица В. 1 – Сравниваемые типы и представляющих их модели станков используемые для изготовления запасных частей в рамках производственного модуля ремонтной мастерской

Тип станка	Марка станка	Себестоимость, руб.
Универсальный станов (РУ)	Токарно-винторезный станок **SAMAT 400 XV**	897000
	Сверлильно-фрезерный станок **KBF 50**	470000
	Круглошлифовальный станок **RSM 500A**	995000
Универсальный станок + ИКСУ	Токарно-винторезный станок **SAMAT 400 XV + 104-ПЭ1**[30]	897000 + 166510
	Сверлильно-фрезерный станок **KBF 50 + 304-ПЭ1**[31]	470000 + 240000
	Круглошлифовальный станок **RSM 500A + 402-ПЭ1**[32]	995000 + 156246
Станок с ЧПУ	Токарный станок с ЧПУ **16Б16Т1 (SAMAT 135 NC)**	1897000
	Фрезерный станок с ЧПУ **ОРША-Ф32ВФ3**	3100000
	Круглошлифовальный станок **RSM 500 CNC**	3000000

Таблица В. 2 – Детали представители групп, образующих годовую программу выпуска ПМ РМУ

Комплексная деталь, представитель группы	Эскиз детали	Типы деталей, описываемых комплексной деталью
Поршень		**Поршень, штуцер, фланец, диск, гайка**

[30] **104-ПЭ1** – модификация ИКСУ «ПроЭмулятор» для универсальных 2-х координатных токарных станков с электронным глазом (ЭГ) и электронным щупом (ЭЩ).

[31] **304-ПЭ1** – модификация ИКСУ «ПроЭмулятор» для универсальных 4-х координатных координатно-расточных станков с поворотным столом или делительной головкой с ЭГ и ЭЩ

[32] **402-ПЭ1** – модификация ИКСУ «ПроЭмулятор» устройство для универсальных 2-х координатных круглошлифовальных станков с ЭГ и ЭЩ.

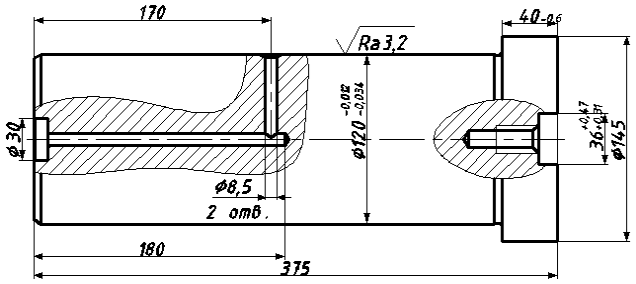
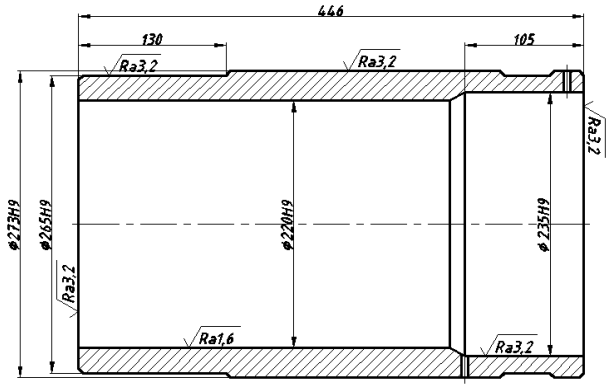
Палец		**Палец, вал, ролик, ось, стопор, шпилька, болт, деталь износа, деталь скольжения**
Гильза		**Гильза, втулка, кольцо, шайба**

Таблица В. 3 – Приведённая программа выпуска (3-м деталям представителям) и штучно-калькуляционное время её изготовления по технологическими процессам, с разными типами станочного оборудования

№ п.п.	Деталь	Годовой выпуск N, шт.	Кпр	Приведённая программа Nпривед, шт.	Тшт.к., мин./дет.		
					РУ	ИКСУ	ЧПУ
1	Поршень ГЦМРУ НЧ ТМБ-8.392	12	1,00	12	481,69	436,20	470,41
2	Поршень ГЦМОК ТММ-186.000	6	0,63	4	302,71	274,13	295,62
3	Поршень ГЦМРУ НЧ ТМБ-8.283	6	1,54	10	740,58	670,65	723,24
4	Поршень НЧ00810220	6	1,13	7	545,32	493,83	532,55
5	Поршень НЧ02147500	6	0,94	6	452,16	409,47	441,58
6	Поршень НЧ15360048	6	1,21	8	580,72	525,89	567,12
7	Поршень 02148645	36	0,87	32	417,86	378,41	408,08
8	Поршень 57827480	9	0,99	9	478,67	433,47	467,46
9	Штуцер НЧ15194208	9	0,15	2	71,59	64,83	69,91
10	Штуцер переходник 23468518	30	0,13	5	64,59	58,49	63,08
11	Фланец промежуточный НЧ 15422198	6	0,34	3	161,39	146,15	157,61
12	Фланец НЧ5320-220123	6	0,49	3	234,03	211,93	228,55
13	Фланец на палец НЧ Р-4821.00.001	3	0,51	2	245,18	222,03	239,44
14	Фланец на палец НЧ Р-4821.00.001	3	0,42	2	201,97	182,90	197,24
15	Фланец НЧ 02790110	3	0,60	2	287,48	260,34	280,75
16	Диск тормозной 57019952	36	0,29	11	139,12	125,99	135,87
17	Диск тормозной 57019952	36	0,29	11	139,12	125,99	135,87
18	Гайка заглушка НЧ15077268	54	0,06	4	30,15	27,30	29,44
19	Гайка-заглушка НЧ15263888	48	0,04	3	20,27	18,35	19,79
20	Палец ЦПС НЧ ТММ-100.001	6	1,00	6	1523,89	1495,55	1523,63
21	Палец НЧ20823808	6	1,58	10	2407,88	2363,09	2407,46
22	Палец 26200708	12	0,90	11	1373,41	1347,87	1373,17
23	Палец ГЦМРУ НЧ ТМБ-8.262	30	0,71	22	1083,84	1063,68	1083,65
24	Палец ГЦМРУ ТММ-100.007	30	0,77	24	1179,25	1157,32	1179,05
25	Палец ковша НЧ ТМК-04.044	6	1,11	7	1693,22	1661,72	1692,92

26	**Палец ковша НЧ ТМК-04.045**	6	1,87	12	2849,12	2796,13	2848,63
27	**Палец подъёма стрелы НЧ ТММ-100.002**	3	1,66	5	2534,52	2487,38	2534,08
28	**Палец сочленения НЧ ТММ-100.005**	3	1,59	5	2428,83	2383,65	2428,41
29	**Палец ГЦМОК НЧ ТММ-100.004**	36	0,85	31	1294,16	1270,09	1293,94
30	**Вал НЧ15010108**	36	0,40	15	608,29	596,97	608,18
31	**Вал НЧ260199698**	3	0,52	2	784,93	770,33	784,80
32	**Вал ведущий НЧ110200290**	6	0,49	3	740,38	726,61	740,25
33	**Вал направляющий НЧ110200020**	6	0,51	4	772,60	758,23	772,46
34	**Вал промежуточный НЧ К14.02.01.060**	24	0,36	9	551,31	541,06	551,21
35	**Ролик верт. НЧ ТММ-131.007**	12	0,16	2	488,06	478,99	243,99
36	**Ролик гор. НЧ ТММ-131.002**	6	0,18	2	279,63	274,43	279,58
37	**Ось НЧ Р-4821.00.002**	6	0,07	1	104,77	102,82	104,75
38	**Ось кулисы ТММ-100.009**	3	0,04	1	62,55	61,39	62,54
39	**Стопор пальца ГЦМОК ТММ-92.007**	30	0,07	3	109,81	107,77	109,79
40	**Стопор пальца ГЦМОК ТММ-92.008**	60	0,07	5	109,57	107,53	109,55
41	**Болт НЧ02816730**	30	0,22	7	331,49	325,32	331,43
42	**Болт НЧ15023298**	12	0,41	5	622,67	611,09	622,56
43	**Болт НЧ15060148**	30	0,06	2	93,47	91,73	93,45
44	**Болт НЧ15065218**	54	0,19	11	290,86	285,45	290,80
45	**Болт НЧ15261208**	60	0,27	17	416,66	408,91	416,58
46	**Болт НЧ29601327**	24	0,10	3	159,08	156,12	159,05
47	**Болт НЧ29601328**	24	0,22	6	342,77	336,39	342,71
48	**Болт DIN 931 20х200**	30	0,29	9	436,51	428,39	436,43
49	**Болт DIN 931 8.8. 20х180**	30	0,23	7	351,68	345,14	351,62
50	**Болт DIN 933 24Х120**	60	0,10	7	156,38	153,47	156,35
51	**Болт стяжной НЧ15263908**	60	0,24	15	369,42	362,55	369,35
52	**Деталь износа НЧ09144008**	21	0,19	5	293,23	287,78	293,18
53	**Деталь скольжения НЧ26337628**	120	0,18	22	270,91	265,87	270,86
54	**Гильза НЧ15027638**	12	1,00	12	265,58	242,44	279,16
55	**Гильза НЧ15052008**	6	1,29	8	341,42	311,67	358,89
56	**Гильза НЧ4400=09-20**	6	1,45	9	385,08	351,53	404,78
57	**Гильза 04185295**	36	1,02	37	270,48	246,91	284,31
58	**Гильза буксы промывки ТМБ-8.327**	69	0,70	49	187,05	170,75	196,62
59	**Гильза НЧ15214318**	3	0,64	2	171,14	156,23	179,89
60	**Гильза подшипника 15176708**	3	0,51	2	135,24	123,46	142,16
61	**Гильза подшипника 15176958**	3	0,49	2	130,96	119,55	137,66
62	**Гильза подшипника РМ-4.940**	3	0,49	2	130,96	119,55	137,66
63	**Втулка стрелы РМ-8.464**	24	0,45	11	69,29	65,61	84,46
64	**Втулка штока ГЦМОК ТММ-101.023**	30	0,40	13	28,03	26,54	34,16
65	**Втулка ЦП НЧ РМ-8.381**	30	0,43	14	30,03	28,43	36,61
66	**Втулка уплотнительная ТММ-101.022**	60	0,30	19	21,05	19,93	25,66
67	**Втулка тяги ТММ-101.021**	60	0,39	24	27,06	25,63	32,99
68	**Втулка сочленения НЧ ТММ-101.009**	6	0,55	4	38,23	36,20	46,60
69	**Втулка сочленения НЧ ТММ-101.008**	6	0,46	3	31,80	30,11	38,76
70	**Втулка рул.о цил. НЧ ТММ-75.000**	12	0,43	6	29,73	28,16	36,25
71	**Втулка пер. полурамы НЧ ТМБ-8.433**	6	0,49	3	33,77	31,97	41,16
72	**Втулка НЧ ТММ-82.000**	12	0,45	6	31,35	29,68	38,21
73	**Втулка кулисы НЧ Р-4821.01.103**	12	0,45	6	31,30	29,64	38,15
74	**Втулка кулисы НЧ Р-4821.01.104**	12	0,39	5	27,23	25,78	33,19
75	**Втулка кулисы ТММ-101.016-01**	12	0,45	6	31,35	29,68	38,21
76	**Втулка кулисы НЧ Р-4660.04.001**	6	0,45	3	31,15	29,50	37,97
77	**Втулка кулисы НЧ Р-4821.01.008**	6	0,50	4	34,78	32,93	42,40
78	**Втулка кулисы ТММ-101.016**	12	0,46	6	32,15	30,45	39,20
79	**Втулка ковша НЧ Р-4660.03.002А**	60	0,39	24	27,06	25,63	32,99
80	**Втулка ковша НЧ ТММ-76.000**	18	0,38	7	26,42	25,02	32,20

81	**Втулка ковша НЧ ТММ-101.004**	60	0,47	29	32,72	30,98	39,89
82	**Втулка ковша НЧ Р-4660.02.028А**	30	0,43	14	30,03	28,43	36,61
83	**Втулка НЧ00810160**	12	0,55	7	38,28	36,25	46,66
84	**Втулка НЧ00862290**	24	0,48	12	33,49	31,71	40,83
85	**Втулка НЧ15214298**	27	0,17	5	11,68	11,05	14,23
86	**Втулка НЧ55052086**	24	0,17	5	11,88	11,25	14,49
87	**Втулка НЧ57827460**	3	0,67	2	46,09	43,64	56,18
88	**Втулка НЧ57827470**	3	0,23	1	16,23	15,37	19,79
89	**Втулка 100031189**	3	0,21	1	14,66	13,88	17,87
90	**Втулка 20994248**	48	0,42	21	29,20	27,65	35,60
91	**Втулка 545668**	12	0,51	7	35,21	33,34	42,92
92	**Втулка HL1010 YX55034197**	6	0,61	4	42,48	40,22	51,78
93	**Втулка балансира НЧ ТМБ 17.247**	3	0,68	3	47,13	44,63	57,45
94	**Втулка кассеты НЧ ТМБ-4.1074А**	36	0,45	17	31,12	29,46	37,93
95	**Втулка ковша НЧ ТММ-101.004**	60	0,43	27	30,07	28,47	36,66
96	**Втулка муфты НЧ 04146009**	3	0,23	1	16,23	15,37	19,79
97	**Втулка НЧ15010088**	21	0,51	11	35,20	33,33	42,91
98	**Втулка подшипника НЧ34483978**	24	0,50	12	34,50	32,67	42,06
99	**Кольцо НЧ57908709**	12	0,33	4	87,21	79,61	91,67
100	**Кольцо НЧ867011145**	6	0,27	2	70,96	64,78	74,59
101	**Кольцо НЧ SF60.4-63.5**	60	0,25	15	65,65	59,93	69,01
102	**Кольцо 01137470**	48	0,11	6	29,22	26,68	30,72
103	**Кольцо 3.05 НЧ04189232**	36	0,11	5	30,51	27,85	32,07
104	**Кольцо НЧ537599**	6	0,17	2	45,02	41,10	47,33
105	**Кольцо НЧ04691373**	3	0,42	2	111,75	102,02	117,47
106	**Кольцо НЧ543623**	12	0,24	3	63,95	58,38	67,22
107	**Кольцо пальца кулисы НЧ ТМБ-8.457**	24	0,15	4	40,49	36,96	42,56
108	**Кольцо поршневое НЧ04697817**	6	0,22	2	58,84	53,71	61,85
109	**Кольцо стопорное НЧ06590359**	30	0,21	7	55,74	50,88	58,59
110	**Кольцо уплотнительное НЧ57011330**	21	0,18	4	48,76	44,51	51,25
111	**Кольцо уплотнительное НЧ02945790**	9	0,18	2	46,90	42,82	49,30
112	**Кольцо упорное 100037469**	3	0,30	1	78,74	71,88	82,76
113	**Шайба (531510-11) №ч. 519971**	60	0,05	4	13,51	12,33	14,20
114	**Шайба НЧ505283**	48	0,07	4	18,25	16,66	19,19
	Итог	**1863**		**965**			

Таблица В. 4 – Количество оборудования и их загрузка при обработке программы выпуска при различном типе станочного оборудования

Тип станочного оборудования	Параметры	Ленточная пила НВ 280 В	Токарно-винторезный SAMAT 400 MV	Сверлильно-фрезерный станок KBF 50	Круглошлифовальный станок RSM 500	ПКМ 4.8.4/11,5 (нормализация, закалка и цементация)	ПКМ 7.7.10/7 (отпуск)
РУ	Расчётное число станков, С'р	0,224	0,279	0,297	0,122	1,638	1,089
	Принятое число станков Ср	1	1	1	1	2	2
	Коэффициент загрузки станков, Кз	0,224	0,279	0,297	0,122	0,819	0,545
ИКСУ	Расчётное число станков, С'р	0,224	0,184	0,272	0,103	1,638	1,089
	Принятое число станков Ср	1	1	1	1	2	2
	Коэффициент загрузки станков, Кз	0,224	0,184	0,272	0,103	0,819	0,545
ЧПУ	Расчётное число станков, С'р	0,224	0,191	0,407	0,142	1,638	1,089
	Принятое число станков Ср	1	1	1	1	2	2
	Коэффициент загрузки станков, Кз	0,224	0,191	0,407	0,142	0,819	0,545

Таблица В. 5 – Кадровый состав и тариф оплаты труда при изготовления запасных частей с применением различных типов станочного оборудования

Тип станочного оборудования	Категория работающих	Специальность	Количество, чел.	Тарифная ставка, руб./ч.	ЗПо.год., руб.	Зарплата в месяц, руб.
РУ	Производственные рабочие	Токарь	1	600	490496	40875
		Фрезеровщик-сверловщик	1	600	520929	43411
		Шлифовщик	1	1400	499083	41590
		Термист	2	120	957232	39885
	Служащие	Инженер-технолог	1	280	480000	40000
		Мастер	1	245	420000	35000
ИКСУ	Производственные рабочие	Оператор-универсал (токарь)	1	700	375866	31322
		Оператор-универсал (фрезеровщик-сверловщик)	1	450	357376	29781
		Оператор-универсал (шлифовщик)	1	1200	360085	30007
		Термист	2	120	957232	39885
	Служащие	Инженер-технолог программист	1	320	540000	45000
		Мастер	1	280	480000	40000
ЧПУ	Производственные рабочие	Оператор станка с ЧПУ (токарь)	1	950	529575	44131
		Оператор станка с ЧПУ (фрезеровщик-сверловщик)	1	450	535165	44597
		Оператор станка с ЧПУ (шлифовщик)	1	1300	539953	44996
		Термист	2	120	957232	39885
	Служащие	Инженер-технолог программист	1	350	50000	600000
		Мастер	1	280	40000	480000

Таблица В. 6 – Результаты расчётов себестоимости изготовления поршня ГЦМОК ПДМ с применением различных типов станочного оборудования

№ п/п	Статьи затрат	Значения расчетных показателей, руб.		
		РУ	ИКСУ	ЧПУ
1.	Сырье и материалы	263,90	263,90	263,90
2.	Топливо и энергия на технологические цели	0,00	0,00	0,00
Итого: прямые материальные затраты		**263,90**	**263,90**	**263,90**
3.	Основная заработная плата основных рабочих	3959,32	3067,09	3968,61
4.	Дополнительная зарплата основных рабочих	554,31	429,39	555,60
5.	Единый социальный налог основных рабочих	1606,85	1244,75	1610,62
6.	Общепроизводственные расходы:			
	в процентах	130,27	176,12	220,36
	в рублях (%общ.пр.расх.*осн.зар.пл.осн.раб.)	5157,75	5401,75	8745,18
Итого: сумма затрат с 1 по 7 включительно составляет производственную себестоимость, Спр.		**11542,14**	**10406,88**	**15143,91**
7.	Коммерческие расходы 1,5 - 5% от производственной себестоимости	288,55	260,17	378,60
Итого: сумма затрат с 1 по 8 включительно составляет полную себестоимость ед. продукции, Сполн.		**11830,69**	**10667,06**	**15522,51**
8.	Прибыль составляет, Пр = 0,25 Сполн.	2957,67	2666,76	3880,63
Итого: внутризаводская оптовая цена, Цопт. = Сполн. + Пр		**14788,36**	**13333,54**	**19403,14**

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – ПРИМЕР РАСЧЁТА УРОВНЯ КАЧЕСТВА И РАЗМЕРА ОПЛАТЫ ТРУДА РАБОЧЕГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАПАСНОЙ ЧАСТИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

После выполнения токарной обработки *поршня гидроцилиндра механизма рулевого управления (ГЦМРУ)* погрузочно-доставочной машины (ПДМ) *Toro400E*, (см. Рисунок Г. 1.), были получены фактические размеры поверхностей детали для универсальных станков с ручным и (РУ) и интерактивным компьютерным управлением (ИКСУ) (Таблица Г. 1, столбцы (9) и (12) соответственно). Также в процессе обработки детали выполнялся хронометраж выполнения технологических переходов (фотография рабочего времени) (Таблица Г. 2, столбцы (7) и (9) соответственно).

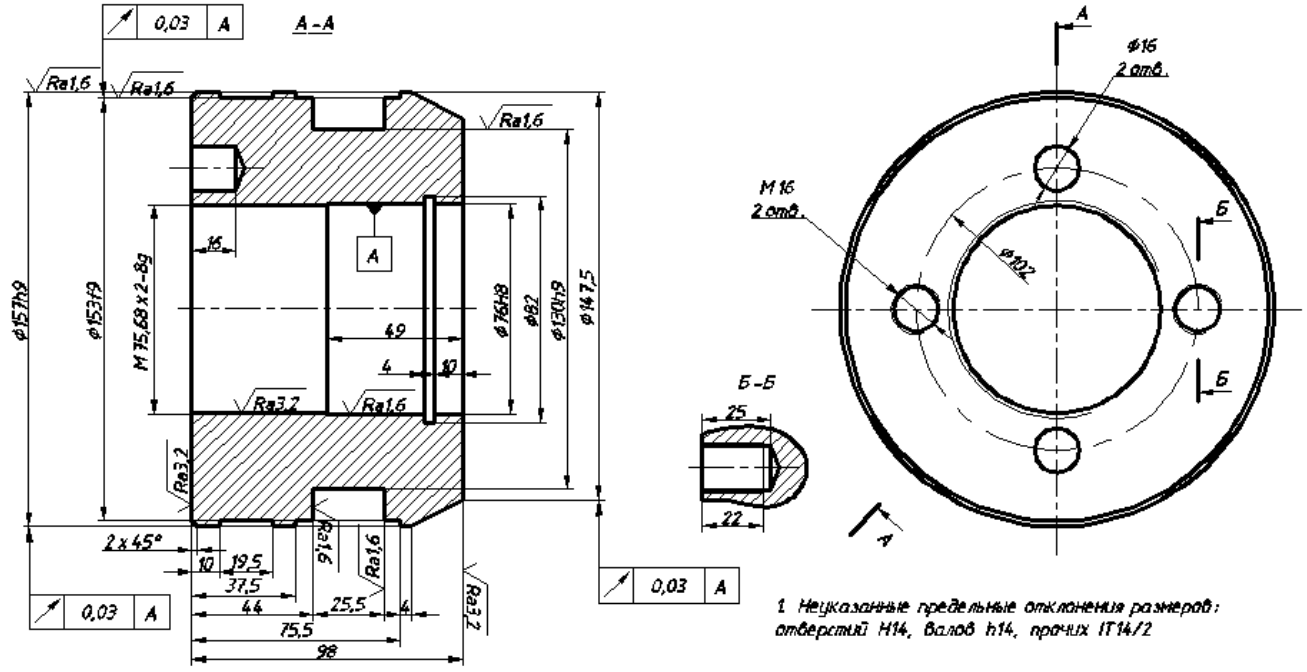


Рисунок Г. 1 – Чертёж поршня ГЦМРУ ПДМ Toro400E

В качестве нормы для оценки уровня качества выполнения технологического процесса изготовления детали по точности геометрических размеров приняты требования чертежа детали, а по времени, полученные расчётным методами (Таблица Г. 2, столбец (3)) с допуском, равным 20% от штучного времени

выполнения i-го перехода. Определить уровень качества выполнения технологического процесса механической обработки детали и размер оплаты труда рабочего универсального станка с РУ и оператора станка с ИКСУ «ПроЭмулятор» с учётом установленного тарифа оплаты за качество изготовления 3150 руб. равное единице и штраф за изготовление бракованной детали в размере 150 руб., с учётом установленной зависимости, описываемой формулой (3.27).

РЕШЕНИЕ

1. Определим теоретические параметры точности всех представленных на диаметральных и осевых размеров (см. Рисунок Г. 1.) и приведём их значения (Таблица Г. 1, столбцы (2) – (8) соответственно).

Таблица Г. 1 – Теоретические и фактические значения параметров точности, полученные при обработке

№ размера	Теоретические параметры (заданные на чертеже)							Фактические параметры			
	Обозначение	Номинальное значение	Квал. точн.	ITP	$P_{ср.}$, $P_{min.}$, $P_{max.}$	eiP	esP	$P_i^{РУ}$	$k_{i\,IT}^{РУ}$	$P_i^{ИКСУ}$	$k_{i\,IT}^{ИКСУ}$
								РУ		ИКСУ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Ø76H8	76	8	0,046	76,023	0	0,046	76,030	0,510	76,03	0,923
2.	Ø82	82	14	0,87	82,435	0	0,87	82,100	0,572	82,1	0,51
3.	M75x2-8g	75	8	0,45	74,737	-0,488	-0,038	74,800	0,868	74,7	0,978
4.	Ø130h9	130	8	0,1	129,95	-0,1	0	129,980	0,967	129,98	0,702
5.	Ø138	138	14	1	137,5	-1	0	137,400	0,547	137,6	0,967
6.	Ø153f9	153	9	0,1	152,907	-0,043	-0,143	152,920	0,556	152,95	0,389
7.	Ø157h9	157	9	0,1	156,95	-0,1	0	156,970	0,607	156,98	0,702
8.	98	98	14	0,87	98	-0,435	0,435	98,300	0,759	98,1	0,956
9.	75,5	75,5	14	0,74	75,5	-0,37	0,37	75,700	0,908	75,4	0,94
10.	4	4	14	0,3	4	-0,15	0,15	3,950	0,725	3,9	0,633
11.	25,5	25,5	14	0,52	25,5	-0,26	0,26	25,650	0,463	25,6	0,878
12.	44	44	14	0,62	44	-0,31	0,31	43,750	0,807	43,8	0,656
13.	37,5	37,5	14	0,62	37,5	-0,31	0,31	37,650	0,725	37,6	0,914
14.	19,5	19,5	14	0,52	19,5	-0,26	0,26	19,650	0,745	19,6	0,878
15.	10	10	14	0,36	10	-0,18	0,18	9,900	0,471	9,9	0,745
16.	2	2	14	0,25	2	-0,125	0,125	2,100	0,463	2,1	0,471
17.	49	49	14	0,62	49	-0,31	0,31	48,750	0,745	48,8	0,656
18.	10	10	14	0,36	10	-0,18	0,18	9,900	0,633	9,98	0,99
19.	4	4	14	0,3	4	-0,15	0,15	4,100	0,600	4,05	0,908

2. Рассчитаем значения фактических единичных показателей качества по параметру точности по формулам (3.22) – (3.24) приняв значение абсолютной погрешности измерения $\Delta = 0{,}05 \cdot IT$*, (Таблица Г. 1, столбцы (10) и (12) соответственно).*

3. Определим теоретические (нормативные) параметры времени для выполнения технологических переходов, необходимых для обработки детали (Таблица Г. 2, столбцы (3) – (6)). Для их определения принимаем, что расчётное значение штучного времени является средним значением[33]*.*

4. Рассчитаем значения фактических единичных показателей качества по параметру времени по формуле (3.25) приняв значение абсолютной погрешности измерения $\Delta = 0{,}05 \cdot IT$ *(Таблица Г. 2, столбцы (8) и (10) соответственно).*

Таблица Г. 2 – Теоретические и фактические значения параметров времени выполнения технологических переходов, полученные при обработке, мин.

№ перехода	Краткое описание перехода	Теоретические показатели (нормативные)				Фактические показатели			
		$t_{\text{шт.ср.}}$	$IT_{t_{\text{шт.}}}$	$t_{\text{шт.}min}$	$t_{\text{шт.}max}$	$t_{I\ \text{шт.}}^{\text{РУ}}$	$k_{i\ T_{\text{шт.}}}^{\text{РУ}}$	$t_{I\ \text{шт.}}^{\text{ИКСУ}}$	$k_{i\ T_{\text{шт.}}}^{\text{ИКСУ}}$
						РУ		ИКСУ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Черновая подрезка торца на размер 102,7±IT14/2 мм; Ra12,5;	0,59	0,18	0,50	0,68	0,66	0,39	0,65	0,47
2	Черновое ступенчатое точение конуса в 6-ть проходов, Ra12,5;	0,42	0,13	0,36	0,49	0,45	0,64	0,43	0,78
3		0,35	0,10	0,29	0,40	0,37	0,62	0,35	0,79
4		0,33	0,10	0,28	0,38	0,37	0,37	0,35	0,62
5		0,25	0,08	0,21	0,29	0,28	0,40	0,25	0,82
6		0,17	0,05	0,15	0,20	0,19	0,50	0,19	0,50
7		0,10	0,03	0,08	0,11	0,11	0,51	0,09	0,94
8	Сверлить сквозное центровое отверстие на диаметр Ø35H14 мм	7,75	2,32	6,58	8,91	8,21	0,64	7,21	0,95
9	Расточить центровое отверстие (начерно) в 5-ть проходов, Ra12,5	0,50	0,15	0,43	0,58	0,56	0,41	0,52	0,71
10		0,56	0,17	0,48	0,64	0,60	0,59	0,59	0,66
11		0,66	0,20	0,56	0,75	0,65	0,83	0,61	0,95
12		0,75	0,23	0,64	0,86	0,80	0,62	0,78	0,71
13		0,83	0,25	0,70	0,95	0,92	0,44	0,91	0,49
14	Черновая подрезка торца на размер 101,4±IT14/2 мм; Ra12,5	0,57	0,17	0,48	0,65	0,59	0,70	0,55	0,88
15	Черновое точение на диаметр Ø158,66h14 мм; длину 81,2±IT14/2 и Ra12,5	2,35	0,71	2,00	2,70	2,60	0,46	2,50	0,63

[33] При сложности достижения максимального уровня качества по времени, данное значение может быть принято, как минимальное.

16	Черновое точение наружной канавки шириной 19,5±IT14/2 мм на диаметр Ø154,66h14 мм, Ra12,5	0,59	0,18	0,50	0,68	0,62	0,69	0,60	0,79
17	Черновое точение наружной канавки шириной 38±IT14/2 мм на диаметр Ø154,66h14 мм и Ra12,5	1,10	0,33	0,94	1,27	1,19	0,57	1,09	0,84
18	Черновое точение наружной канавки в 3-и прохода, Ra12,5	0,29	0,09	0,24	0,33	0,30	0,66	0,29	0,77
19		1,08	0,32	0,92	1,24	1,10	0,77	1,10	0,77
20		1,16	0,35	0,98	1,33	1,23	0,63	1,13	0,87
21	Расточить центровое отверстие (начерно) в 5-ть проходов, Ra12,5	0,49	0,15	0,41	0,56	0,52	0,61	0,52	0,61
22		0,57	0,17	0,49	0,66	0,64	0,43	0,63	0,50
23		0,65	0,20	0,56	0,75	0,70	0,60	0,70	0,60
24		0,74	0,22	0,63	0,85	0,78	0,64	0,79	0,59
25		0,82	0,25	0,70	0,94	0,85	0,71	0,80	0,87
26	Получистовая подрезка торца на длину 100,2-0,4; Ra6,3	0,46	0,14	0,39	0,53	0,45	0,87	0,45	0,87
27	Чистовая подрезка торца на 99,7-0,23 мм; Ra3,2	0,96	0,29	0,82	1,11	1,03	0,61	1,03	0,61
28	Получистовое точение наружного конуса на глубину резания t=1,3 мм, шероховатость Ra6,3	0,81	0,24	0,68	0,93	0,90	0,41	0,89	0,47
29	Чистовое точение наружного конуса на глубину t=0,25 мм; Ra3,2	0,80	0,24	0,68	0,92	0,87	0,54	0,82	0,75
30	Расточить центровое отверстие (получисто) на диаметр Ø75,2H12 мм и длину 49 ±IT14/2 мм, Ra6,3	0,58	0,18	0,50	0,67	0,58	0,83	0,55	0,93
31	Расточить центровое отверстие (начисто) на диаметр Ø75,8H10 мм и длину 49 ±IT14/2 мм, Ra3,2	2,29	0,69	1,95	2,64	2,45	0,61	2,35	0,75
32	Расточить центровое отверстие (тонко) на диаметр Ø76H8 мм и длину 49 ±IT14/2 мм, Ra1,6	1,92	0,58	1,63	2,20	2,06	0,59	2,06	0,59
33	Точить внутреннюю канавку шириной 4 ±IT14/2 мм на диаметр Ø82H14	0,19	0,06	0,16	0,22	0,20	0,72	0,20	0,72
34	Получистовая подрезка торца на длину 98,5-0,4; Ra6,3	0,72	0,22	0,61	0,83	0,70	0,88	0,70	0,88
35	Получистовая подрезка торца на длину 98-0,23; Ra3,2	0,85	0,25	0,72	0,98	0,85	0,81	0,80	0,93
36	Получистовое точение на диаметр Ø157,76h12 трёх поверхностей с быстрыми перемещениями между поверхностями (разделённых широкими канавками), Ra6,3	0,41	0,12	0,35	0,47	0,41	0,80	0,41	0,80
37		0,33	0,10	0,28	0,38	0,35	0,67	0,35	0,67
38		0,19	0,06	0,16	0,21	0,20	0,56	0,20	0,56
39	Чистовое точение на диаметр Ø157,26h10 трёх поверхностей с быстрыми перемещениями между поверхностями (разделённых широкими канавками), Ra3,2	0,41	0,12	0,34	0,47	0,43	0,63	0,40	0,85
40		0,33	0,10	0,28	0,38	0,35	0,65	0,35	0,65
41		0,19	0,06	0,16	0,21	0,19	0,74	0,19	0,74
42	Тонкое точение на диаметр Ø157h9 трёх поверхностей с быстрыми перемещениями между поверхностями (разделённых широкими канавками), Ra3,2	0,55	0,17	0,47	0,63	0,60	0,57	0,59	0,60
43		0,45	0,14	0,38	0,52	0,45	0,80	0,45	0,82
44		0,25	0,08	0,21	0,29	0,25	0,79	0,25	0,82
45	Точить фаску	0,10	0,03	0,08	0,11	0,10	0,70	0,10	0,70

46	Получистовое точение 2-х наружных канавок на диаметр Ø153,76h12 мм и на диаметр Ø130,66h12 мм, Ra6,3	0,79	0,24	0,67	0,91	0,80	0,79	0,80	0,79
47		1,55	0,46	1,31	1,78	1,70	0,49	1,70	0,49
48		0,99	0,30	0,84	1,13	1,09	0,47	0,99	0,81
49	Чистовое точение 2-х наружных канавок на диаметр Ø153,26h10 мм и 1-й наружной канавки на диаметр Ø130,2h10 мм, Ra3,2	0,79	0,24	0,67	0,91	0,87	0,48	0,86	0,54
50		1,54	0,46	1,31	1,77	1,75	0,32	1,65	0,59
51		1,02	0,31	0,87	1,18	1,09	0,62	1,06	0,72
52	Тонкое точение 2-х наружных канавок на диаметр Ø153,26h9 мм и 1-й наружной канавки на диаметр Ø130h9 мм, Ra1,6	1,08	0,32	0,91	1,24	1,16	0,57	1,15	0,61
53		2,09	0,63	1,78	2,41	2,33	0,43	2,21	0,66
54		1,40	0,42	1,19	1,60	1,55	0,43	1,54	0,47
55	Расточить центровое отверстие (получисто) Ø74,2H12 мм на длину 49±IT14/2, Ra6,3	0,58	0,17	0,49	0,66	0,63	0,51	0,53	0,96
56	Расточить центровое отверстие (чисто) Ø74,8H10 мм на длину 49±IT14/2, Ra3,2	2,25	0,68	1,92	2,59	2,39	0,64	2,33	0,72
57	Расточить центровое отверстие (тонко) Ø75H8 мм на длину 49±IT14/2, Ra1,6	1,89	0,57	1,61	2,18	2,24	0,10	1,97	0,70
58	Нарезать внутреннюю резьбу M75x2-8g 7 проходов	4,41	1,32	3,75	5,07	5,09	0,24	4,43	0,80

5. Рассчитаем значения комплексного показателя качества выполнения технологического процесса механической обработки детали по формуле (3.26) (Таблица Г. 3, столбец (4)) используя полученные единичные показатели качества по параметру точности (Таблица Г. 1, столбцы (10) и (12) соответственно) и времени (Таблица Г. 2, столбцы (8) и (10) соответственно).

6. Рассчитаем оплаты труда оператора ИКСУ и рабочего-универсала $ЗП_{опер.}$ *за изготовление поршня по формуле (3.27) с учётом установленных тарифа за качество изготовления и штрафа за брак (Таблица Г. 3, столбец (7)).*

Таблица Г. 3 – Значение параметра качества выполнения технологического процесса механической обработки и тарифов оплаты труда оператора

Тип станка	Параметр качества	Значение комплексного показателя качества параметра	Значение комплексного параметра качества выполнения ТП	Штраф за изготовление бракованной детали, руб.	Тариф оплаты за качество изготовления детали, руб.	Стоимостная оценка выпаленной работы, руб.
1	2	3	4	5	6	7
РУ	Точность	0,650	0,389	150,00	3150,00	1074,42
	Время	0,598				
ИКСУ	Точность	0,754	0,530	150,00	3150,00	1520,36
	Время	0,704				