На правах рукописи

МАСЛЯКОВ НИКИТА СЕРГЕЕВИЧ

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

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Горном институте ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

Научный руководитель: **Вержанский Александр Петрович**
доктор технических наук, профессор, НП «Горнопромышленники России», генеральный директор

Официальные оппоненты: **Андреева Людмила Ивановна**
доктор технических наук, старший научный сотрудник, Челябинский филиал института горного дела Уральского отделения РАН, главный научный сотрудник

Панкратенко Никита Александрович
кандидат технических наук, ООО «ВЕНТЭЙТ», главный инженер

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова»

Защита состоится «___» _____ **2016 г. в ___ часов** в ауд. ____ на заседании диссертационного совета **Д 212.132.15** при ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» по адресу: **119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС» и на сайте www.misis.ru

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения) просьба направлять по адресу: **119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, Горный институт**

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета,
канд. техн. наук, профессор **ШЕШКО Евгения Евгеньевна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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, приняты 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности работы, сформулированы цель, идея и научные положения, выносимые на защиту, дана оценка научной и практической значимости работы, а также её реализация.

В первой главе на примере горно-химического комбината ОАО «Апатит» проведён анализ производственных условий, структуры и состава средств механизации, системы их технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и снабжения запасными частями (ЗЧ). Выявлено, что до 35% всех затрат на добычу руды тратится на ТОиР технологических и вспомогательных средств механизации, из них затраты на снабжение ЗЧ достигают 50%. Ситуация сильно

ухудшается тем, что на ОАО «Апатит» идёт постепенный переход на подземную разработку с широким применением зарубежной подземной самоходной техники, для поддержания высокого уровня готовности которой необходимо своевременное обеспечение ЗЧ заданного качества. Анализ производственных данных показал, что более 40% парка подземной самоходной техники представлено погрузочно-доставочными машинами (ПДМ). Являясь важнейшим звеном производственной цепочки добычи руды, ПДМ имеют низкий средний коэффициент готовности, опускающийся до 0,65, что объясняется тяжёлыми условиями эксплуатации и недостаточной эффективностью обеспечения их ЗЧ.

Проанализирована структура, условия эксплуатации и потребности в ЗЧ типовой ПДМ Sandvik LH409E, в результате чего выявлены детали и агрегаты, наиболее подверженные износу. К ним относятся элементы гидравлики (гидроцилиндры); конструкции полу-рам, стрелы, кулисы и ковша (втулки, пальцы и крепёжные элементы); трансмиссии (детали агрегатов переднего и заднего моста); механизма намотки кабеля и «расходные элементы» (зубья ковша, колёса, фильтры и др.). Большинство этих деталей относится к общемашиностроительным и могут быть изготовлены на месте эксплуатации ПДМ в ремонтно-механических участках (РМУ). Однако, как показывает практика, в РМУ производится малая доля объёма и номенклатуры ЗЧ, изготавливаемых с низким качеством, большой трудоёмкостью и высокой себестоимостью. Это объясняется низким уровнем технологии производства, слабым техническим оснащением и дефицитом квалифицированных рабочих. В данных производственных условиях изготовление ЗЧ в установленные сроки, в требуемом объёме и единичном количестве широкой, меняющейся номенклатуры заданного качества при существующей технологии, не обладающей требуемой гибкостью, не представляется возможным. Это приводит к тому, что предприятие ОАО «Апатит» вынуждено закупать ЗЧ у сторонних производителей, что приводит к потере заказов РМУ и увеличению производственных потерь, связанных с простоями ПДМ в ожидании ЗЧ.

Вторая глава посвящена выбору и анализу направления совершенствования процесса обеспечения запасными частями (ЗЧ) погрузочно-доставочных машин (ПДМ) для повышения надёжности их эксплуатации. 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 ЗЧ средств механизации, эксплуатируемых в разных отраслях промышленности посвящены

работы: Гамбаля М.Ю., Носенко В.В., Рахутина М.Г. (горные машины); Вольфа А.К., Деменковой Е.А. (лесозаготовительные машины), Галимовой Е.О., Суворова Г.Г. (автомобильный транспорт); Данилова П.А. (подъёмно-транспортная техника) и др. Обзор и анализ данных работ показал, что вопросам совершенствования технологии изготовления ЗЧ уделено мало внимания.

По результате анализа производственных данных по эксплуатации парка подземной самоходной техники ОАО «Апатит» было выявлено, что наибольшее количество потребного количества и номенклатуры ЗЧ, а также объёма затрат на их снабжение приходятся на ПДМ. Наряду с тем, что ПДМ эксплуатируется с самым низким уровнем, это в свою очередь подтверждает правильность и актуальность выбора ПДМ в качестве объекта исследования.

В качестве примера проанализирована стратегия работы цехового склада с ремонтным органом в виде ремонтно-механического участка (РМУ), содержащего ЗЧ для поддержания работоспособного состояния парка ПДМ Объединённого Кировского рудника ОАО «Апатит». На основе анализа данных по закупкам ЗЧ выявлено, что за 2011 г. номенклатура ЗЧ для ПДМ составила 710 наименований стоимостью около 61,7 млн. руб.

Процесс обеспечения ПДМ ЗЧ представляет собой систему снабжения, работу которой можно математически описать путём выбора одной из стратегии управления запасами (УЗ). По результатам совместного проведения *ABC-XYZ*-анализа выявленной номенклатуры ЗЧ, необходимых для обеспечения парка подземной самоходной техники в течение года и отбора из них ЗЧ для ПДМ, выявлено, что более 95% ЗЧ относятся к группам *AZ*, *BZ* и *CZ* со случайным дискретным спросом. Для управления ЗЧ данных групп применены стохастические модели УЗ со спросом, описываемым *пуассоновским законом распределения*. Контроль за ними осуществляется избирательно, в зависимости от принадлежности ЗЧ к одной из классификационных *групп A*, *B* или *C*.

Так как на ОАО «Апатит» весь парк ПДМ представлен зарубежными машинами, сложностью их обеспечения широкой номенклатурой оригинальных ЗЧ, кадровым дефицитом, низким уровнем технического оснащения, организации и технологии изготовления «коммерческих» ЗЧ в РМУ, для обеспечения требуемого уровня готовности ПДМ *необходимо содержать большие объёмы ЗЧ*. Для снижения их объёмов, с целью минимизации «замороженных» в ЗЧ оборотных средств, необходимо сократить время задержки поставки, характерного для применяемой периодической модели с (T, R)-стратегией УЗ. Поэтому в системе снабжения нами предложен принцип стратегии управления *«точно вовремя»* т.е. применить оперативную модель с

(r, q)-стратегией УЗ и пополнением запаса при получении каждого очередного требования $q = 1$. Для обеспечения эффективной её работы необходим источник пополнения, отвечающий следующим требованиям: максимальное приближение к потребителю; оперативная оценка возможности удовлетворения заявок, по результатам прогноза или по факту возникновения потребности в ЗЧ; высокая надёжность, гибкость и оперативность при удовлетворении единичных заявок требуемого качества с минимальной себестоимостью; соответствие производительности работы источника пополнения, интенсивности отказов техники; наличие кадровых и технических ресурсов, обеспечивающих работу источника пополнения для выполнения вышеуказанных требований.

Возможны два варианта обеспечения ЗЧ парка ПДМ – *закупка у внешних производителей* и *самообеспечение* (производство собственными силами). Наиболее целесообразным и оптимальным в каждой конкретной ситуации будет тот вариант, который обеспечивает минимум общих средних удельных затрат на снабжение $Z(R)$ за единичный период. Определить наиболее эффективный источник пополнения запасов по каждой конкретной позиции ЗЧ для ПДМ можно по разработанному алгоритму (см. Рисунок 1). В данном алгоритме при формировании изготавливаемой собственными силами программы выпуска ЗЧ учитываются варианты применения различных типов станочного оборудования. Они определяют диапазоны конструкторско-технологических параметров, являющиеся критериями отбора сравниваемых позиций номенклатуры ЗЧ (см. Рисунок 2).

В основе алгоритма (см. Рисунок 1) лежит сравнение 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.

Для расчёта минимума $Z(R^*)$ и соответствующего ему оптимального уровня запаса R^* с учётом неудовлетворённых требований (дефициты, ликвидируемые при очередном пополнении запаса в первую очередь) воспользуемся целевыми функциями, применяемыми для расчёта периодической модели с (T, R)-стратегией УЗ – при закупке у внешнего *производителя* и оперативной модели с (r, q)-стратегией УЗ (при $q = 1$) – при *самообеспечении*. Введя в целевые функции, составляющие средних удельных затрат на приобретение ЗЧ $Z_{пр} = Cq$ и на оформление заказа $Z_{оф} = \lambda(A_1 + A_2)$ и при допущении, что составляющая учёта дефицитов зависит только от времени простоев техники $\hat{\xi} = f(t)$ получим целевые функции:

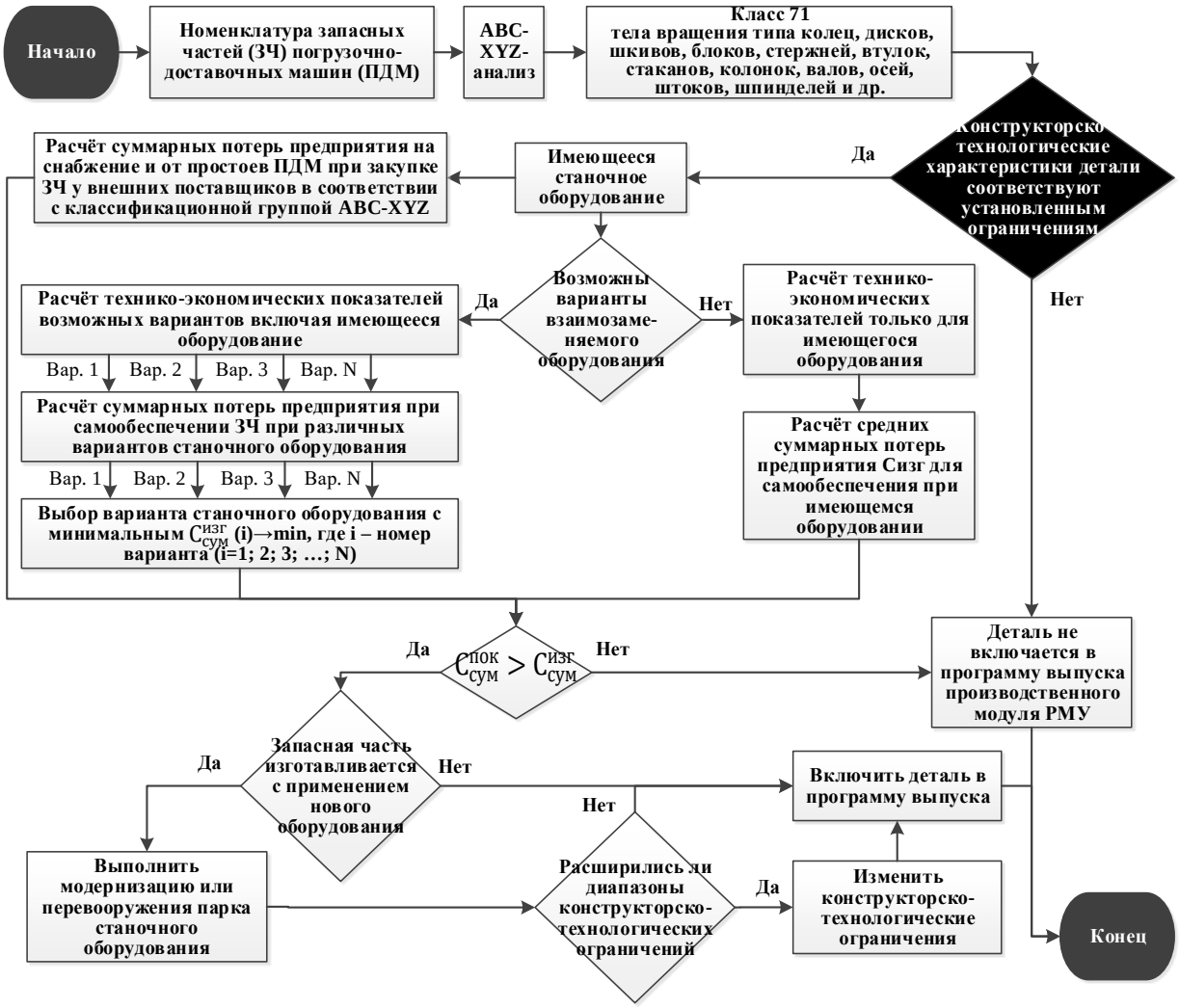


Рисунок 1 - Алгоритм формирования программы выпуска ЗЧ для ПДМ в ПМ РМУ ОАО «Апатит» при имеющемся парке станочного оборудования и в случае возможности его перевооружения или модернизации

Рисунок 2 - Алгоритм решения условия соответствия конструкторско-технологических параметров ЗЧ для ПДМ ограничениям по имеющихся производственных условий

- при покупке ЗЧ у внешнего производителя

$$Z_{\text{пок}}(R_{\text{пок}}) = C_{\text{пок}} + (A_1 + A_2 p_{\text{з}})/T + JC_{\text{пок}}[R_{\text{пок}} - \lambda(\tau_{\text{пок}} - T/2)] + \\ + \left(JC_{\text{пок}} + \hat{\xi}\right)B(1; R_{\text{пок}} - 1; T) \rightarrow \boldsymbol{min}\,, \quad (1)$$

$$B(1; R_{\text{пок}} - 1; T) = 1/T \cdot [\lambda/2 \cdot \{(\tau_{\text{пок}} + T)^2 P[R - 1; \lambda(\tau_{\text{пок}} + T)] - \\ - {\tau_{\text{пок}}}^2 P(R - 1; \lambda\tau_{\text{пок}})\} + R(R+1)/2\lambda \cdot \{P[R + 1; \lambda(\tau_{\text{пок}} + T)] - \\ - P(R + 1; \lambda\tau_{\text{пок}})\} - R\{(\tau_{\text{пок}} + T)P[R; \lambda(\tau_{\text{пок}} + T)] - \tau_{\text{пок}} P(R; \lambda\tau_{\text{пок}})\}], \quad (2)$$

- при самообеспечении ЗЧ

$$Z_{\text{изг}}(R_{\text{изг}}) = \{C_{\text{изг}} + \lambda(A_1 + A_2) + JC_{\text{изг}}(R_{\text{изг}} - \lambda\tau_{\text{изг}}) + \\ + \left(JC_{\text{изг}} + \hat{\xi}\right)B(R_{\text{изг}})\} \cdot S \rightarrow \boldsymbol{min}\,, \quad (3)$$

$$B(R_{\text{изг}}) = \lambda\tau_{\text{изг}} P(R_{\text{изг}} - 1; \lambda\tau_{\text{изг}}) - R_{\text{изг}} P(R_{\text{изг}}; \lambda\tau_{\text{изг}})\,, \quad (4)$$

где A_1 и A_2 – стоимость оформления и подачи заказа, руб.; T – время между заказами на покупку ЗЧ, сут.; $p_{\text{з}} = P(1; \lambda T)$ – вероятность подачи заказа при произвольной проверке; J – коэффициент издержек содержания запасов; C и R – стоимости единиц [руб.] и уровни размещения запаса [шт.] при покупке и изготовлении; τ – время поставки или изготовления, сут.; $\hat{\hat{\xi}}$ – стоимость простоя ПДМ, руб./сут.; λ – средняя интенсивность отказов шт./сут.; $P(R; \lambda\tau) = \sum_{i=R}^{\infty} (\lambda\tau)^i / i! \cdot e^{-\lambda\tau}$ – вероятность спроса за время $\tau_{\text{пок}}$ и $\tau_{\text{изг}}$ при пуассоновском распределении; $B(R)$ – ожидаемое число учтённых требований.

Важным параметром математической модели (1) и (3) является $\hat{\xi}$ – стоимость простоя ПДМ, руб./сут. Так как ПДМ является важнейшим звеном технологической цепочки добычи апатит-нефелиновой руды, то её отказ останавливает процесс добычи и выпуска руды либо до восстановления работоспособного состояния отказавшей ПДМ, либо на время между её заменой резервной ПДМ. Получаемые при этом производственные потери, в результате «недодобычи» и «недореализации» данного объёма руды из-за простоя ПДМ $\hat{\xi}$ на ОАО «Апатит» укрупнённо можно оценить по следующей формуле:

$$\hat{\xi} = \mathrm{C}_{\text{конц.}} \cdot Q_{\text{экс}} \cdot n_{\text{см}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{T_{\text{м}}} \cdot K_{\text{ср.сод.конц}}\,, \quad (5)$$

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.

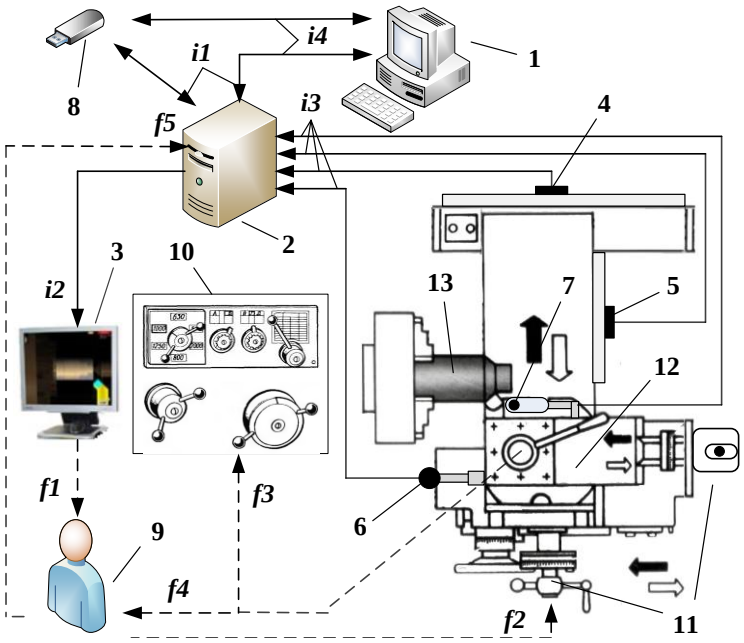
Для изготовления ЗЧ в производственных модулях и самообеспечения ими ПДМ *«точно вовремя»* предложена технология, включающая в себя:

формирование программы выпуска ЗЧ производственными модулями РМУ горного предприятия по разработанному алгоритму; применение диагностики и мониторинга технического состояния ПДМ для прогнозирования остаточного ресурса работы наблюдаемых агрегатов и входящих в них деталей (ЗЧ), подлежащих замене при отказе; использование модульной технологии для производства ЗЧ; применение средств автоматизации для информационной поддержки конструкторско-технологической подготовки производства, управления технологическими процессами и контроля качества изготовления ЗЧ; использование адаптированных для данных условий станков.

Для организации переменно-поточного производства в данных условиях необходимы станки, отвечающее следующим требованиям: повышенная гибкость, высокая надёжность работы и точность; простота обслуживания, невысокие требования к квалификации рабочего и повышенная безопасность работы; возможность контроля процесса обработки деталей и учёта статистики работы станка; стабильность качества при мелкосерийной обработке; прямое информационное взаимодействие с другими участниками производственного процесса; невысокая себестоимость и затраты на эксплуатацию.

Третья глава посвящена выбору типа металлорежущих станков, наиболее эффективных для изготовления запасных частей (ЗЧ) в ремонтно-механических участках (РМУ) и исследованию их параметров. В результате анализа принципов работы систем на базе станков с ручным (РУ) и числовым программным управлением (ЧПУ) выявлено, что они не отвечают ряду сформулированных требований. Искомое решение должно сочетать в себе особенности и универсальных станков – их гибкость, и станков с ЧПУ – высокая надёжность и точность обработки при невысоких требованиях к квалификации рабочего. Наиболее успешное решение такой задачи на сегодняшний день принадлежит российской компании ООО «Техстанко-21», разработавшей устройство «ПроЭмулятор», представляющей собой интерактивную компьютерную систему управления (ИКСУ). ИКСУ – это совокупность аппаратно-программных средств, которыми модернизируется универсальный металлорежущий станок, образуя при этом интерфейс взаимодействия с обслуживающем его оператором.

В диссертации описан экспериментальный стенд – токарно-винторезный станок типа 16К20, модернизированный специальной конфигурацией ИКСУ «ПроЭмулятор». Проанализирован и описан принцип работы и взаимодействия программной и аппаратной части ИКСУ. Описана схема работы аппаратной части ИКСУ «ПроЭмулятор» для токарной обработки (см. Рисунок 3).



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);

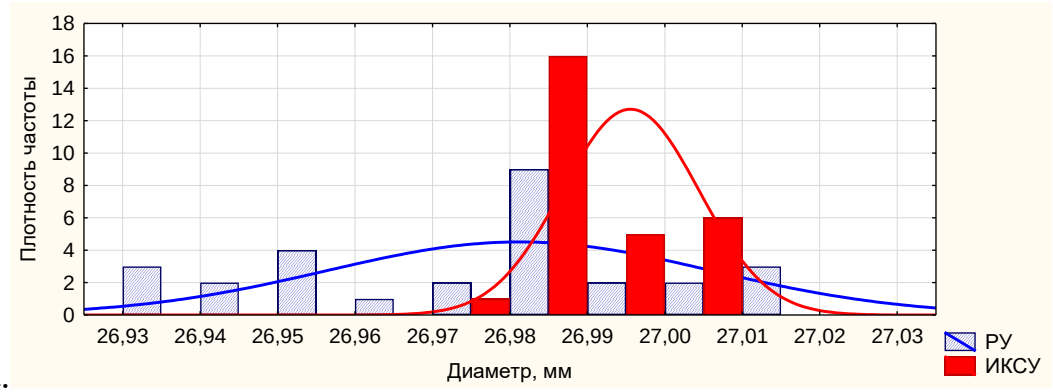
f5 – обратная связь по управлению технологическими механизмами дискретного действия через наблюдение оператором по каналу *f4*.

Рисунок 3 - Схема работы аппаратной части ИКСУ универсального токарного станка: *1 – модуль контроля выполнения задания на ИКСУ; 2 - блок управления; 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 для ручного и ручка для полуавтоматического перемещения режущего инструмента; 12 - исполнительные узлы и механизмы станка; 13 - обрабатываемая деталь*

Исследованы технологические характеристики (точность геометрических размеров, штучное время и процент брака), достигаемые при модернизации универсального станка ИКСУ. Для их исследования на экспериментальном стенде проведены серии опытов по обработке образцов. В результате статистической обработки и анализа полученных данных (см. Рисунок 4) выявлено, что точность и штучное время распределены по нормальному закону.

Из графиков видно, что точность обработки детали повысилась более чем на 65%, а штучное время сократилось практически в 2 раза. Эффект достигается за счёт того, что при оснащении универсального станка ИКСУ, образуется скрытая обратная связь через оператора $f5$ (см. Рисунок 3), что делает систему замкнутой и обеспечивает активный контроль при обработке детали. За счёт оснащения станка оптоэлектронными растровыми преобразователями, считывающими фактические линейные перемещения суппорта с точностью до 1 мкм, исключается ряд погрешностей, связанных с перемещением режущего инструмента, зависящих от конструкционных особенностей и технического состояния станка. Полученная с преобразователей информация поступает на дисплей ИКСУ и отображается в виде координат положения вершины резца относительно электронного шаблона детали (см. Рисунок 5)

а.



б.

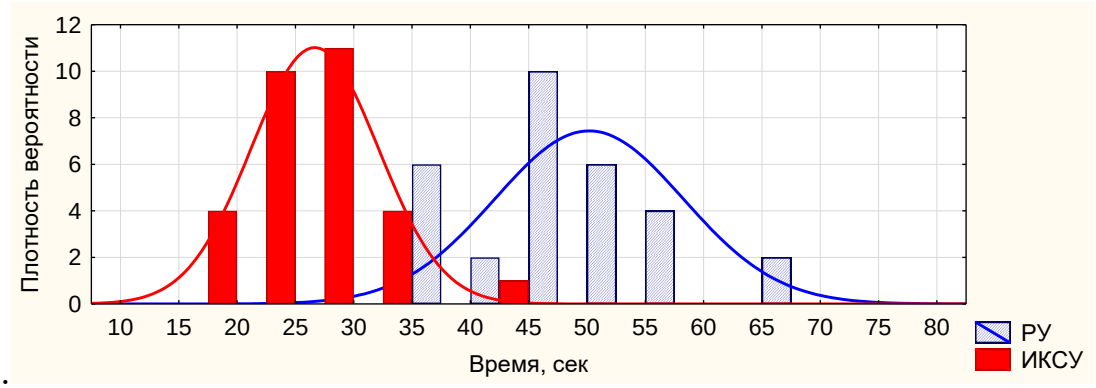


Рисунок 4 – Гистограммы и кривые распределения результатов измерений, полученных при обработке образцов универсальном станке с ИСКУ и без (с ручным управлением - РУ): *а. – диаметральных геометрических размеров и б. – штучного времени*

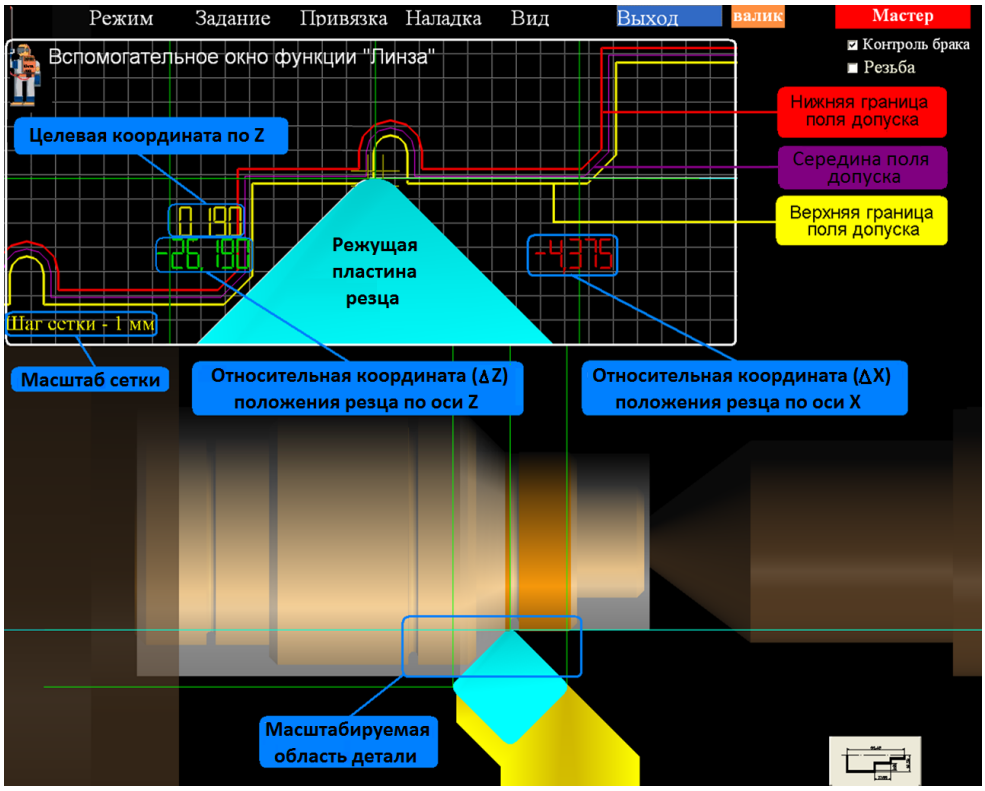


Рисунок 5 – Вид интерфейса программного обеспечения[1] ИКСУ для токарной обработки, отображаемого на дисплее устройства «ПроЭмулятор» при обработке делали

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

Активный контроль способствует сокращению штучного времени, за счёт освобождения оператора от проведения рутинных промежуточных измерений и интерактивного принципа работы ИКСУ с наглядным интерфейсом, виртуально-имитирующим реальный процесс обработки за счёт их синхронизации. Окончательное решение по управлению станком принимает оператор, а ИКСУ помогает лишь в обосновании его правильности (см. Рисунок 6). Оператору не требуется запоминать исходную информацию, продумывать порядок выполнения переходов, что обеспечивает снижение требований к квалификации.

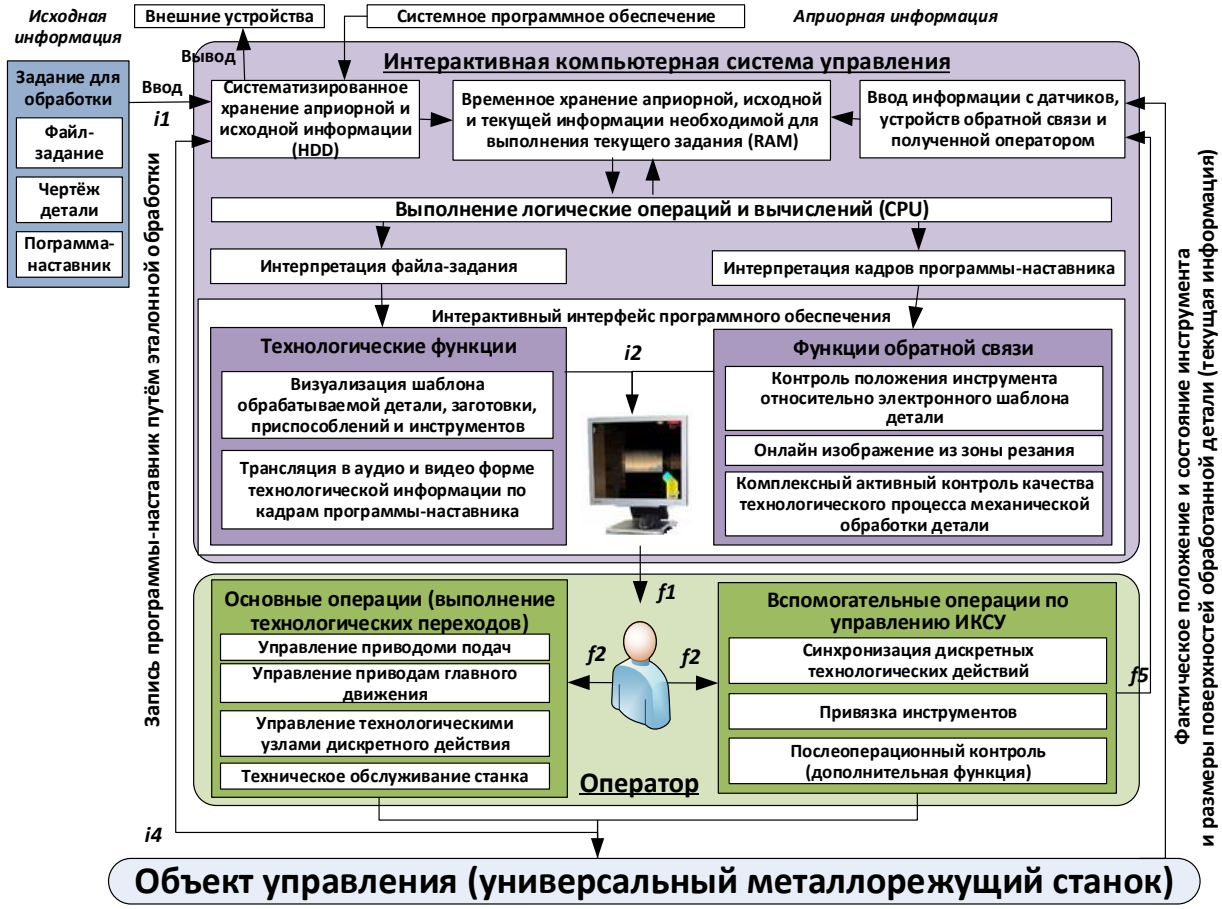


Рисунок 6 – Функциональная схема работы универсального токарного станка с ИКСУ

По результатам экспериментальных данных установлены зависимости процента брака от точности (см. Рисунок 7). Из графиков видно, что применение ИКСУ приводит к снижению процента ниже 1% при обработке по 9-му квалитету и ниже. Следует отметить, что указанная точность обработки для ремонтного производства является в большинстве случаев удовлетворительной.

Для комплексной оценки уровня качества выполнения технологических процессов механообработки деталей на универсальных станках с ИКСУ предложено использовать метод безэкспертной оценки уровня качества, разработанную на кафедре «Технология машиностроения и ремонт горных машин» профессором Г.И. Солодом.

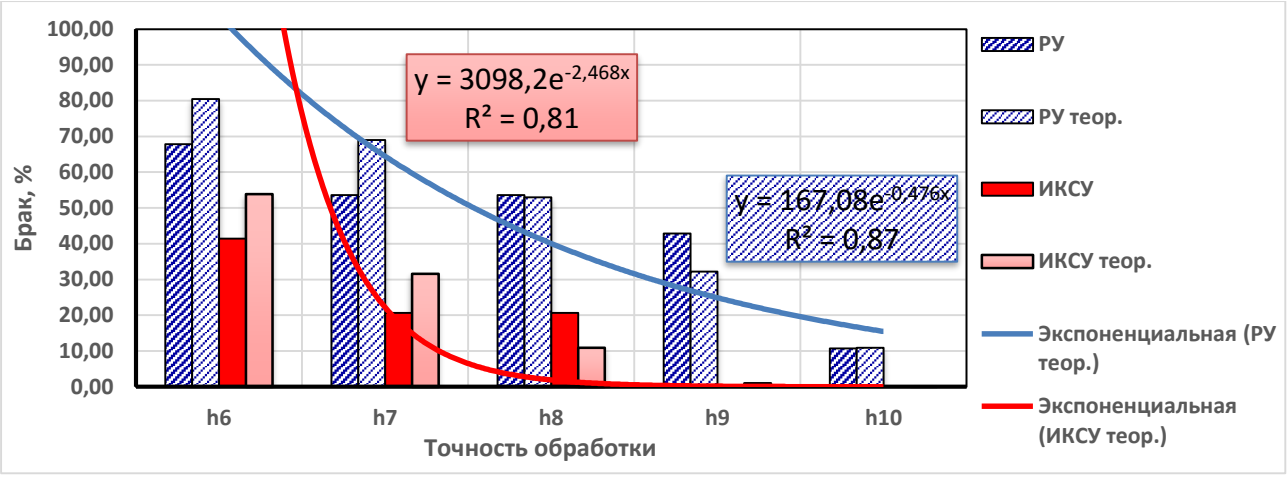


Рисунок 7 – Гистограммы распределения и графики зависимости процента брака от точности при обработке диаметральных поверхностей

В работе разработана методика комплексной оценки и управления качеством технологического процесса изготовления по параметрам точности и штучному времени, которая включает в себя: расчёт единичных показателей качества по точности геометрических размеров по формуле (6); расчёт единичных показателей качества штучного времени по формуле (7); расчёт комплексного показателя качества технологического процесса по формуле (8).

Единичный уровень качества по точности $k_{i\,IT}$ для i-й обработанной поверхности, которой оценивается параметром P_i рассчитываются по формуле:

$$k_i = 1 - (P_i - \bar{P})^2/(0{,}5ITP + \Delta)^2\,, \qquad (6)$$

где 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 в данном технологическом процессе; Δ – абсолютная погрешность измерения.

Единичный уровень качества по времени $k_{i\,t\text{шт.}}$ обработки i-й поверхности, который оценивается параметром t_i вычисляется по формуле:

$$\begin{cases} k_{i\,t\text{шт.}} = 1 - (\,t_{i\,\text{шт.}} - t_{min\,\text{шт.}})^2/(IT t_{\text{шт.}} + \Delta)^2\,, \\ t_{min\,\text{шт.}} \le\ t_{i\,\text{шт.}} \le t_{max\,\text{шт.}}, \end{cases} \qquad (7)$$

где $IT t_{\text{шт.}}$ – допуск на i-е штучное время; $t_{min\,\text{шт.}}$ и $t_{max\,\text{шт.}}$ – минимальное и максимальное значения i-го штучного времени в технологическом процессе при соблюдении регламента; $t_{i\,\text{шт.}}$ – действительное значение штучного времени, полученное в технологическом процессе; Δ – абсолютна погрешность измерения. Показатель $k_{i\,t\text{шт.}}$ рассчитывается для каждого технологического перехода.

Комплексная оценка уровня качества технологического процесса, учитывающая точность и время изготовления детали вычисляется по формуле (8) с использованием формул (6) и (7)

$$K_{\text{техн}} = K_{IT} \times K_{t\text{шт}} = \sqrt[m_{IT}]{\prod_{i=1}^{m_{IT}} k_{i\,IT}} \times \sqrt[m_t]{\prod_{i=1}^{m_t} k_{i\,t\text{шт.}}}, \qquad (8)$$

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

В четвёртой главе исследовано влияние технологии оперативного изготовления запасных частей (ЗЧ) на коэффициент готовности погрузочно-доставочных машин (ПДМ). Выявлено, что разработанную технологию изготовления ЗЧ, основанную на использовании универсальных станков с интерактивной компьютерной системой управления (ИКСУ), целесообразно применять при ежемесячных и текущих ремонтах ПДМ в ремонтно-механических участках (РМУ). Ремонт ПДМ на уровне РМУ выполняется сменно-узловым методом с восстановлением неисправных агрегатов за счёт замены отказавших их деталей на новые ЗЧ. Текущий запас деталей пополняется производственным модулем РМУ по описанному алгоритму (см. Рисунок 8)

Рисунок 8 – Блок-схема сменно-узлового ремонта ПДМ с изготовлением ЗЧ в ПМ РМУ имеющей зоны (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*

Как видно из схемы (см. Рисунок 8), процесс сменно-узлового ремонта ПДМ с восстановлением неисправных агрегатов в РМУ представляет двухфазную систему массового обслуживания, фазы которой, обозначены как циклы *A* и *B* и могут быть описаны схемами (см. Рисунок 9 и Рисунок 10).

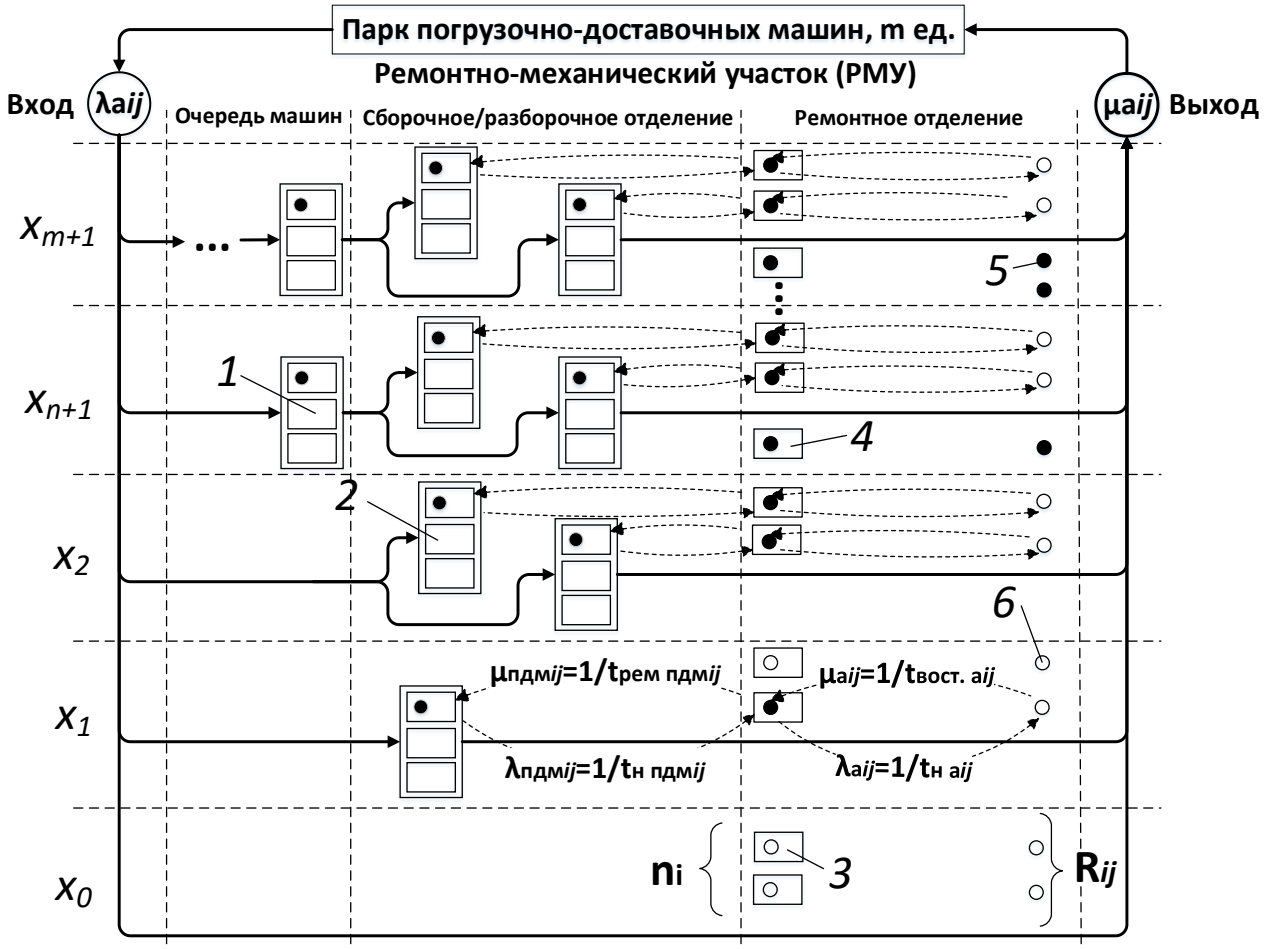


Рисунок 9 – Схема системы массового обслуживания при выполнении сменно-узлового ремонта ПДМ в РМУ (цикла А): *состояние ПДМ 1 – ждут ремонта и 2 – ремонтируются; состояния запасных агрегатов 3 – исправное и 4 – неисправное; состояние деталей 5 – отказавшее, 6 – новое и 7 – дефицит*

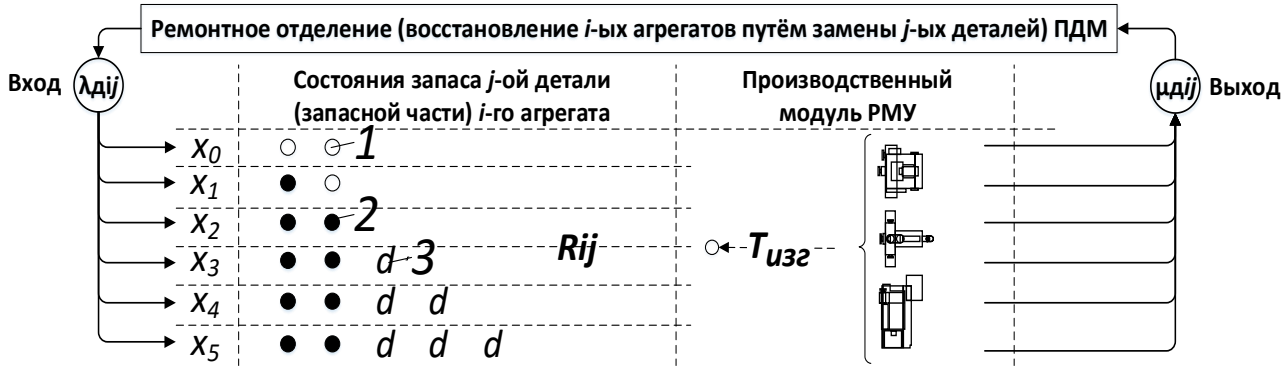


Рисунок 10 – Схема системы массового обслуживания при поддержании уровня текущего запаса *j*-ой детали *i*-го агрегата ПМ РМУ (цикла В): *состояние запаса j-ых ЗЧ i-го агрегата: 1 – имеется в наличии на складе, 2 – требует пополнения; 3 – вызвано дефицитом*

Основной целью работы этой системы массового обслуживания является как можно дольше сохранить работоспособное состояние парка ПДМ при минимальных производственных затратах и потерях. Для достижения данной цели найдена целевая функция (9), которая включает в себя средний коэффициент готовности парка ПДМ $K_{\text{г}ij}$ и суммарные потери $C_{\text{сум}ij}$ на обеспечение его i-х агрегатов j-ми ЗЧ (далее по тексту индексы будут опущены)

$$\begin{cases} K_{\text{г}ij} = \left[1 + \sum_{k=1}^{R_{ij}^*} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=1}^{n_i - R_{ij}^* + 1} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k + \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^{n_i - R_{ij}^*} \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=2}^{m} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k\right]^{-1} \to \boldsymbol{max}, \\ C_{\text{сум}ij} = C_{\text{а}i} \cdot n_i + \left(Z\left(R_{ij}^*\right) + \text{С}_{\text{конц}} Q_{\text{экс}} n_{\text{см}} T_{\text{см}} K_{T_{\text{м}}} K_{\text{ср.сод.конц}} \cdot \left(1 - K_{\text{г}ij}\right)\right) \cdot T_{\text{ам.а}i} \to \boldsymbol{min} \end{cases} \quad (9)$$

$$P_k = a^k/k! \cdot P_0 \quad \text{при } k \le c, \quad (10)$$

$$P_k = (a/c)^{k-c} \cdot a^c/c! \cdot P_0 \quad \text{при } c \le k < n+1, \quad (11)$$

$$P_k = (a/c)^{k-c} \cdot a^c/c! \cdot P_0 \quad \text{при } n+1 \le k < m+n\,, \quad (12)$$

где $a = \lambda_{\text{а}ij}/\mu_{\text{а}ij}$ – отношение интенсивностей отказов и восстановления; m – количество обслуживаемых ПДМ ед.; n_i – объём текущего запаса агрегатов, шт.; R_{ij}^* – оптимальное количество ЗЧ; P_k – вероятность нахождения системы в k-м состоянии; $T_{\text{ам.а}i}$ – время амортизации агрегатов, сут.; $C_{\text{а}i}$ – себестоимость агрегата, руб./шт.; $Z\left(R_{ij}^*\right)$ – затраты на снабжение ЗЧ агрегатов за время $T_{\text{ам.а}i}$ при уровне запаса R_{ij}^*, руб. – рассчитываются по формулам (1) – (4).

Для получения из формулы (9) математической модели, взаимосвязи $K_{\text{г}ij}$ с технологическими параметрам (точностью геометрических размеров, штучным временем и процентом брака), обеспечиваемые при изготовлении ЗЧ, установлены их связи с параметрами $\lambda_{\text{а}ij}$ и $\mu_{\text{а}ij}$.

Интенсивность отказов деталей агрегатов $\lambda_{\text{а}ij}$ зависит от ресурса работы образующих ими соединений, который определяется качеством их изготовления. Взаимосвязь ресурса с уровнем качества соединения установлен профессором Ю.Ф. Набатниковым и использована для расчёта интенсивности отказов $\lambda_{\text{а}ij}$

Интенсивность восстановления $\mu_{\text{а}ij}$ неисправного агрегата в цикле А обратно пропорционально времени восстановления $t_{\text{вост.а.}ij}$

$$t_{\text{вост.а}ij} = t_{\text{разб.а}i} + t_{\text{деф.а}i} + t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} + t_{\text{дост.д}i} + t_{\text{сб.а.}i} + t_{\text{пров.а.}i}, \quad (13)$$

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.

Среднее время замены отказавшей детали агрегата на новый со склада есть среднее время нахождения заявки в системе цикла В, которое определим по формуле Литтла $t_{\text{ср.д.}ij\text{ в сист.}} = N_{\text{ср.д.}}/\lambda_{\text{д.}ij}$, зная среднее количество заявок, находящихся в системе. С учётом $\lambda_{\text{а}ij} = \lambda_{\text{д}ij} = \lambda$, $\mu_{\text{а}ij} = 1/t_{\text{вост.а.}ij}$, формул (1) – (4) и (13) – (15), $C = t_{\text{разб.а}i} + t_{\text{деф.а}i} + t_{\text{дост.д}i} + t_{\text{сб.а.}i} + t_{\text{пров.а.}i}$ и преобразований получим формулы для расчёта a при различных вариантах снабжения:

- при покупке ЗЧ у внешних производителей

$$a = \lambda_{\text{д}ij}\left(\tau_{\text{пок}ij} - T/2 + C\right) + 2B\left(1; R^*_{\text{пок}ij} - 1; T\right), \quad (14)$$

- при самообеспечении ЗЧ

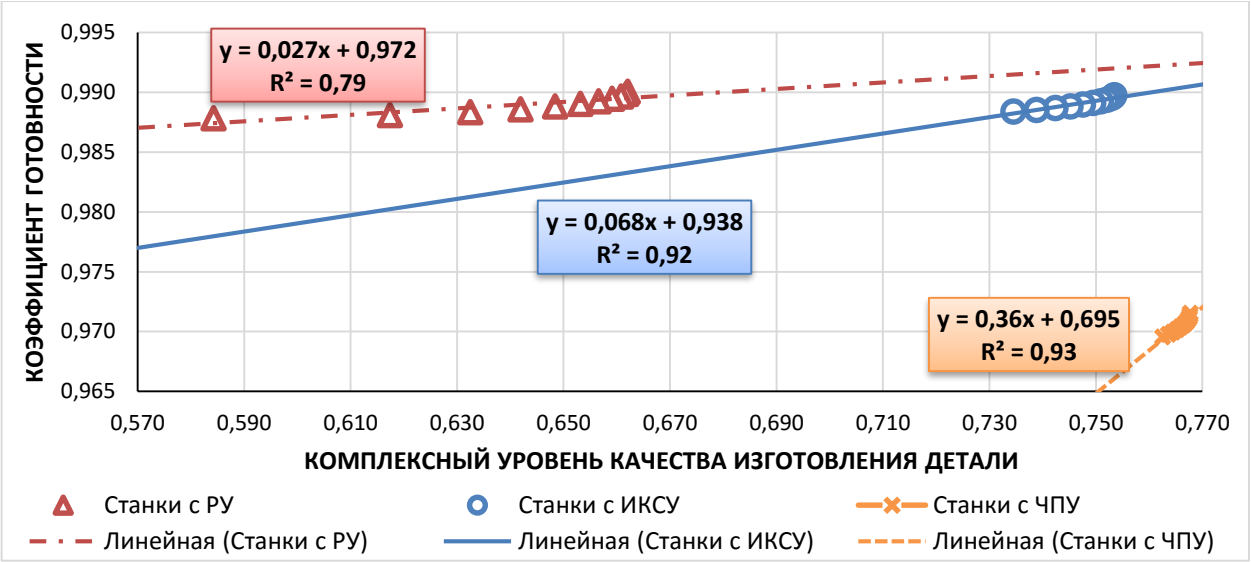
$$a = \lambda_{\text{д}ij}\left(T_{\text{шт.}ij} + C\right) + 2B\left(R^*_{\text{изг}ij}\right). \quad (15)$$

Штучное время $T_{\text{шт.}}$ рассчитывается с учётом процента брака путём умножения времени выполнения переходов на коэффициент учёта брака $K_{\text{бр}} = 1/\left(1 - P_{\text{бр.}}\right)$, где $P_{\text{бр.}}$ – вероятность брака, зависящая от класса точности их обработки и определяемая из полученных зависимостей (см. Рисунок 7).

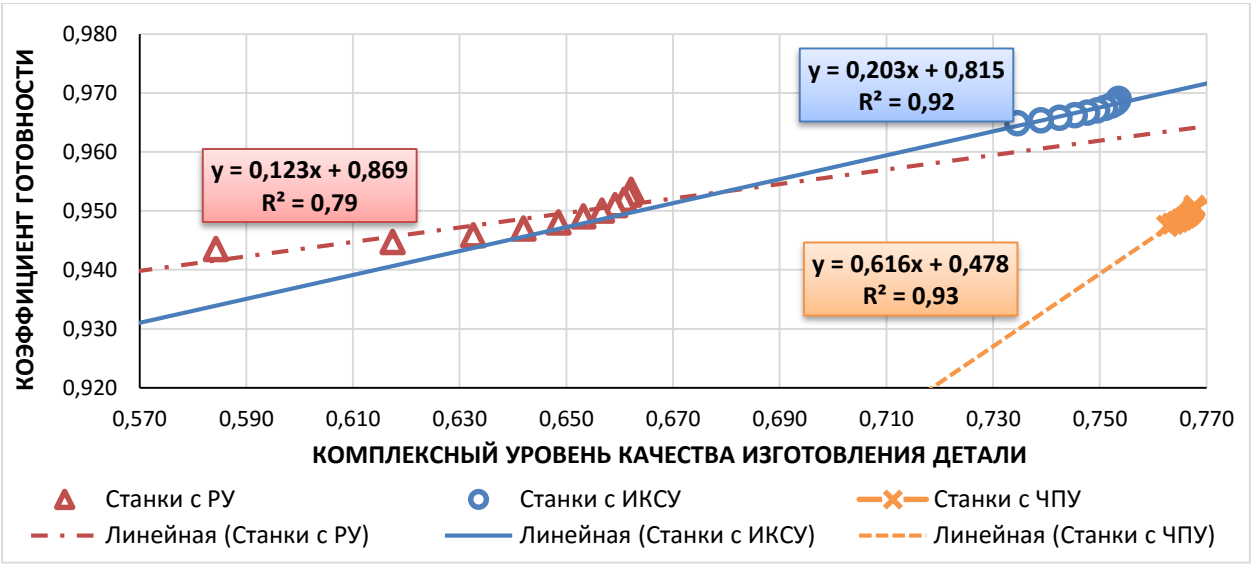
Для получения зависимостей коэффициента готовности от комплексного показателя качества при изготовлении на примере ремонта гидроцилиндров механизмов опрокидывания ковша (ГЦМОК), подъёма стрелы (ГЦМПС) и рулевого управления (ГЦМРУ) ПДМ выполнено моделирование размеров поверхностей поршней. Далее выполнено табулирование размеров в рамках допусков поверхностей, образующих соединения с зазорами, при прочих равных условиях. Затем по формуле (8) определены комплексные уровни качества изготовления. По полученным параметрам $\lambda_{\text{д}ij}$ и $\mu_{\text{д}ij}$ по формуле (9) рассчитаны уровни коэффициентов готовности и построены графики (см. Рисунок 11).

Выполнено сравнение различных логистических вариантов обеспечения ЗЧ на примере ГЦМРУ ПДМ. По результатам моделирования построены графики зависимости коэффициента готовности от затрат на обеспечение ЗЧ, (см. Рисунок 12, а. и Рисунок 12, в.). Также получены графики зависимости эксплуатационных потерь от затрат на хранение ЗЧ и простоев ПДМ от коэффициента готовности (см. Рисунок 12, б. и Рисунок 12, г.). Приведенные графики показывают экономическую эффективность самообеспечения ПДМ поршнями для ГЦМОК, по новой предложенной технологии, основанной на применении универсальных станков с ИКСУ. Расхождение расчетных параметров относительно производственных показателей, не превышает 5% при доверительной вероятности 0,95.

а.



б.



в.

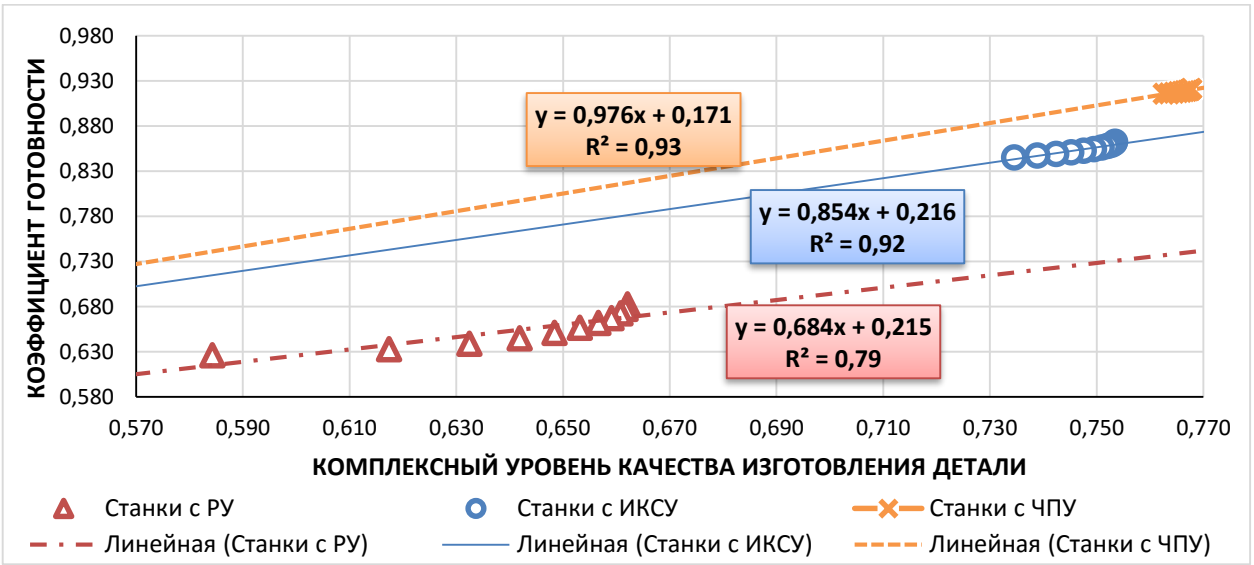


Рисунок 11 – Графики зависимостей коэффициентов готовности гидроцилиндров ПДМ от уровней качества изготовления поршней к ним при самообеспечении с применением универсальных станков с РУ и ИКСУ и ЧПУ: *а. ГЦМПС (λ = 2 шт./год); б. ГЦМОК (λ = 6 шт./год) и в. ГЦМРУ (λ = 20 шт./год)*

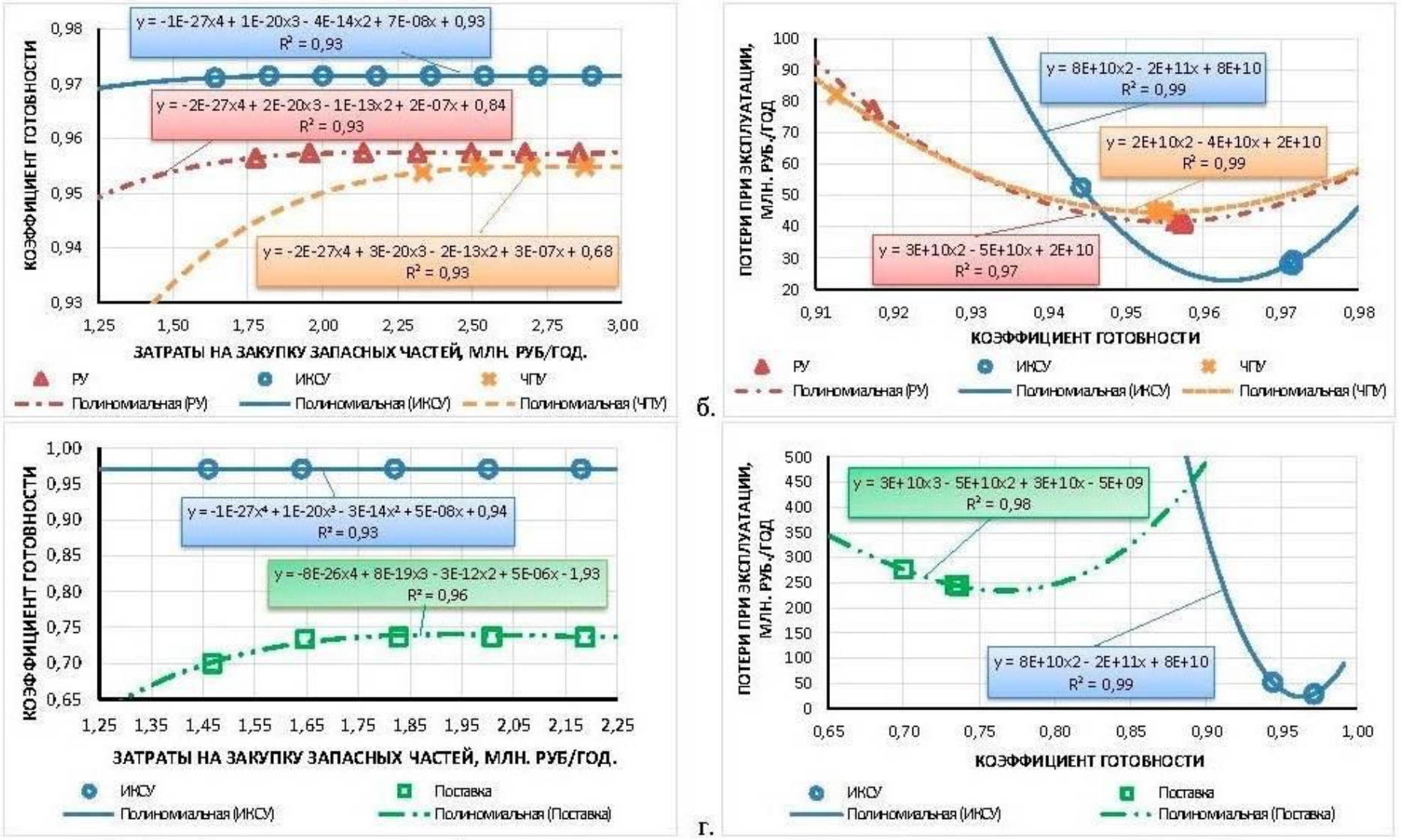


Рисунок 12 – Графики зависимости обеспечиваемого уровня коэффициента готовности для ГЦМРУ от затрат на обеспечение их поршнями и суммарных потерь от простоев: *а. и б. – при самообеспечении с применением различных типов станочного оборудования; в. и г. – при самообеспечении и снабжения внешними поставщиками.*

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, учитывающая 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 самообеспечения 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.

Материалы диссертации опубликованы

***в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях*:**

1. Масляков, Н.С. Информационная поддержка технологии ремонта деталей горных машин / М.С. Островский, Н.С. Масляков // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня «Перспективы развития горнотранспортного оборудования», 2011, № ОВ5. с. 62 – 70.

2. Масляков, Н.С. Модернизация универсальных станков за счёт интерактивной компьютерной системы управления / Н.С. Масляков // Ремонт, восстановление, модернизация, 2013. №4 с. 25 – 30.

3. 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.

***В научных сборниках и других изданиях*:**

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

10. 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.