

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

УДК 658.78

На правах рукописи

**Ташмет Магжан Қайратұлы**

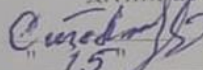
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра технических наук

Название диссертации «Разработка принципов прогнозирования и управления  
изнашиванием деталей погрузочно-доставочных машин»


Направление подготовки 7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

Научный руководитель,  
д.т.н., асс. профессор

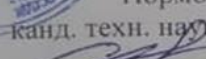
 Столповских И. Н.  
"15" 06 2021 г.

Рецензент

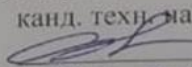
Зав. лабораторией разрушения  
горючих пород ИГД им. Д. А. Кунаева,  
д.т.н., профессор

 Едыгенов Е. К.  
"07" 06 2021 г.

Нормоконтроль

 С.А. Бортебаев  
"19" 06 2021 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»  
Институт Металлургии и  
Промышленной инженерии

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующий кафедрой ТМ, Т и Л  
канд. техн. наук, ассоц. проф.  
 К.К. Елемесов  
"19" 06 2021 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии  
Кафедра технологических машин, транспорта и логистики  
7M07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ТМ, Т и Л

канд. техн. наук, асс. проф.

 К.К.Елемесов

"05" 12 2019 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Магистранту Ташмет Магжан Қайратұлы

Тема: «Разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием деталей погрузочно-доставочных машин»

Утверждена приказом руководителя университета №435-м  
"03" 12 "2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации " 21 " 06 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: данные

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации  
вопросов:

*a. Анализ современного состояния процессов прогнозирования и управления изнашиванием погрузочно-доставочных машин.*

*b. Методология процессов прогнозирования остаточного ресурса ПДМ.*

*c. Обоснование принципов прогнозирования и управления остаточным ресурсом ПДМ.*

*d. Установление характеристик ТО и Р ПДМ.*

Рекомендуемая основная литература:

1 Кизим А. В. Обоснование необходимости автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования // Известия ВолГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в техн. Системах». - Волгоград, 2009. - № 6. - С. 118-121.


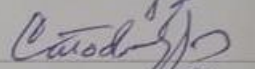


2 Кизим А. В. Постановка и решение задач автоматизации работ по ремонту и техническому обслуживанию оборудования // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (Доклады ТУСУРа). - 2009. - № 2 (декабрь). - С. 131-135. 3. В.Д. Лысенко «Разработка нефтяных месторождений. Эффективные методы», Москва, «Недра», 2009 г.


3 Бабий М.Р. Исследование и разработка принципов прогнозирования и управления абразивным изнашиванием деталей машин : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : (05.02.04). - Ростов н/Д. 1981. - 23 с. : черт. - Библиогр.: с. 22-23 (7 назв.)

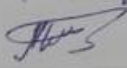
**ГРАФИК**  
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	18.05.21	
Аналитический обзор	25.05.21	
Расчетная часть	01.06.21	
Заключение	03.06.21	

Подписи консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Введение	Доктор технических наук, профессор Столповских И.Н.	18.05.21	
Аналитический обзор		25.05.21	
Расчетная часть		01.06.21	
Нормконтролер	С.А. Бортебаев канд. тех. наук, ассистент. проф	05.06.21	

Научный руководитель  Столповских И. Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению обучающийся  Ташмет М.К.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Дата " 03 " 12 2019 г

## **АНДАТПА**

Тозатын бөлшектерді жөндеуде болжау қағидаттарының экологиялық, энергия және ресурс үнемдейтін технологияларын ғылыми негіздеу және әзірлеу және оларды Қазақстан Республикасында қолдану осы күндері тау-кен саласының барлық мамандары үшін өзекті міндет болып табылады. Тозуды болжаудың жаңа қағидаттарын құру және жетілдіру тау-кен өнеркәсібі шешуші болып табылатын көптеген елдердің экономикасы үшін пайдалы тау жыныстарының стратегиялық маңыздылығын ескере отырып, Қазақстанда ғана емес, бүкіл әлем бойынша өзекті міндет болып қала береді. Мұндай технологияларды әзірлеу материалдық ресурстарды айтарлықтай үнемдеуге, экономикалық тиімділікті арттыруға және ең бастысы қоршаған ортаға экологиялық әсерді азайтуға мүмкіндік береді.

## **АННОТАЦИЯ**

Научное обоснование и разработка экологичных, энерго и ресурсосберегающих технологий принципов прогнозирования в ремонте изнашиваемых деталей, и их применение в Республике Казахстан в целом является актуальной задачей для всех специалистов горной отрасли в эти дни. Создание и усовершенствование новых принципов прогнозирования изнашивания остаётся актуальной задачей не только в Казахстане, но и в целом по всему миру, учитывая стратегическое значение полезных горных пород для экономики большинства стран, для которых горная промышленность является ключевой. Разработка таких технологий позволит, обеспечит существенную экономию материальных ресурсов, повышение экономической эффективности и самое главное снижение экологического воздействия на окружающую среду.

## **ANNOTATION**

Scientific substantiation and development of eco-friendly, energy and resource-saving technologies of forecasting principles in the repair of wear parts, and their application in the Republic of Kazakhstan as a whole is an urgent task for all specialists of the mining industry these days. The creation and improvement of new principles of wear forecasting remains an urgent task not only in Kazakhstan, but also in general around the world, given the strategic importance of useful rocks for the economy of most countries for which the mining industry is key. The development of such technologies will allow us to provide significant savings in material resources, increase economic efficiency and, most importantly, reduce the environmental impact on the environment.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Анализ современного состояния процессов прогнозирования и управления изнашиванием погрузочно-доставочных машин (ПДМ)	9
1.1 Обзор состояния технологических средств механизации на АО «Казахмыс», выбор объекта исследования	9
1.2 Понятие процессов старения и ресурса ПДМ	9
1.3 Причины низкой надежности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин в производственных условиях Дзезказганского рудника	11
1.4 Постановка задачи о прогнозировании ресурса на стадии проектирования	16
1.5 Постановка задачи о прогнозировании ресурса на стадии эксплуатации	17
1.6 Цель и задачи исследований	18
2 Методология процессов прогнозирования остаточного ресурса ПДМ	20
2.1 Общие сведения	20
2.2 Прогнозирование остаточного ресурса ПДМ	24
2.3 Составление целевой функции показателей долговечности и эффективности ПДМ	27
3 Обоснование принципов прогнозирования и управления остаточным ресурсом ПДМ	29
3.1 Трехуровневая система ТО и Р ПДМ	29
3.2 Управление ТО и Р ПДМ по фактическому состоянию	30
3.3 Разработка математической модели управления ТО и Р ПДМ	33
3.4 Установление характеристик ТО и Р ПДМ	39
3.5 Разработка методики обоснования норм диагностирования, управления и прогнозирования техническим состоянием ПДМ	42
3.6 Расчёт производственной программы по диагностированию, управления и прогнозирования техническим состоянием ПДМ	47
Заключение	61
Список использованной литературы	62
Приложения	

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** Эффективность работы погрузочно-доставочных машин (ПДМ) зарубежного производства, доля которых в парке подземной самоходной техники горных предприятий всё возрастает, во многом зависит от совершенства принципов управления изнашиванием деталей ПДМ. Более 80% объёма запасных частей, 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. В результате, как показывает практика, ПДМ эксплуатируются с не высоким коэффициентом готовности.

Важность значения поставленных вопросов диктуется физическим и моральным износом средств механизации на горных предприятиях. Поэтому, обоснование и разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием для деталей ПДМ является актуальной задачей исследования.

**Степень разработанности темы исследования.** Решению вопроса повышения надёжности средств механизации за счёт управления изнашиванием деталей и узлов машин 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 управления изнашиванием деталей и узлов ПДМ уделено мало внимания.

**Объектом исследования** являются погрузочно-доставочные машины, эксплуатируемые в условиях АО «Казахмыс».

**Предметом исследования** является повышение надёжности погрузочно-доставочных машин.

**Цель работы** заключается в уменьшении времени простоев погрузочно-доставочных машин за счёт увеличения коэффициента готовности путём обоснования и разработки принципов управления и прогнозирования износостойкостью деталей и узлов ПДМ.

**Идея работы** состоит в том, что коэффициент готовности погрузочно-доставочных машин увеличивается за счёт управления и прогнозирования

изнашиванием деталей и узлов ПДМ с учётом взаимосвязи между показателями надёжности и качеством ТО и Р.

**Теоретической и методологической основой диссертационного исследования** послужили фундаментальные и прикладные исследования отечественных и зарубежных ученых, государственные и ведомственные стандарты, материалы научных конференций, периодических изданий и сети Internet.

В процессе исследования использовались материалы системного анализа, аналитических и экспериментальных методов: математического моделирования, основанного на теории вероятностей и математической статистике, теории надёжности; экспериментальных исследований энергомеханического оборудования горно-рудных предприятий.

#### **Задачи исследования:**

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

2. Обосновать основные виды изнашивания деталей и узлов ПДМ в абразивной среде и сформулировать граничные условия возникновения этих процессов.

3. Исследовать закономерности механических форм абразивного изнашивания в зависимости от внешних факторов, концентрацию абразивных частиц и качества ТО и Р.

4. Разработать математическую модель трехуровневого управления ТО и Р ПДМ.

5. Разработать принципы методики управления и прогнозирования абразивной износостойкостью ПДМ.

**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 управления и прогнозирования изнашиванием деталей и узлов ПДМ.

**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.

**Апробация результатов** исследования проводилась в форме докладов и обсуждений на заседаниях кафедры ТМ, Т и Л КАЗНИТУ им. К. И. Сатпаева и научно-практических конференциях АО «Казахмыс»

**Структура и объем диссертации:** диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, библиографии по теме и приложения. Общий объем диссертации составляет 64 страниц, в том числе 11 иллюстраций и 12 таблиц.



# 1 Анализ современного состояния процессов прогнозирования и управления изнашиванием погрузочно-доставочных машин

## 1.1 Обзор состояния технологических средств механизации на АО «Казахмыс», выбор объекта исследования

Опыт эксплуатации зарубежной самоходной техники показывает, что, несмотря на высокое качество их производства, АО "Казахмыс" несет большие затраты на поддержание высокого уровня их надежности при эксплуатации. Таким образом, для подземной самоходной техники по производственным данным за 2019 год затраты ТО и Р составили около 3,5 млн. долл. в год. долларах, что составило около 25-30% производственных затрат на добычу руды. Эти затраты, как правило, в основном связаны с удаленностью производителя самоходной техники от горного предприятия и низкой эффективностью существующей системы ТО и Р. Проанализируем причины такой негативной тенденции на примере использования самоходной техники Жезказганского рудника как крупнейшего подразделения предприятия АО «Казахмыс».



Рисунок 1. 1 – Погрузочно-доставочные машины

## 1.2 Понятие процессов старения и ресурса ПДМ

Технический ресурс (далее - ресурс) - показатель долговечности, характеризующий запас возможного функционирования объекта. В соответствии с ГОСТ 13377-75 ресурсом называется функционирование объекта от начала или перезапуска до наступления предельного состояния.

В зависимости от того, как выбрать начальный момент времени, в каких единицах измеряется продолжительность работы и что понимается под предельным состоянием, понятие ресурса получает различную трактовку.

В качестве критерия длительности может быть выбран любой неустраняемый параметр, характеризующий продолжительность использования объекта. С точки зрения теории и общей методики лучшей и универсальной единицей времени остается единица времени.

Во-первых, рабочее время технического объекта, в общем случае, включает в себя не только время его полезного функционирования, но и перерывы, при которых общее рабочее время не увеличивается.

Во-вторых, назначенный ресурс тесно связан с установленным сроком службы, определяемым как календарная продолжительность эксплуатации объекта до его списания и измеряемым в календарных единицах времени. Установленный срок службы в значительной степени связан с темпами научно-технического прогресса в этой области.

В-третьих, в задачах прогнозирования остаточных ресурсов функционирование объекта в сегменте прогнозирования является случайным процессом, доказательством которого является время. Таким образом, развитие приобретает значение случайной функции времени.

Понятие предельного состояния, соответствующее исчерпанию ресурса, позволяет трактовать по-разному. В одних случаях причиной прекращения эксплуатации является моральный износ в других - чрезмерное снижение эффективности, что делает дальнейшее использование экономически нецелесообразным, в третьих - снижение показателей безопасности от предельно допустимых уровней [1].

На стадии проектирования, когда объект еще не создан, его расчет, в том числе оценка ресурса, производится на основе нормативных документов, которые, в свою очередь, основаны на статистических данных о материалах, воздействиях и условиях эксплуатации аналогичных объектов (достоверных или недостоверных).

Понятие ресурса применительно к используемым объектам можно трактовать по-разному. Основной концепцией здесь является индивидуальный остаточный ресурс-продолжительность работы от определенного времени до достижения предельного состояния.

В современных условиях науки и техники возможно значительное увеличение ресурса машин (до значений, соответствующих их износу). Некоторые мероприятия по улучшению ресурса требуют более грамотного подхода к расчету и проектированию, техническому обслуживанию и эксплуатации. Другие меры связаны с применением новых материалов, конструктивных решений и технологических процессов.

Таким образом, увеличение ресурсов является важным резервом для экономии средств, материалов, энергии и трудозатрат. Так, увеличение ресурса в среднем на 10% по парку некоторых машин эквивалентно экономии порядка 10% при производстве новых машин или вводе соответствующих новых производственных мощностей. Ресурс во многом зависит от нагрузок, действующих на элементы машины или конструкции.

Правильный выбор и правильный расчет материалов являются основными источниками увеличения ресурсов без удорожания машины или конструкции. Поскольку прогнозирование ресурса предполагает установление его зависимости от всех внешних и внутренних факторов, разработка методов

прогнозирования должна рассматриваться как одна из составных частей общей проблемы ресурса.

На этапе использования особое место занимает прогнозирование ресурсов. В отличие от стадии проектирования, когда ресурс общей совокупности еще не созданных технических объектов подлежит прогнозированию, на стадии эксплуатации прогнозирование осуществляется для конкретных, существующих объектов. При этом остаточный ресурс и (или) остаточный срок службы подлежат оценке.

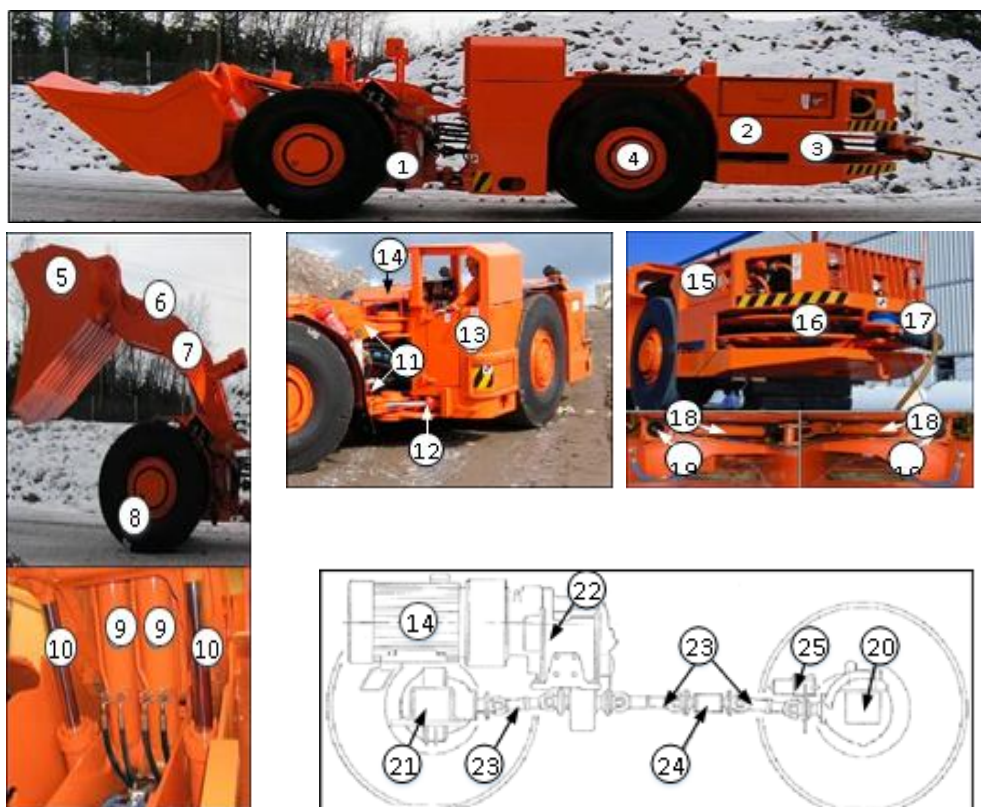
Индивидуальное прогнозирование ресурса открывает дополнительные пути для получения экономического эффекта. В связи с естественным рассеянием свойств объектов и различными условиями их использования (включая историю загрузки каждого из них) отдельные показатели ресурса лежат в широком диапазоне.

### **1.3 Причины низкой надежности при эксплуатации погрузочно-доставочных машин в производственных условиях Джезказганского рудника**

При подземной разработке месторождений на руднике широко применялись электропозвучно-доставочные машины (ПДМ). ПДМ относится к классу погрузочно-транспортных машин периодического действия, механизующих операции по погрузке, транспортировке и выгрузке горной массы. Рабочий процесс МКШ состоит из трех этапов: перемещение холостое (машина движется в ненагруженном состоянии); вытягивание и наполнение ковша и транспортировка руды в слив, связывающий горизонты добычи и транспортировки руды. Исполнительным органом ПДМ является ковш с нижним захватным способом с прямой загрузкой, в котором осуществляется транспортировка горной массы, выделенной для выгрузки из массива через пневмоколесную ходовую часть, приводимую в движение электрическим или дизельным двигателем.

Все ПДМ имеют одинаковую базовую компоновку, одинаковый исполнительный орган и отличаются друг от друга размерами, отдельными узлами, типом привода и шасси. Далее в диссертации использование ПДМ рассматривается на примере ПДМ Sandvik LH409E (прежнее название Toro400E) как наиболее распространенная модель, используемая для механизации горных работ при подземной разработке рудника и имеющая следующее устройство, общий вид габаритные размеры и основные технические характеристики (см. Рисунок 1. 2 и Рисунок 1. 3) [2].

ПДМ Sandvik LH409E состоит из (см. рис.1. 2) исполнительные (1) и приводные (2) полурамки, соединенные между собой цилиндрическим шарниром (11), что позволяет поворачивать машину под углом  $\pm 40^\circ$  через вращающиеся гидроцилиндры (12). Он оснащен электрическим (14) двигателем мощностью около 150 л. с. с силовым приводом на все колеса (4).



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 подъема 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. 2 – Основные элементы и структура устройства ПДМ Sandvik LN409E

Электродвигатель питается через силовой кабель, подключенный к локальной ветви системы электроснабжения, которая обеспечивает движение ПДМ в зоне его рабочего фронта через узел намотки кабеля на барабан (3). Исполнительная полурамка имеет приводную ось (21) с двумя пневмоколесами (8) и грузоподъемный ковш (5), положение которого обеспечивается цилиндрическими шарнирными соединениями стрелы и поворотного рычага (кулисы), приводимыми в действие гидроцилиндрами (9) наклона ковша и подъема стрелы (10). Приводная полурамка состоит из одной

оси с двумя пневматическими колесами, двигателя, гидропривода и трансмиссии [3].

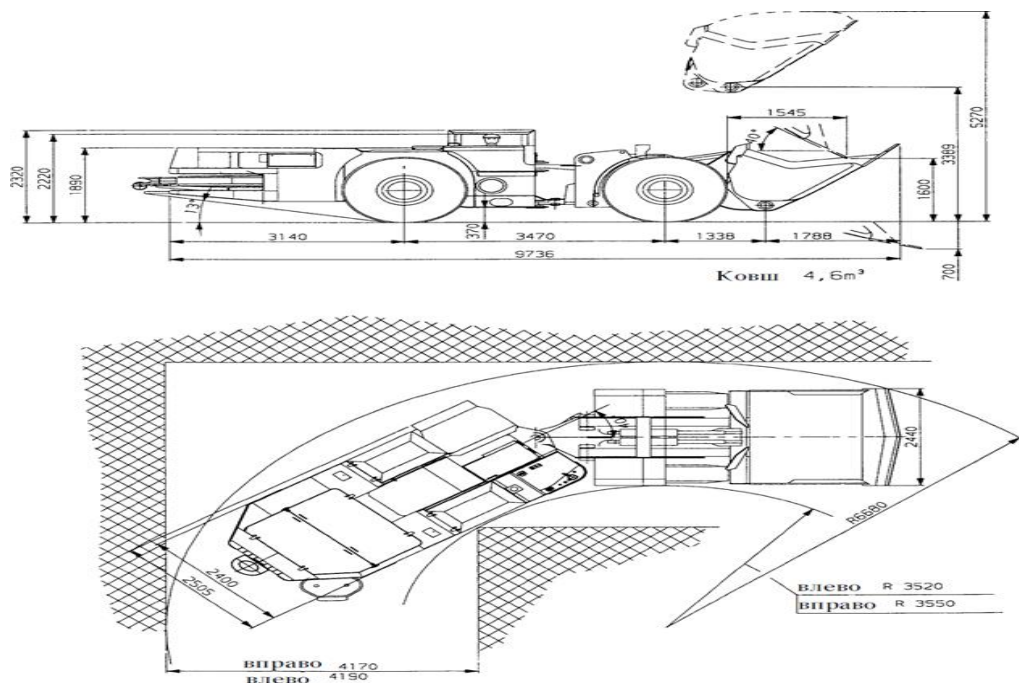


Рисунок 1. 3 – Общий вид с габаритными размерами ПДМ Sandvik LH409E

Процесс эксплуатации ПДМ при подземной разработке в рудничных условиях связан со сложными условиями ведения добычных работ. Как показывает практика, после взбивания горной массы коэффициент прочности горных пород проф. М. М. Протодяконова отмечает, что при выемке по рыхлым породам от 13 до 17, а от 5 до 11, технологические особенности качества массива и выбивания, Рудная масса имеет разную массу. Чаще всего разбитая горная масса может содержать крупные куски руды, которые впоследствии придется разделить на подходящие размеры и массы для транспортировки. Их величины определяются техническими характеристиками и габаритными размерами применяемых ПДМ (см. рис.1. 3), а также поперечное сечение рудосъемки, обеспечивающее беспрепятственное перемещение кусков руды с максимальными габаритами до 0,5-1 м.

Процесс вытягивания и заполнения ковша ПДМ при зачистке горной массы в забое различной огранки связан с возникновением нерегулярных резких нагрузок, передаваемых от исполнительных частей к рабочим и опорам. Наибольшие нагрузки, испытываемые рабочими, силовыми и другими элементами ПДМ, возникают в процессе вытягивания и наполнения ковша при очистке забоя, а также при транспортировке руды в ковш по весу. Тяжелые

условия эксплуатации и периодические нарушения условий эксплуатации приводят к интенсивному использованию ПДМ и выходу из строя наиболее нагруженных элементов их конструкции. Анализ ремонтных ведомостей и устройств ПДМ (рис. 1. 2) на элементах гидравлики (гидроцилиндры и гидромоторы поворота передней полурамки, подъем стрелы, опрокидывание ковша и барабана намотки кабеля); в элементах конструкции стрелы (оси, стопоры, пальцы, крепежные элементы), в элементах трансмиссии (коробка передач, карданные валы, агрегаты передней и задней оси), в механизме намотки кабеля, а также в элементах полурамок (шарнирные, соединительные и крепежные элементы) и в отказах выходных элементов (шарнирные, соединительные и крепежные элементы), в результате отказов (ковшовые зубья, упругие элементы, пневматические колеса и др [4].

Поддержание работоспособного состояния парка ПДМ на руднике выполняется участком ремонта самоходной техники (УРСТ) службы главного механика рудника (СММ). В соответствии с указаниями технической документации и по фактической работе в мот/час проводятся планово-предупредительные ремонты. При возникновении внезапного отказа ремонтная бригада направляется к месту аварии. По результатам оценки характера отказа принимается решение либо об оперативном устранении неисправности (локальном), либо о транспортировке вышедшей из строя единицы техники (либо демонтированного агрегата) в УРСТ. В УРСТ выполняется агрегатная замена (при наличии исправного агрегата), или отбор с выявлением и устранением неисправности. Важным фактором, определяющим оперативность проведения ремонтных работ и, как следствие, влияющим на надежность эксплуатации ПДМ, является наличие в соответствующем ремонтном подразделении в нужное время необходимой запасной части (ВЧ). Особенно это заметно по отношению к ответственным деталям, при отказе ПДМ переходит в нерабочее состояние.

Оборудование ЗЧ ПДМ, эксплуатируемое в АО "Казахмыс", выполняется путем закупа у внешних поставщиков и производства собственными силами. В настоящее время больше внимания уделяется покупке ЗЧ, что, как правило, связано с использованием исходного ЗЧ. Однако, как показывает практика, в силу ряда причин, связанных с использованием ПДМ далекого от потребителя иностранного производства, экономических санкций и этих временных и финансовых потерь, это не всегда эффективно и часто приводит к остановке и росту ПДМ. Это влияет на надежность их работы и приводит к большим производственным затратам, эквивалентным себестоимости «недодобычи» объема руды  $V_{\text{пот.}}$ , транспортируемой за данный период в соответствии с эксплуатационной производительностью  $Q$ , ПДМ в случае отсутствия резервных единиц техники.



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

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

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

$$K_{\text{Г}} = T_{\text{о}} / (T_{\text{о}} + T_{\text{в}}). \quad (1.4)$$

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  $T_{\text{э}}$ ;

$T_{\text{о}}$  – среднее время наработки ПДМ между отказами;

$T_{\text{в}}$  – среднее время восстановления работоспособного состояния ПДМ;

$V$  – объём ковша ПДМ, м<sup>3</sup>;

$\gamma$  – плотность разрыхлённой горной массы т/м<sup>3</sup>;

$t$  – 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.

Эту ситуацию хорошо отражают производственные данные по эксплуатации ПДМ на руднике АО "Казахмыс" за 2018 год. Одной из причин невыполнения плановых объемов добычи руд являются аварийные ремонты и длительное (до 1,5 месяцев) пребывание самоходной техники в ожидании ЗЧ. 18 единиц находящейся в эксплуатации руды Того-400е в среднем за 3 месяца ремонтировалось 2,3 единицы из-за хаотичной поставки ЗЧ. Общий перерыв только за квартал составил 142 рабочих дня.

Около 80% ответственных деталей, выход из строя которых приводит к выходу из строя ПДМ, относятся к общему машиностроительному производству, и в сложившейся ситуации выгоднее было бы их изготовить в ремонтном производстве АО "Казахмыс" вблизи мест эксплуатации. Локальное расположение таких предприятий дает им явное преимущество по отношению к сторонним поставщикам. Яркий пример, отражающий эти заявления, – сравнение затрат на техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р) иностранных ПДМ с частичной заменой ЗЧ, выполненной силами добывающих предприятий, силами ремонтного производства АО "Казахмыс" при полном обеспечении ТО и Р одинаковыми ПДМ, но силами ремонтного производства, СГМ. Таким образом, в результате технико-экономической оценки данных вариантов при равных условиях установлено, что затраты ТО и Р силами ремонтного производства АО "Казахмыс" в 1,5 – 2,2 раза ниже по сравнению с силами сервисных центров предприятий-изготовителей (по данным за 2019 год). При этом затраты на обеспечение собственными силами

ЗЧ при ТО и Р составляют порядка 1 млн. долл. в год в размере 38 единиц техники для парка ПДМ, что в пересчете на один ПДМ в среднем составляет 26 тыс. евро в год, минимальная цена 300 тыс. евро за один ПДМ, что в свою очередь составляет 8,5% от его стоимости. При ремонте сервисных услуг производителя с собственными ЗЧ затраты на их приобретение составляют 60 тыс. евро (около 20%) в год на одну машину. Приведенные выше данные характеризуют ситуацию применения ТО и Р собственными силами, в основном исходными ЗЧ.

Несмотря на очевидное преимущество производства ЗЧ силами собственного ремонтного производства, практика показывает, что на ремонтных предприятиях АО "Казахмыс" производится небольшая доля ЗЧ для ремонта ПДМ. Разберем причины такой негативной тенденции [5].

#### **1.4 Постановка задачи о прогнозировании ресурса на стадии проектирования**

На стадии проектирования должны быть разработаны технические решения, обеспечивающие выполнение всех установленных функций при высоких показателях эффективности и экономичности объекта.

Снижение материальных и трудовых затрат на производство объекта, ускорение его ввода в эксплуатацию, как правило, являются основными критериями качества проектирования, доводки и ремонта. Требования к надежности, в том числе требования к надежности, прочности, стабильности и сохранности, также входят в число критериев руководства. Задача - обеспечить неработоспособность основных и наиболее важных узлов объекта, снизить вероятность появления остальных неисправностей, сократить продолжительность рабочего времени, связанного с устранением и устранением неисправностей.

Основной задачей прогнозирования ресурсов на стадии проектирования является согласование ожидаемых показателей прочности с плановыми, назначенными показателями. На этапе проектирования объектом прогнозирования является идеализированный объект-расчетная схема, основанная на изучении предыдущего опыта проектирования и эксплуатации аналогичных объектов, а также статистических данных о свойствах материалов, узлов и элементов агрегатов. Эти данные также относятся к случаям использования статистического и неполного характера.

Следует отметить, что вероятностный характер прогноза обусловлен не только отсутствием полной информации о проектируемом объекте, но и распространением прочностных показателей, обладающих большой чувствительностью к различным факторам. Распределение прочностных показателей является непреодолимым фактором, который следует учитывать как при проектировании, так и на этапе эксплуатации при правильном



планировании системы технического обслуживания и планово-предупредительных мероприятий [6].

Несмотря на ожидаемый разброс реального ресурса, его следует по возможности согласовать с назначенным ресурсом. Сложность заключается в том, что если назначенный ресурс является детерминированным значением, то предполагаемый ресурс представляет собой случайную величину. Предположим, что параметры объекта выбраны таким образом, чтобы при разработке назначенного ресурса только 50% парка достигли предельного состояния, т. е. плановое значение, установленное по парку, в целом не реализовано. С точки зрения общей экономической эффективности необходимо найти оптимальное значение гамма-процентного ресурса. Для получения высокой эффективности вновь проектируемых машин распределение ресурсов должно быть минимальным. С точки зрения организации технического обслуживания иногда выгоднее более компактное распределение ресурсов, чем среднее. Кроме того, объект, по возможности, не должен содержать элементы, средний ресурс которых не соответствует графику планово-профилактических мероприятий.

Увеличение прочностных показателей всех элементов, узлов и агрегатов до уровня, установленного для объекта в целом, нерационально и неэффективно. Часть элементов подлежит замене, ремонту или восстановлению во время промежуточных профилактических мероприятий. Возникает проблема выбора рациональной частоты средних и капитальных ремонтов, а также согласования случайных значений межремонтного ресурса с детерминированной частотой предупредительных мероприятий.

Если перейти к более прогрессивной системе прогнозирования отдельных ресурсов, где каждый объект имеет свой график обслуживания, перечисленные трудности значительно уменьшатся.

В задачу прогнозирования ресурса помимо фактической оценки ожидаемых распределений конкретного ресурса и изучения факторов, влияющих на эти распределения, входит и традиционный расчет операционной надежности. Поэтому проверка объекта в целом и отдельных его блоков на надежность входит в задачу прогнозирования ресурса. Расчет безопасности по отношению к редким интенсивным воздействиям или их комбинациям занимает особое место. При добыче ресурсов снижается общее сопротивление объекта интенсивным воздействиям (износ, коррозия, рост постоянных трещин и др.). Таким образом, расчет безопасности и прогнозирование ресурсов являются тесно связанными задачами [7].

### **1.5 Постановка задачи о прогнозировании ресурса на стадии эксплуатации**

Прогнозирование собственного остаточного ресурса относится к конкретному техническому объекту в эксплуатации. Основой для

прогнозирования является информация, которую условно можно разделить на три части. Во-первых, это данные текущего (оперативного) поиска неисправностей в процессе эксплуатации. Контроль может быть непрерывным или дискретным (например, приуроченным к плановым профилактическим мероприятиям). Для поиска неисправностей понадобятся встроенные и внешние устройства, системы хранения и обработки диагностической информации, алгоритмы и программы для принятия решений. Во-вторых, это данные о нагрузке и других условиях взаимодействия объекта с окружающей средой. Если доступной информации недостаточно для принятия решения о прекращении использования, то необходимо назначить обоснованный срок проведения очередной диагностики объекта [8].

При этом задача прогнозирования предполагает оценку вероятности различных неудач с целью их предотвращения. Еще одна задача индивидуального прогнозирования-оценка риска в отношении опасных аварийных ситуаций, установление предельно допустимых остаточных сроков эксплуатации при наличии увеличенного риска и предоставление рекомендаций о мерах по повышению безопасности.

Поскольку прогнозирование остаточных ресурсов относится к конкретному, отдельному объекту и прогноз неизбежно содержит элементы вероятностного характера, возникает вопрос о интерпретации вероятностных выводов применительно к отдельным объектам и отдельным ситуациям. Современная теория вероятностей и математическая статистика традиционно рассматривают статистическую интерпретацию вероятностей как единственное объяснение, имеющее объективный смысл. Аналогичное понимание дается и в системной теории надежности, которая развивается прежде всего в отношении массовых продуктов, работающих в статистически однородных условиях. Теория статистических решений полностью основана на байесовской интерпретации вероятностей, а выводы индивидуального характера основаны на статистической информации, полученной из анализа репрезентативных выборок. Роль статистической информации в прогнозировании отдельных показателей надежности играют данные о нагрузках, свойствах материалов, соединений и частиц, причем эти данные относятся к массовым явлениям или эргодическим процессам. Понятия показателей личной надежности- это в конечном счете, математическая формализация интуитивных представлений, используемых группой экспертов при обсуждении вопроса о возможности дальнейшего использования того или иного технического объекта [9].

## **1.6 Цель и задачи исследований**

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 АО «Казахмыс».

2. Выполнить анализ существующей системы обеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин, оценить связанные с этим производственные затраты и потери АО «Казахмыс» и выбрать наиболее эффективную модель управления запасами.

3. 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 АО «Казахмыс».

4. Разработать математическую модель, позволяющую установить взаимосвязь между коэффициентом готовности погрузочно-доставочных машин и уровнем качества, достигаемого при изготовлении запасных частей к ним.

5. Выполнить имитационное моделирование метода оперативного самообеспечения запасными частями погрузочно-доставочных машин в условиях АО «Казахмыс» и установить зависимость коэффициента готовности от затрат на его обеспечение для его сравнения с другими логистическими вариантами обеспечения запасными частями.

## 2 Методология процессов прогнозирования остаточного ресурса ПДМ

### 2.1 Общие сведения

Исходная информация при проектировании данные о материалах, узлах, элементах и блоках, нагрузках и других условиях эксплуатации, требования к показателям эффективности, надежности, долговечности, годности и хранения, включая нормативные значения полного и межремонтного ресурса (срока службы) и т. цель прогнозирования — прогнозирование значений полного и межремонтного ресурса (срока службы), определение зависимости этих показателей от исходных данных и указание наиболее рациональных способов согласования ожидаемых значений ресурса с нормативными значениями. Таким образом, прогнозирование также включает в себя изучение подходов к управлению ресурсами. Роль ограничений (кроме требований надежности и безопасности) выполняют установленные предельные значения материальных и трудовых затрат, сроки проектирования и переработки продукции, а также условия, применимые к техническим параметрам проектируемой системы. Каждое уточнение информации о нагрузке приводит к уточнению этого распределения [10].

Итак, прогнозируемый ресурс  $T$  —случайная величина. Допустим, расчетным путем найдены функция распределения  $F_T(T)$  и плотность вероятности  $p_T(T)$  величины  $T$ . Возникает вопрос о том, как согласовать между собой показатели, распределенные по некоторым вероятностным законам, и детерминистические назначенные. Назначенный ресурс  $T_*$  должен соответствовать квантили  $1 - P_*$  распределения  $F_T(T)$  так, чтобы вероятность обеспечения  $T_*$  была равна заданному значению  $P_*$ . Следовательно, наиболее естественное толкование назначенного ресурса на стадии проектирования — это отождествление его с гамма-процентным ресурсом. Значения  $T_*$  и  $P_*$  следует выбирать, чтобы назначенные показатели соответствовали оптимальным с технико-экономической точки зрения решениям.

Математическое ожидание ресурса  $E[T]$ , взятое в отдельности, не может служить достаточной характеристикой долговечности.

Следующим по значимости параметр распределения —дисперсия ресурса  $D[T]$  характеризует разброс значений ресурса относительно его математического ожидания. Увеличение среднего ресурса не обязательно означает повышение долговечности в условиях эксплуатации. На рис. 2.1 приведены зависимости плотностей  $p_T(T)$  для двух технически равноценных вариантов. В варианте 1 дисперсия ресурса значительно меньше, чем в варианте 2, поэтому при достаточно высоких значениях  $P_*$  вариант 1 имеет преимущество по ресурсу, хотя математическое ожидание ресурса для этого варианта несколько меньше, чем для варианта 2 [11]. Требование к малой

дисперсии ресурса также связано с техническим обслуживанием массовых объектов.

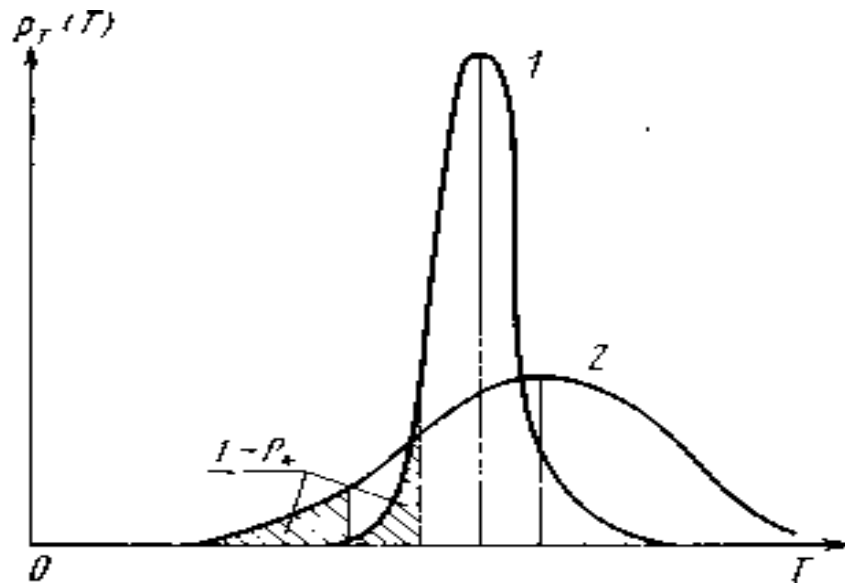


Рисунок 2.1- Зависимости плотностей  $P_T(T)$

К сожалению, распределение ресурса называется не только рассеянием физико-механических свойств материалов или качества компонентов, деталей и узлов, но и изменчивостью условий эксплуатации. Кроме того, невозможно управлять переменными нагрузками и естественными эффектами. Поэтому распределение ресурса сохраняется даже в том случае, если возможно создание совершенно одинаковых объектов. Техническое обслуживание объектов и списание их по техническому состоянию на основе индивидуального прогноза остаточного ресурса-один из наиболее эффективных способов использования дополнительных резервов в тех случаях, когда фактический ресурс подвержен значительной разрозненности.

При проектировании объектов с гарантированным ресурсом  $T_g$  возникают дополнительные трудности. Если все распределения физико-механических параметров материалов, узлов и деталей, характеризующих сопротивление наступлению предельного состояния, ограничены снизу положительными величинами, а все распределения параметров ограничены сверху, то распределение ресурса ограничено снизу. Если хотя бы одно из условий нарушено, то следует ожидать, что значения ресурса будут распределены на всей положительной полуоси. Заказчики часто настаивают на обеспечении гарантированного ресурса, не принимая вероятностно-статистической точки зрения даже при наличии очевидного разброса физико-механических свойств материалов и условий эксплуатации. В этом случае целесообразно приписать гарантированному ресурсу  $T_g$  некоторое значение обеспеченности, достаточно близкое к единице. Так, если наступление предельного состояния не связано с опасностью для людей и окружающей

среды, а также не влечет за собой существенного материального ущерба, то вероятность  $P_* = 0,99$  или  $0,999$  можно отождествить с единицей. Для массовых машин эта вероятность должна зависеть также от размера парка [12].

До настоящего времени обсуждались машины и конструкции, не подлежащие капитальному ремонту или восстановлению, вплоть до списания в процессе эксплуатации. Ресурс (срок службы) до первого капитального ремонта, а также продолжительность межремонтных периодов (если предусмотрено более одного капитального ремонта) должны быть также величинами, нормируемыми, назначаемыми в плановом порядке, отвечающими оптимальным технико-экономическим решениям. Все замечания касаются межремонтного ресурса. Однако в последнем случае есть некоторые дополнительные факторы, которые необходимо учитывать.

Типичным условием для крупных восстанавливаемых объектов является наличие в них компонентов, узлов и блоков, подлежащих замене или восстановлению при каждом капитальном ремонте. С экономической точки зрения планирование сокращенного ресурса для части компонентов путем их замены или восстановления при плановом ремонте может быть более целесообразным, чем увеличение ресурсов этих компонентов до значений, близких к полному ресурсу объекта.

Увеличение ресурса в результате общего улучшения качества проектных, расчетных, проектных и технологических исследований сопровождается улучшением других показателей надежности, в частности повышением надежности компонентов. Тем не менее, меры по обеспечению установленного ресурса должны быть дополнены обычными расчетами и испытаниями на эксплуатационную надежность для создания отказов, требуемых для компонентов, подлежащих замене или восстановлению в процессе текущего технического обслуживания. Один из возможных критериев — ограничение типа на интенсивность отказов  $\chi(t)$ .

Ресурс объекта зависит от ресурсов его составных частей — элементов, узлов, блоков и т. Поэтому задача прогнозирования ресурсов сложных объектов делится на ряд конкретных задач, а решение задачи для объекта состоит в синтезе конкретных результатов, полученных в целом. Рассмотрим типовые формулировки задач, которые могут быть применены как к отдельным частям объекта, так и к объекту в целом. Воздействие на объект в условиях его эксплуатации мы называем нагрузками, в том числе эксплуатационными и естественными нагрузками, возникающими в нормальных условиях эксплуатации. Вопрос о специальных и экстремальных нагрузках рассматривается в главе 6 при обсуждении методов расчета безопасности [13].

Все компоненты разбиваем на группы в порядке ремонта, замены или восстановления. К первой группе относятся все компоненты, которые должны функционировать до планового списания объекта, то есть до окончания технико-экономически обоснованного срока службы.

Вторая группа состоит из компонентов, которые в ближайшее время должны прослужить определенный срок до капитального ремонта. Третью группу составляют компоненты, подлежащие проверке и при замене промежуточных планово-профилактических мероприятий, и, наконец, четвертую — компоненты, для которых отправка заявления об отказе в использовании. Здесь мы в основном рассматриваем первую и вторую группы. Целью ресурсных расчетов является достижение сочетания ожидаемых распределений показателей прочности с оптимальными или рационально заданными значениями.

Опишем текущее состояние объекта в условиях постепенной выработки ресурса с помощью конечного числа неотрицательных параметров  $\varphi_1 \dots \varphi_n$  которые характеризуют степень повреждения и износа основных узлов и деталей машины. Назовем параметры  $\varphi_1 \dots \varphi_n$  мерами повреждений, а составленный из них вектор  $\varphi_1$  — вектором повреждений (см. гл. 3). Меры повреждений являются функциями времени (наработки и т. п.). Для описания условий эксплуатации (силовые и тепловые нагрузки, параметры окружающей среды, показатели интенсивности технологических процессов и т. п.) введем векторный процесс  $q(t)$ . Пренебрегая последствием, допустим, что приращение мер повреждений в единицу времени зависит лишь от состояния объекта и уровня нагрузок в этот момент времени. Таким образом, вектор повреждений  $\varphi$  удовлетворяет векторному дифференциальному уравнению типа :

$$\frac{d\varphi}{dt} = f[\varphi, q(t)] \quad (2.1)$$

Аналогичное уравнение получим и для блочного или циклического нагружения. Если функции дискретного аргумента можно заменить соответствующими функциями непрерывного аргумента, то приходим к уравнению (1.1). Считаем, что процесс  $\varphi(t)$  удовлетворяет условиям кумулятивности [14].

Векторное пространство с элементами  $\varphi$  в сущности представляет собой пространство качества  $V$ . Для согласования с гл. 3 и 4 всюду, где используем кумулятивные модели и вектор повреждений, обозначаем вектор качества  $\varphi$ . Область значений  $\varphi$  — первый (положительный) ортант этого пространства, а область допустимых значений  $\Omega$  занимает часть первого ортанта, примыкающую к началу координат. Внешняя граница  $\Gamma$  области  $\Omega$  соответствует предельным состояниям. Достижение векторным процессом  $\varphi(t)$  границы  $\Gamma$  означает наступление предельного состояния. Продолжительность эксплуатации до момента  $t = T$  достижения границы есть ресурс объекта. Основная задача состоит в нахождении функции распределения  $FT(T)$  и других вероятностных характеристик этой случайной величины.

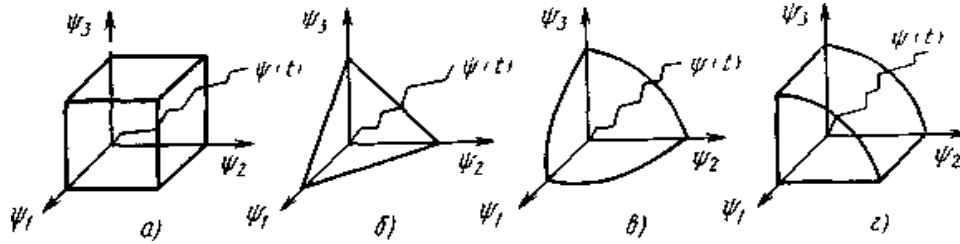


Рисунок 2.2 - Приближения к предельному состоянию

Пусть внешняя нормаль к границе  $\Gamma$  во всех точках имеет неотрицательные проекции на координатные оси и процесс  $\varphi(t)$  удовлетворяет условию. Тогда вектор  $\varphi(t)$ , покинув в некоторый момент времени  $t = T$  область  $\Omega$ , затем в эту область возвратиться не может. Следовательно, для вероятности пребывания вектора  $\varphi$  в области  $\Omega$  справедливо соотношение. Отсюда для функции распределения ресурса  $FT(T)$  получим формулу:

$$F_T(T) = 1 - P\{\varphi(T) \in \Omega\} \quad , \quad (2.2)$$

В вероятностном аспекте задача прогнозирования ресурса оказывается проще, чем вычисление вероятности безотказной работы при отсутствии ограничений на кумулятивность, поскольку нет необходимости привлекать теорию выбросов.

## 2.2 Прогнозирование остаточного ресурса ПДМ

Эксплуатация машин и сооружений по отдельному техническому состоянию открывает дополнительные резервы для повышения показателей ресурса и безопасности. Этот метод был впервые применен в гражданской авиации. Весьма перспективно применение данного метода в энергетике, тяжелой и горнодобывающей промышленности, в практике эксплуатации автомобилей, строительно-дорожных машин и сельскохозяйственной техники.

Методика прогнозирования отдельных остаточных ресурсов и других индивидуальных показателей надежности в принципе не отличается от методологии прогнозирования на стадии проектирования. Наиболее важным отличием является то, что помимо априорной информации о материалах, узлах, нагрузках, во время работы необходимо использовать текущую информацию об объекте, полученную в результате наблюдений и измерений. На основе набора информации об объекте необходимо экстраполировать поведение объекта в будущем и, если наблюдение за состоянием не проводится непрерывно, прекратить эксплуатацию этого объекта и (или) установить оптимальный момент для проведения следующей инспекции.



Анализ несущей способности поврежденных конструкций необходим для оценки запаса жизнеспособности, т. е. возможности безопасной работы при повреждениях (возможно, в легких условиях), которые с точки зрения нормальной работы следует отнести к предельным. Если повреждения понимаются как трещины, то возникает вопрос о допустимых размерах и расположении трещин, при которых обеспечивается необходимый запас жизнеспособности [15].

Предельные размеры трещин выполняют роль ограничений при прогнозировании остаточного ресурса. Оценка показателей безопасности требует решения задач о пересечении процесса  $\mathbf{q}(t)$  нагружения и процесса  $\mathbf{r}(t)$  изменения остаточной прочности из-за докритического роста трещин. В общем случае стоит задача о выбросах векторного процесса нагружения  $\mathbf{q}(t)$  из допустимой области,  $\Omega[\mathbf{r}(t)]$ , зависящей от остаточной несущей способности поврежденного объекта. Докритический рост трещин — медленный и квазимонотонный процесс, а нагружение, которое может вызвать внезапное разрушение, как правило, быстро меняется во времени. При этом постановка и решение задач допускают упрощения, основанные на том, что остаточная несущая способность  $\mathbf{r}(t)$  изменяется достаточно медленно по сравнению с процессом  $\mathbf{q}(t)$ .

Рассмотрим область  $M$ , в которой имеются трещины и трещиноподобные дефекты различных типов. Обозначим математическое ожидание числа дефектов  $i$ -го типа в области  $M_0$  через  $\mu_i$ , а функции их распределения по размерам  $F_i(l) (i = 1, \dots, I)$ . Для трещин каждого типа примем условие устойчивости Гриффитса—Ирвина:

$$x^{\frac{sl}{2}}/1 < K_c \quad (2.3)$$

Здесь  $s$  — номинальное напряжение;

$K_c$  — критическое значение коэффициента интенсивности;

$x$  — некоторый коэффициент порядка единицы.

Зададим поле номинальных напряжений  $s(x)$  с точностью до одного параметра нагружения  $q$ . Тогда  $xs(x) = qf(x)$ , где  $f(x)$  — некоторая функция координатного вектора. Введем обозначение для характерной прочности  $r_{*i}(x)$  по отношению к трещинам  $i$ -го типа, расположенным в малой области с координатным вектором  $x$ :

$$r_{*i}(x) = K_{ci} f_i(x) l_*^{1/2}, \quad (2.4)$$

где  $l_*$  — размер зародышевой трещины.

Учитывая, запишем условие устойчивости в терминах размеров трещин:

$$l_i < l_* r_{*i}^2 \frac{x^2}{q} \quad (i = 1, \dots, I) \quad (2.5)$$

Введем остаточную несущую способность  $r$  как значение параметра  $q$ , при котором хотя бы для одной из трещин в области  $M$  нарушено неравенство. Используя свойства пуассоновского ансамбля, выраженные формулами и, получим:

$$F_r(r) = 1 - \exp \left\{ - \sum_{i=1}^1 \int_M \mu_i [1 - F_i(l_* r_i^2 / r^2)] \frac{dM}{M_0} \right\} , \quad (2.6)$$

В общем случае  $\mu_i$ - и  $F_i(l_*$  зависят от  $x$ . Однако, если поле в области  $M$  однородно, а все трещины принадлежат одному типу, то формула принимает вид:

$$F_r(r) = 1 - \exp \{ - (\mu M / M_0) [1 - F_l(l_* r^2 / r^2)] \} , \quad (2.7)$$

Распределения и имеют смысл при  $r < r_*$ . Значение  $r_*$  соответствует минимальному размеру  $l_*$  трещин, при которых их считают макроскопическими. Таким образом, значения  $r_*$  должны быть весьма большими даже по сравнению с характерной прочностью неповрежденных образцов. Поскольку зародышевых трещин в таком образце очень много, то  $\mu M / M_0 \gg 1$ . Следовательно, значения  $F_r(r)$  обычно близки к единице [16].

Вопрос об оптимальном планировании ресурса возник в связи с техническим обслуживанием авиационной техники. Некоторые подходы к обоснованию планов обслуживания с учетом надежности и безопасности рассмотрены в работах. Основной принцип для назначения срока  $t_{k+1}$  следующей инспекции (ремонта, восстановления, замены блоков или другого вида технического обслуживания) в терминах функции апостериорного риска  $H(t/T_k)$  имеет вид:

$$H(t_k + \theta_k T_k) = H_* , \quad (2.8)$$

Здесь  $\theta_k = t_{k+1} - t_k$  — назначенный остаточный ресурс;

$H_*$  — предельно допустимое значение риска.

Несмотря на то, что после технического обслуживания общий уровень надежности объекта несколько возрастает, интервалы  $\theta_k$  по мере накопления повреждений в основных компонентах объекта убывают.

Наряду с критерием предельно допустимого риска используются критерии оптимизации, основанные на экономических и математических моделях. Кроме того, требования надежности и безопасности играют роль ограничений.

По аналогии с целевой функцией  $I(t)$ , задаваемой в форме, введем апостериорную целевую функцию  $I(t/T_k)$ , равную математическому ожиданию чистого вклада данного объекта в национальный продукт при эксплуатации объекта на отрезке  $(t_k, t]$ . Начиная с первого технического обслуживания при  $t = t_k$ , можно принять  $I(t_k/T_k) = 0$ . Явные выражения для

$I(t[T_k])$  получим с учетом формул и заменой априорных характеристик  $P(t)$ ,  $F_T(T)$  и  $p_T(T)$  соответствующими апостериорными характеристиками.

Для выбора оптимального момента  $t_k + \theta_k$  проведения следующей инспекции имеем решающее правило типа:

$$I(t_k + \theta_k [T_k = \max_{\theta_k}]) \quad , \quad (2.9)$$

По мере накопления повреждений и снижения технической эффективности назначенный остаточный ресурс, как и по критерию, уменьшается. При некотором значении  $t > t_k$  эксплуатация должна быть прекращена из-за нарушения ограничения на показатель безопасности  $H(t[T_k]) \leq H_*$ .

Рассмотрим также критерий, аналогичный:

$$\frac{d}{d\theta_k} [\ln I(t_k + \theta_k [T_k])] = \varepsilon, \quad (2.10)$$

Согласно критерию эксплуатацию прекращают для очередного технического обслуживания, когда уровень рентабельности достигнет предельно допустимого значения  $\varepsilon$ . При  $\varepsilon \ll 1$  критерии дают близкие значения остаточного ресурса [17].

### 2.3 Составление целевой функции показателей долговечности и эффективности ПДМ

При выборе нормативных показателей долговечности следует четко различать понятия срока службы  $T$  и суммарной наработки  $\theta$ . Основные аспекты этой проблемы рассмотрены в подразделах. Выбор назначенного срока службы  $T_*$  зависит от ряда технико-экономических факторов: темпов научно-технического прогресса, общего направления экономического и социального развития, ограничений на трудовые, энергетические и сырьевые ресурсы, места данной отрасли и данного класса технических объектов в народном хозяйстве.

Ресурс определяет запас возможной наработки объекта. Как показатель долговечности ресурс связан со сроком службы через наработку  $\theta$  в единицу календарного времени, характеризующую техническую эффективность объекта. На стадии проектирования наработка  $\theta$  должна быть задана. Если она постоянна в течение назначенного срока службы  $T$ , то назначенный ресурс  $\theta_*$  пропорционален сроку службы:  $\theta_* = \theta T_*$ . Если наработка  $\theta$  изменяется во времени, то связь между  $\theta_*$  и  $T_*$  имеет вид

$$\theta_* = \int_0^{T_*} \theta(t) dt, \quad (2.11)$$

Наконец, если на стадии проектирования наработка  $\theta$  — случайная величина (например, зависит от региона, в который будет направлена та или иная машина), то при заданном  $T_*$  назначенный ресурс также случайная величина. Его математическое ожидание

$$E[\theta_*] = \int_0^{T_*} \int_0^\infty p(\theta; t)\theta d\theta dt, \quad (2.12)$$

где  $p(\theta; t)$  — плотность вероятности наработки в единицу времени.

Для перерасчета срока службы на ресурс (и обратно), помимо наработки на единицу времени, можно использовать плановую производительность объекта в совокупности с комплексными показателями надежности, например, коэффициент технической эксплуатации или планируемого применения, характеризующий долю времени, которая должна быть в условиях функционирования объекта. Ситуация осложняется тем, что ресурс выполняет роль основного показателя на стадии проектирования, испытаний и усовершенствования. С точки зрения потребителя, срок службы не менее важен и во многих случаях является более важной характеристикой, чем ресурс [18].

### 3 Обоснование принципов прогнозирования и управления остаточным ресурсом ПДМ

#### 3.1 Трехуровневая система ТО и Р ПДМ

На сегодняшний день структура и состав системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) на различных горных предприятиях и подсистемы снабжения (ЗЧ) входящими в нее запасными частями различны и зависят от различных параметров, начиная от вида обслуживаемых средств механизации и заканчивая территориальным расположением подразделений, составляющих предприятие (рудники, карьеры, обогатительные фабрики и др.). Рассмотрим централизованную трехуровневую систему ТО и Р погрузочно-доставочных машин (ПДМ), входящих в состав парка подземной самоходной техники АО «Казахмыс» (см. [Рисунок 3. 1](#)).



Рисунок 3. 1 – Графическая модель 3-х уровневой системы ТО и Р парка ПДМ на предприятии АО «Казахмыс»

Одной из важнейших задач системы ТО и Р является своевременная и надежная поставка исправных установок и оперативной памяти, необходимых для восстановления их рабочего состояния. Этот способ ремонта называется переходным узлом и широко используется при ремонте ПДМ для повышения эффективности их проведения. Неисправные агрегаты при этом восстанавливаются путем замены или восстановления вышедших из строя их деталей и пополняют текущий запас после ремонта. Текущий запас агрегатов служит для бесперебойного существования системы в течение времени пополнения запасов и хранится в непосредственной близости от места эксплуатации парка ПДМ на складе [19].

Анализ показывает, что при ремонте на предприятиях, выполненных в главе 1, задействованы механические подразделения 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 за счет повышения уровня технологии изготовления деталей агрегатов ПДМ можно увеличить объемы и номенклатуру производимых ЗЧ. При самообеспечении ЗЧ агрегатов на этом уровне отпадает необходимость в программе выпуска ЗЧ, необходимо обеспечить структуру системы снабжения ЗЧ ПДМ, что сократит цикл и время доставки необходимого агрегата к месту работы и снизит затраты на ремонт ПДМ.

Учитывая, что оперативная технология изготовления ЗЧ ориентирована на простые детали и обладает высокой гибкостью, она предназначена в первую очередь для применения при ежемесячных (РО), текущих (ТР) и аварийных (РА) ремонтах (текущих) соответственно. Эти виды ремонта выполняются в РМУ, расположенном недалеко от места эксплуатации. Оперативное восстановление агрегатов будет способствовать сокращению их запасов и повышению надежности обслуживания ПДМ [20].

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

Анализ работ показал, что в последнее время для повышения эффективности выполнения мероприятий по ТО и Р 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 Т О и Р 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 [21].

### **3.2 Управление ТО и Р ПДМ по фактическому состоянию**

В настоящее время на АО «Казахмыс» для поддержания работоспособного состояния погрузочно-доставочных машин (ПДМ) применяется смешанная система технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), включающая в себя:

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);

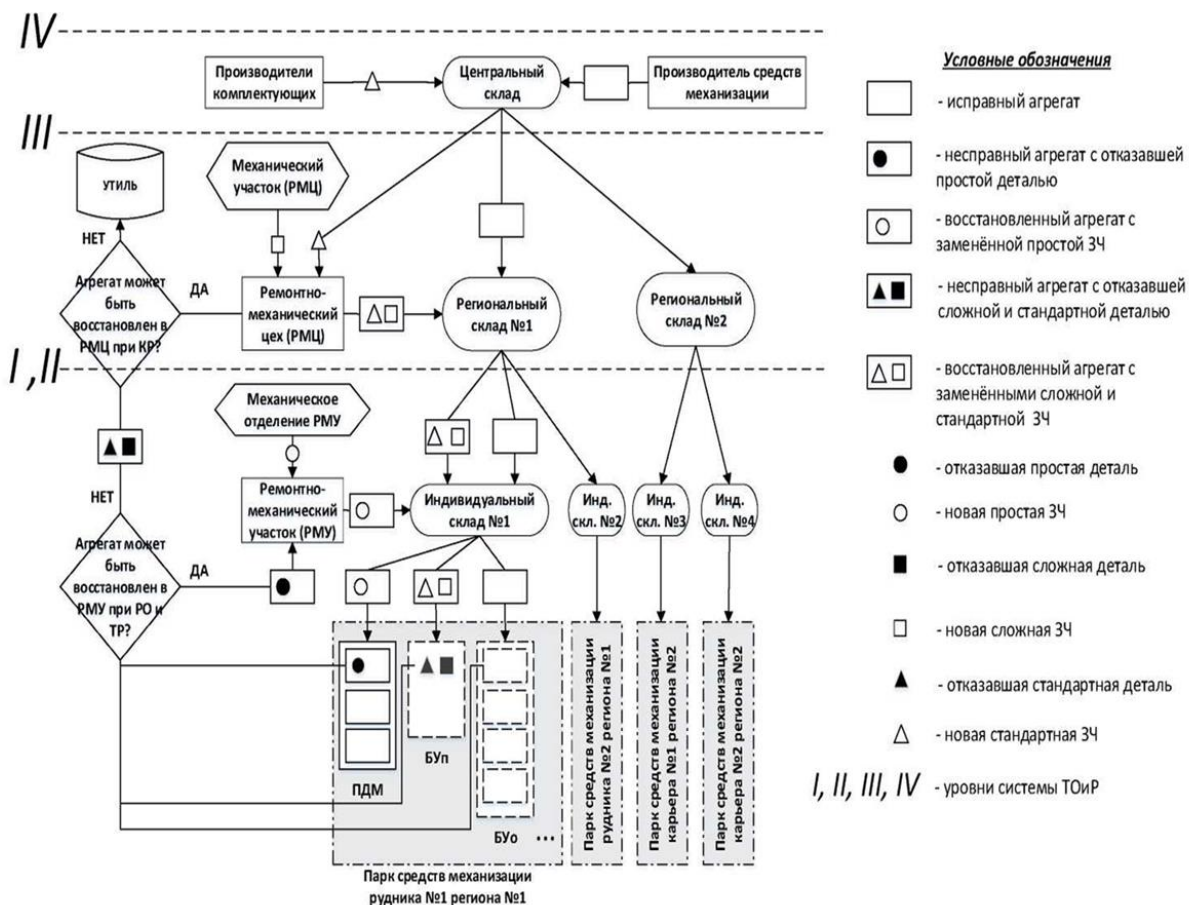


Рисунок 3.2 - Блок-схема логистического процесса сменного-узлового ремонта при выполнении мероприятий по ТО и Р парка средств механизации территориально распределенного комбината АО «Казахмыс» и места в ней и системы ремонта ПДМ (БУп и БУо соответственно, проходческие и очистные буровые установки)

На сегодняшний день в АО «Казахмыс» 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 [22].

Ещё одной особенностью ПО для хранения и обработки диагностируемой информации, является возможность прямого взаимодействия с информационными системами управления (ИСУ) ТО и Р в

рамках концепции CALS-технологии. CALS21 (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 ИИС22 и обеспечивает единообразные способы управления процессами взаимодействия посредством электронного обмена данными всех участников ЖЦ: заказчиков и производителей продукции, эксплуатационного и ремонтного персонала. 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. Для их снижения и повышения эффективности эксплуатации ПДМ на горных предприятиях применяются ИСУ ТО и Р. ИСУ ТО и Р 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 ТО и Р, интегрированные процедуры поддержки материально-технического обеспечения, меры по обеспечению персонала электронной эксплуатационной и ремонтной документацией (интерактивными электронными техническими руководствами).

Практика показывает, что для автоматизации управления ТО и Р ПДМ применяют два подхода к внедрению ИСУ ТО и Р:

Первый подход: используется несколько программных продуктов, каждый из которых автоматизирует свою сферу деятельности. Этому подходу соответствуют ЕАМ-системы<sup>23</sup>, разработанные специально для управления процессами ТО и Р.

Второй подход: для автоматизации всех служб предприятия используется один универсальный программный продукт. Данному подходу соответствуют ERP-системы<sup>24</sup>, в составе крупнейших из которых имеются модули управления ТО и Р.



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

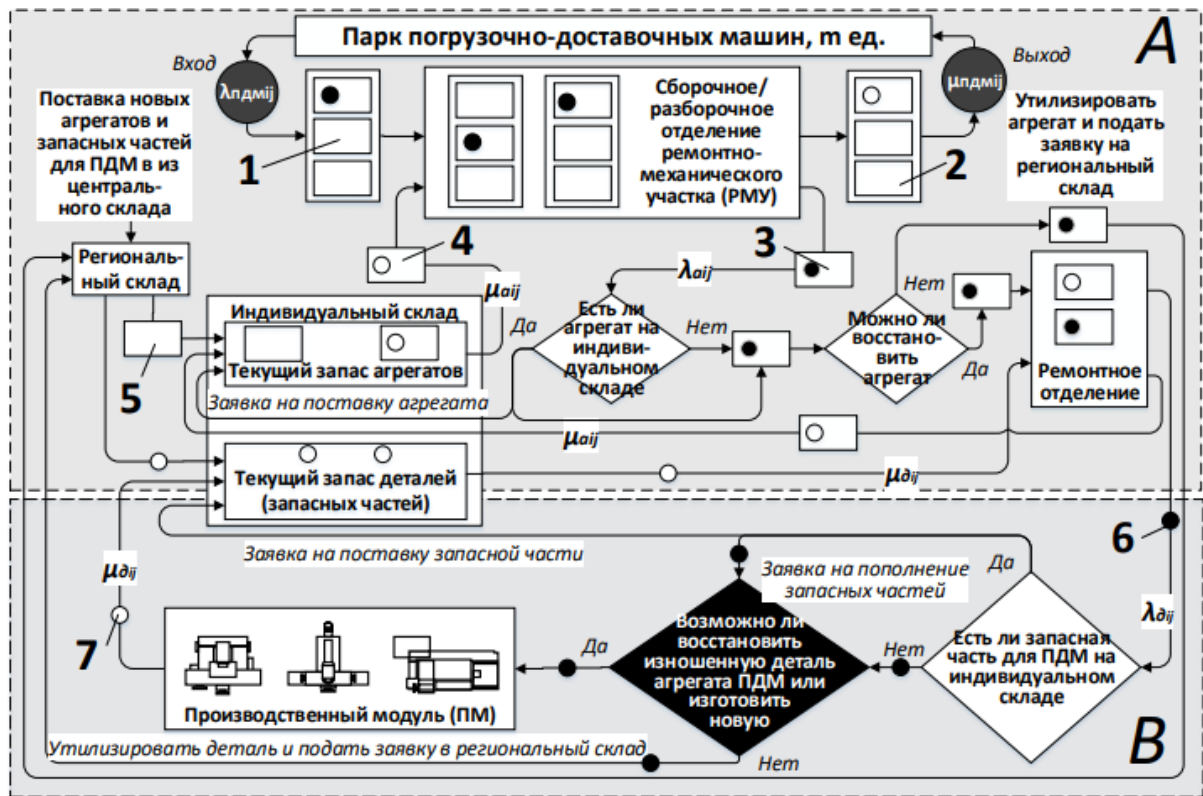


Рисунок 3. 3 - Схема информационного взаимодействия участников систем снабжения ЗЧ и ТОиР по фактическому состоянию и место в нём технологии изготовления ЗЧ для ПДМ

### 3.3 Разработка математической модели управления ТО и Р ПДМ

Для оценки эффективности применения новой технологии оперативного изготовления запасных частей (ЗЧ), ограничим рассматриваемую задачу. С целью упрощения анализа и подбора математической модели, рассмотрим алгоритм работы 1-го и 2-го уровня системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) парка погрузочно-доставочных машин (ПДМ) АО «Казахмыс» [23].

Сформулируем цель, которая преследуется при внедрении новой технологии изготовления ЗЧ в структуру ТО и Р. 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  $K_g$ .



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

Рисунок 3.4 - 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)

Для упрощения задачи, рассмотрим коэффициент готовности ПДМ связанный только с возможными отказами  $j$ -й детали  $i$ -го агрегата и обозначим его как  $K_{gij}$ . По своей сути  $K_{gij}$  это вероятность того, что в произвольно выбранный единичный интервал времени  $t$  любая наугад взятая ПДМ окажется в работоспособном состоянии  $P_{рсп\ ij}$  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  $P_0(t) = P_{рсп\ ij} = K_{gij}$ .

Суммарные производственные потери  $C_{сумij}$  при снабжении ПДМ  $j$ -ми ЗЧ  $i$ -го агрегата, при которых обеспечивается максимальный  $K_{gij}$ , будут складываться из затрат на их снабжение и потерь от простоев ПДМ при выполнении ремонта. Обозначим  $CA_{ij}$  и  $CB_{ij}$  потери в контурах А и В соответственно. Так как контуры А и В имеют общий текущий запас ЗЧ, то суммарные потери  $C_{сумij}$  помимо затрат на приобретение агрегатов и потерь от простоев ПДМ в ремонте за время  $T$  будут включать потери  $CB_{ij} = Z(R * ) \cdot T$ , где  $Z(R * )$  средние минимальные удельные затраты на снабжение  $j$ -ой ЗЧ  $i$ -го агрегата, рассчитываемые для различных логистических вариантов по

формулам при снабжении ЗЧ внешними источниками и при самообеспечении ЗЧ. Потери  $C_{Bij}$  учитывают простой ПДМ, вызванные дефицитом  $j$ -ой ЗЧ  $i$ -го агрегата в текущем запасе [24].

Формула для расчёта  $C_{сумij}$  обеспечивающих максимальный  $K_{rij}$  примет вид:

$$C_{сумij} = C_{Aij} + C_{Bij} = C_{ai} \cdot ni + (Z(R_{ij}) + C_{пр.маш} \cdot P_{отк.ij}) \cdot T_{ам.аi,ij} \quad (3.1)$$

где  $C_{ai}$  – стоимость  $i$ -го агрегата;

$ni$  – количество  $i$ -ых агрегатов (в запасе на складе);

$C_{пр.маш} = \xi$  – стоимость потерь от простоя одной ПДМ в ожидании ремонта в единицу времени, рассчитывается по формуле;

$P_{отк.ij} = 1 - K_{rij}$  – вероятность отказа  $i$ -го агрегата ПДМ из-за  $j$ -ой детали;

$T_{ам.аi,ij}$  – время амортизации  $i$ -го агрегата.

В итоге, целевую функцию можно представить в следующем общем виде:

$$\begin{cases} K_{rij} = P_{oij}(t) \rightarrow \max, \\ C_{сумij} = C_{ai} \cdot n_i + (Z(R_{ij}) + C_{конц, Q_{экс} n_{см} T_{см} K_{ТМ} K_{ср.код, конц} \cdot (1 - K_{rij})) \cdot T_{ам.аi} \rightarrow \min \end{cases} \quad (3.2)$$

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

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. 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:

$$a_{ij} = \lambda_{пдмij} \cdot t, \quad (3.3)$$

где  $\lambda_{пдмij}$  – плотность потока отказов ПДМ из-за поломки  $j$ -й детали  $i$ -го агрегата.

Тогда, вероятность того, что за время  $t$ , произойдёт  $k$  отказов, равна

$$P_k(t) = (\lambda_{пдмij} \cdot t) / k! \cdot e^{-\lambda_{пдмij} \cdot t}. \quad (3.4)$$

За неимением достаточного количества информации по отказам ЗЧ, и для упрощения задачи рассмотрим интенсивность отказов ПДМ, вызванную

выходом из строя  $j$ -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:

$$\lambda_{\text{пдм}ij} = \lambda_{aij} = \lambda_{dij} = (k_{\text{откл.}ij} \cdot z_{\text{отк.д.}ij}) / (t \cdot z_{\text{испр.д.}ij}), \quad (3.5)$$

где  $\lambda_{aij} = \lambda_{dij}$  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 ТО и Р 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:

$$T_{\text{об.пдм}ij} = t_{\text{рем.пдм}ij} = t_{\text{дем.}ai} + t_{\text{восст.}aij} + t_{\text{дост.}ai} + t_{\text{уст.}ai}, \quad (3.6)$$

где  $t_{\text{дем.}ai}$  – время демонтажа, отказавшего  $i$ -го агрегата;

$t_{\text{восст.}aij}$  – время восстановления  $i$ -го агрегата ПДМ путём замены  $j$ -й ЗЧ;

$t_{\text{дост.}ai}$  – время доставки нового или восстановленного  $i$ -го агрегата ПДМ с индивидуального склада;

$t_{\text{уст.}ai}$  – время установки исправного  $i$ -го агрегата в ПДМ [25].

Для упрощения вывода формул и расчётов в работе 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. В итоге, время восстановления,  $i$ -го агрегата из-за отказа  $j$ -ой детали можно определить по следующей формуле:

$$t_{\text{восст.}aij} = t_{\text{разб.}ai} + t_{\text{деф.}ai} + t_{\text{ср.д.}ij \text{ в сист.}} + t_{\text{дост.}di} + t_{\text{сб.}ai} + t_{\text{пров.}ai}, \quad (3.7)$$

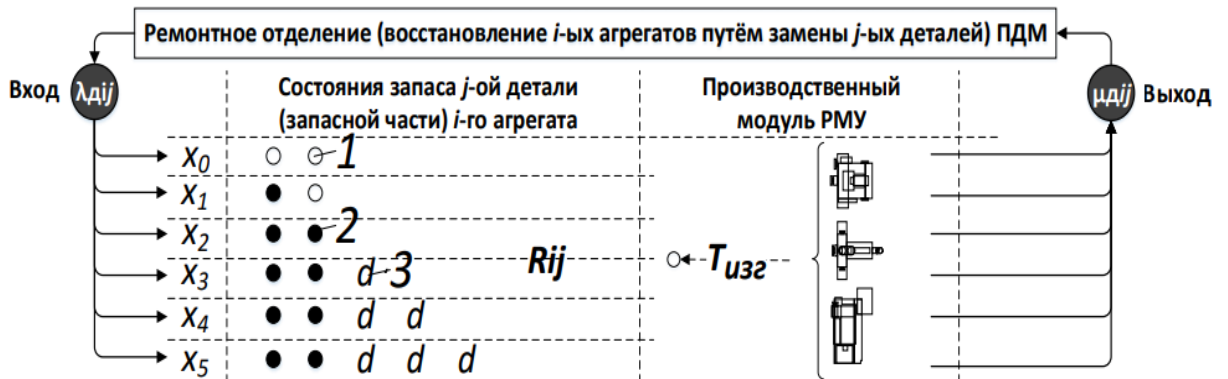
где  $t_{разб.аi}$  и  $t_{деф.аi}$  – время разборки и дефектации деталей  $i$ -го неисправного агрегата;

$t_{ср.д.ij}$  в сист. – среднее время нахождения заявки в системе снабжения при устранении отказа  $j$ -ой детали в  $i$ -ом агрегате ПДМ;

$t_{дост.дij}$  – время доставки новой ЗЧ для  $i$ -го агрегата из индивидуального склада;

$t_{сб.аi}$  – время сборки  $i$ -го агрегата с новыми ЗЧ;

$t_{пров.аi}$  – время проверки восстановленного  $i$ -го агрегата.



Состояние запаса  $j$ -ых ЗЧ  $i$ -го агрегата: 1 – имеется в наличии на складе, 2 – требует пополнения; 3 – вызвано дефицитом

Рисунок 3. 5 – Схема СМО поддержания уровня текущего запаса  $j$ -ой детали  $i$ -го агрегата ПМ РМУ (цикла В)

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 зависеть от объёма запаса и производительности источника пополнения.

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

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  $\mu_{дij}$ . Принятые допущения позволяют оценить вероятности состояний СМО цикла В (Рисунок 3. 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 вероятности состояний не зависят от распределения времени поставки, если времена поставок независимы [26].

Входящим потоком в данной СМО, является поток отказов  $j$ -х деталей  $i$ -х агрегатов с интенсивностью  $\lambda_{dij} = 1 / t_{отк.dij}$ , где  $t_{отк.dij}$  – наработка на отказ  $j$ -ой детали  $i$ -х агрегатов. Интенсивность пополнения текущего запаса  $j$ -х ЗЧ  $i$ -х агрегатов  $\mu_{dij} = 1 / t_{ср.д.ij}$  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 текущего запаса  $R^*$  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  $k = 0; 1; 2 \dots R + y$  ( $y$  – допустимый размер дефицита запаса) величина, на которую уменьшился текущий запас, оценивается по формулам:

$$\psi_1(x) \begin{cases} p(R_{ij} - x; \lambda_{dij}\tau), 0 < x < R_{ij}, \\ p(R_{ij}^*; \lambda_{dij}\tau), x = 0, \end{cases} \quad (3.8)$$

$$\psi_2(y) = P(R_{ij} + y; \lambda_{dij}\tau), y \geq 0, \quad (3.9)$$

$$p(R_{ij}^*; \lambda_{dij}\tau) = \frac{(\lambda_{dij}\tau)^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \cdot e^{-\lambda_{dij}\tau}, \quad (3.10)$$

$$P(R_{ij}^*; \lambda_{dij}\tau) = \sum_{f=R_{ij}^*}^{\infty} p(f; \lambda_{dij}\tau) = 1 - \sum_{f=0}^{R_{ij}^*-1} p(f; \lambda_{dij}\tau), \quad (3.11)$$

где  $\psi_1(x)$  вероятность того, что спрос за время изготовления  $r = T_{изг.д.ij}$  или поставки  $r = T_{пост.д.ij}$ , 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  $t_{ср.д.ij}$  в сист. по формуле Литтла необходимо знать количество заявок  $N_{ср.д.ij}$  в системе, которое в соответствие с можно рассчитать по формуле:

$$N_{ср.д.ij} = N_{ож.д.ij} + N_{изг.д.ij} = \lambda_{dij}r + 2B(R), \quad (3.12)$$

$$B(R) = \lambda_{dij}\tau P(R - 1; \lambda_{dij}\tau) - R P(R; \lambda_{dij}\tau). \quad (3.13)$$

Определим среднее время нахождения заявки в системе

$$t_{\text{ср.д.}ij \text{ в сист.}} = N_{\text{ср.д.}ij} / \lambda_{\text{д.}ij} = (\lambda_{\text{д.}ij}\tau + 2B(R)) / \lambda_{\text{д.}ij} . \quad (3.14)$$

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

$$t_{\text{вост.а}ij} = t_{\text{ср.д.}ij \text{ в сист.}} + C = (\lambda_{\text{д.}ij}\tau + 2B(R)) / \lambda_{\text{д.}ij} + C , \quad (3.15)$$

$$C = t_{\text{разб.а}i} + t_{\text{деф.а}i} + t_{\text{дост.д}i} + t_{\text{сб.а}i} + t_{\text{пров.а}i} . \quad (3.16)$$

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 3. 4 [27].

### 3.4 Установление характеристик ТО и Р ПДМ

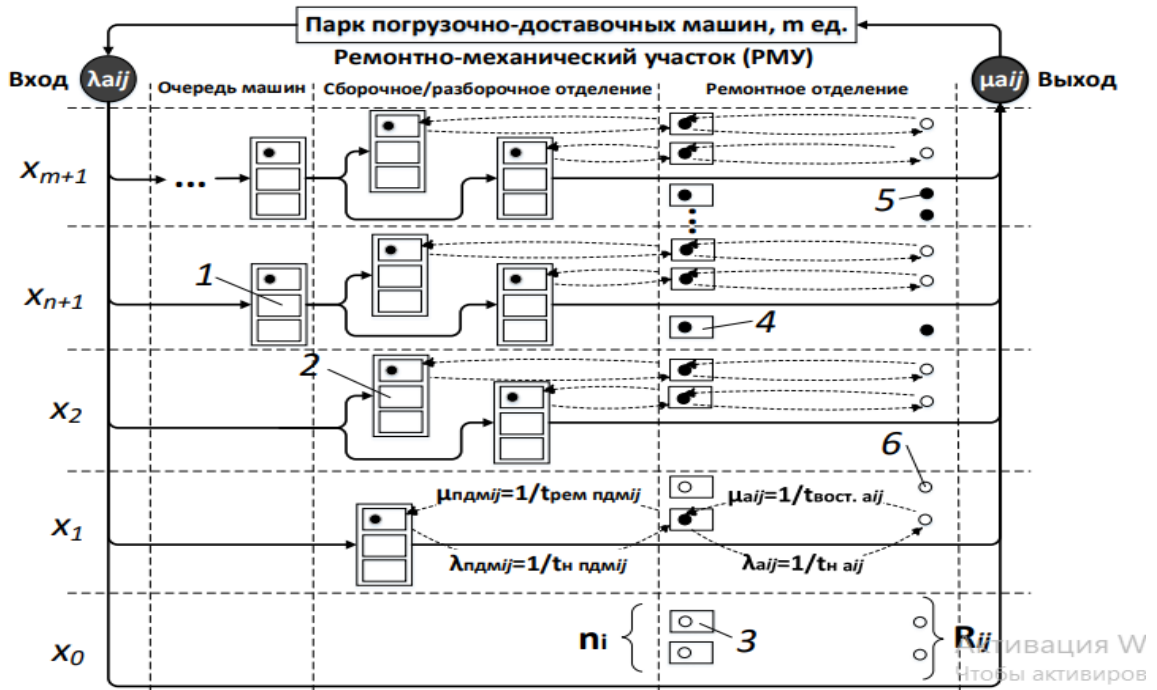
При выполнении сменно-узлового ремонта погрузочно-доставочных машин (ПДМ) с восстановлением неисправных агрегатов систему массового обслуживания (СМО) можно представить в виде схемы см. Рисунок 3. 6.

Анализ литературы 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 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  $t_{\text{н} \text{а}ij}$ . 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



$R$  \* запасных частей (ЗЧ), уровень которых поддерживается оптимальным за счёт снабжения либо от внешних источников, либо путём самообеспечения.



Состояние ПДМ 1 – ждут ремонта и 2 – ремонтируются; состояния запасных агрегатов 3 – исправное и 4 – неисправное; состояния деталей 5 – отказавшее, 6 – новое и 7 – дефицит

Рисунок 3. 6 – Схема СМО при выполнении сменно-узлового ремонта ПДМ в РМУ (цикла А)

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  $t_{вост aij}$ . Система может находиться в одном из следующих состояний см. Рисунок 3. 6:  $x_0$  – все агрегаты исправны и все ПДМ работают;  $x_k$  –  $k$  запасных агрегатов  $1 \leq k \leq n_i$  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  $1 \leq s \leq m$ . 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. Для упрощения восприятия индексы  $i$  и  $j$  в формуле опущены.

$$dp_0(t) / dt = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \quad (3.17)$$

$$dp_k(t) / dt = -(\lambda + k\mu)pk(t) + \lambda pk - 1(t) + (k + 1)\mu k + 1(t) \quad (3.18)$$

$$\text{при } 0 < k < R, \quad (3.19)$$



$$dpk(t) / dt = -(\lambda + R\mu)pk(t) + \lambda pk - 1(t) + R\mu pk + 1(t) \quad (3.20)$$

$$\text{при } R \leq k < n + 1, \quad (3.21)$$

$$dpn + s(t) / dt = -(\lambda + R\mu)pn + s(t) + \lambda pn + s - 1(t) + R\mu pn + s + 1(t)$$

$$\text{при } 1 \leq s < m, \quad (3.22)$$

$$dpn + m(t) / dt = -R\mu pn + m(t) + \lambda pn + m - 1(t). \quad (3.23)$$

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

$$P_{0ij} = [1 + \sum_{k=1}^{R_{ij}^*} \frac{a^k}{k!} + \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=1}^{n_i - R_{ij}^* + 1} \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k + \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^{n_i - R_{ij}^*} \frac{a^{R_{ij}^*}}{R_{ij}^*!} \sum_{k=2}^m \left(\frac{a}{R_{ij}^*}\right)^k]^{-1}, \quad (3.24)$$

$$P_{kij} = a^k / k! \cdot P_{0ij} \text{ при } k \leq R_{ij}, \quad (3.25)$$

$$P_{kij} = (a / R_{ij}^*)^{k - R_{ij}} \cdot a^{R_{ij}} / R_{ij}! \cdot P_{0ij} \text{ при } R_{ij} \leq k < n_i + 1, \quad (3.26)$$

$$P_{kij} = (a / R_{ij})^{k - R_{ij}} \cdot a^{R_{ij}} / R_{ij}! \cdot P_{0ij} \text{ при } n_i + 1 \leq k < m + n_i. \quad (3.27)$$

Для нахождения вероятностей состояний системы помимо количества машин  $m$ , интенсивности отказов  $\lambda_{aij}$  и восстановления  $\mu_{aij}$  агрегатов, необходимо знать количество  $i$ -х агрегатов  $n_i$  и их  $j$ -х ЗЧ к ним  $-R_{ij}$ . Ранее по формулам 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 с учётом. Например, вычислить оптимальное количество агрегатов  $n^*$  можно по минимальным значениям  $C_{\text{сум.}ij}$  путём табулирования возможных значений  $n$  в формуле с учётом формулы. Значения стоимостей, входящих в формулу задаются заранее. С учётом целевой функции, описываемой формулой можно определить обеспечиваемый применением данного варианта обеспечения ПДМ агрегатами и ЗЧ коэффициент готовности  $K_{rij}$  парка ПДМ. При этом, вычисленный коэффициент готовности  $K_{rij}$  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  $K_r$  при эксплуатации ПДМ.

### **3.5 Разработка методики обоснования норм диагностирования, управления и прогнозирования техническим состоянием ПДМ.**

Важным фактором повышения эффективности производства является применение методов и средств диагностирования, управления и прогнозирования техническим состоянием ПДМ. Однако эта эффективность достигается только при условии, когда все регулировочные и ремонтные работы, назначенные по результатам диагностирования, выполняются своевременно и качественно. Данное условие обусловлено тем, что первое и второе техническое обслуживание (ТО-1, ТО-2) с диагностикой призваны для снижения интенсивности износа деталей, для выявления и предупреждения отказов и неисправностей ПДМ. Следовательно, чем выше качество ТО, тем ниже должны быть затраты и простои ПДМ в текущем ремонте.

Периодичность и трудоемкость ТО зависят от многих факторов, которые не могут быть учтены в единых нормативах. Применительно к подземным самоходным оборудованьям, в частности для ПДМ, кроме того, величины этих нормативных показателей требуют уточнения, из-за отсутствия утвержденных нормативов периодичности ТО, трудоемкости и простоев в ТО и ТР. Поскольку, существенным для практики является определение периодичности и длительности простоев при выполнении технического обслуживания с диагностикой, возникает необходимость проведения целенаправленного исследования по выработке единых нормативов по указанным нормативным показателям для горнорудной промышленности. Более полному изучению подлежит также влияние различных факторов на периодичность и объем выполнения ТО применительно к подземным самоходным оборудованьям [28].

Учитывая все эти обстоятельства для целей планирования производственных программ по ТО, диагностике и ремонту ПДМ использованы некоторые данные по большегрузным карьерным автосамосвалам БелАЗ, как наиболее близким по условиям их эксплуатации, и результаты исследований по определению оптимальной периодичности ТО и простоев в ТО и ТР, проведенные сектором надежности института ЖезказганНИПИ цветмет, а также инструкция по эксплуатации подземных ПДМ [29].

Необходимо отметить, что существуют различные методы расчета производственных программ по ТО и диагностике. Наиболее распространенным является цикловой метод расчета производственной программы. При расчете производственной программы по цикловому методу

определяется лишь среднее количество обслуживаний в день из расчета программы на год. Однако для организации производства нужно знать необходимое количество обслуживаний в любой период времени. Поэтому предлагается метод расчета производственных программ, в котором учтены эти требования. Рассматриваются основные аспекты организации производства с точки зрения улучшения использования имеющихся резервов в области технической эксплуатации ПДМ, в частности применение методов и средств диагностирования с целью определения объема и контроля выполнения ТО и ТР ПДМ, а также для прогнозирования их остаточного ресурса [30].

В качестве исходных данных для расчета производственных программ по ТО, диагностике и ремонту ПДМ рекомендуется принимать следующие показатели:

- а) среднесписочное количество ПДМ,  $A_{cc}$  - ед;
- б) среднесуточный пробег ПДМ,  $I_{cc}$  - км;
- в) плановый пробег ПДМ на предстоящий период,  $L_{\Gamma}$  - км или мото-ч.
- г) режим работы ПДМ,  $D_{р.п.}$  - дни;
- д) пробег между техническими обслуживаниями,  $L_{ТО}$  - км или мото-ч;

### 3.5.1 Расчет производственной программы по техническому обслуживанию и диагностике ПДМ

Определение производственной программы рассчитывалось по аналитическим зависимостям, приведенных в работах.

Количество ТО-2 ПДМ составит:

$$N_{ТО-2} = \frac{L_{\Gamma}}{L_{ТО-2}}, \quad (3.28)$$

где  $L_{\Gamma}$  - плановый пробег ПДМ на предстоящий период (месяц, квартал, год) принятый на основе анализа пробега за прошлый период и возможного пробега в предстоящий период, км или мото-час;

$L_{ТО-2}$  - пробег между ТО-2, принятый для этих ПДМ, км или мото-час.

Количество ТО-1 ПДМ на планируемый период составит:

$$N_{ТО-1} = \frac{L_{\Gamma}}{L_{ТО-1}} - N_{ТО-2}, \quad (3.29)$$

где  $L_{ТО-1}$  - пробег между ТО-1 принятый для ПДМ, км или мото-час.

Количество ТО-2 ПДМ в сутки:

$$N_{ТО-2с} = \frac{N_{ТО-2}}{D_{рп}}, \quad (3.30)$$

где  $D_{рп}$  - количество дней работы производства по выполнению соответствующих обслуживанию, дни.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет определять количество обслуживаний, которые необходимо выполнять по пробегу или мото-часам работы ПДМ в данный конкретный период времени:

Количество диагностических обслуживаний определяется исходя из условия, что они проводятся одновременно или после соответствующих видов ТО и ремонта.

Суточное количество диагностируемых ПДМ на постах Д-1 определяется из выражения:

$$N_{д-1с} = N_{то-1с} + N_{то-2с} + N_{трс-1} \quad , \quad (3.31)$$

где  $N_{трс-1}$  - суточная программа диагностирования ПДМ на постах Д-1 при выполнении текущего ремонта ПДМ,

$$N_{трс-1} = 0,1 * N_{то-1с} \quad , \quad (3.32)$$

Суточное количество диагностируемых ПДМ на постах Д-2 составит:

$$N_{д-2с} = N_{то-2с} + N_{трс-2} \quad . \quad (3.33)$$

где  $N_{трс-2}$  - суточная программа диагностирования ПДМ на постах Д-2 при выполнении текущего ремонта ПДМ,

$$N_{трс-2} = 0,2 * N_{то-2с} \quad (3.34)$$

### **3.5.2 Расчет объемов работ по техническому обслуживанию, диагностике и текущему ремонту**

При расчете объемов работ необходимо пользоваться нормативными значениями трудоемкостей по ТО и ТР для ПДМ. Ввиду того, что, как было отмечено выше, отсутствуют разработанные данные по этим показателям, рекомендуется пользоваться значениями удельных нормативных трудоемкостей ТО и ТР ПДМ [30].

Следует отметить, что эти значения удельных трудоемкостей соответствуют следующим эталонным условиям:

- климатическая зона - центральная;
- количество автосамосвалов на руднике составляет 51-75% от нормы пробега до капитального ремонта;
- расстояния транспортирования груза - более 2 км;
- расстояния движения на подъем - до 0,5 км;
- руководящий уклон подъема - до 5%;
- тип дорожного покрытия - асфальт, бетон, щебенка, гравий;

-твердость горной массы (по шкале Протодяконова) - до 15.

Таблица 3.1 - Коэффициенты корректирования нормативов технического обслуживания и ремонта ПДМ

Экспуатационные факторы	Значения факторов	Коэффициенты корректирования				
		Периодичность $T\alpha_1$	трудоемкости			Нормы пробега агрегатов до кап ремонта, $\alpha_5$
	ТО $\alpha_2$		ТР без ши $\alpha_3$	ТР Шин $\alpha_4$		
1	2	3	4	5	6	7
1.Количество автопоездов	До 25	-	1,3	1,3	-	-
	26-50	-	1,1	1,1	-	-
	51-100	-	1,0	1,0	-	-
	101-200	-	0,9	0,9	-	-
	Более 200	-	0,8	0,8	-	-
2.Пробег автопоездов с начала эксплуатации до первого капитального ремонта (в % от установленной нормы)	До 25	-	-	0,5	-	-
	26-50	-	-	0,8	-	-
	51-75	-	-	1,0	-	-
	76-100	-	-	1,15	-	-
	101-125	-	-	1,25	-	-
	126-150	-	-	1,30	-	-
	151-175	-	-	1,40	-	-
	176-200	-	-	1,50	-	-
Более 200	-	-	1,70	-	-	
3.Расстояния транспортирования груза, км.	Более 3	4,0	-	1,0	1,0	1,0
	3,0-2,51	0,35	-	1,05	1,05	0,95
	2,5-2,01	0,95	-	1,10	1,10	0,90
	2,0-1,51	0,9	-	1,20	1,30	0,80
	1,50-1,00	0,9	-	1,30	1,55	0,75
	Менее 1,00	0,85	-	1,45	1,85	0,75
4.Расстояния движения на подъем, км	До 0,5	1,0	-	1,0	1,0	1,0
	0,51-1,00	0,95	-	1,15	1,3	0,95
	1,01-1,50	0,9	-	1,35	1,6	0,90
	Более 1,5	0,85	-	1,55	1,9	0,85
5.Руководящий уклон подъема,%	До 5	1,0	-	1,0	1,0	1,05
	5-6	1,0	-	1,05	1,05	1,0
	6-7	0,95	-	1,1	1,1	0,9
	Более 7	0,9	-	1,15	1,15	0,85
6.Тип дорожного покрытия	асфальт, бетон, щебенка	1,0	-	1,0	-	1,1
	гравий, скальный грунт	0,9	-	1,25	-	1,0
		0,85	-	1,35	-	0,95

Применительно к подземным ПДМ трудоемкость текущего ремонта по климатическим условиям не корректируется как автомобили специального исполнения. При других условиях эксплуатации нормативы следует корректировать соответствующими коэффициентами приведенными в таблице 3.1. Результирующие коэффициенты корректирования подсчитываются как произведение отдельных коэффициентов.

Трудоемкость выполняемых работ в сутки  $T_c$  по данному обслуживанию определяется:

$$T_c = N_{\text{сут}} \cdot t_{\text{то}} + T_{\text{сртр}} \quad \text{чел-час}; \quad (3.35)$$

где  $N_{\text{сут}}$ - количество обслуживании, выполняемых в сутки;

$t_{\text{то}}$  - скорректированная трудоемкость одного обслуживания, чел- час;

$T_{\text{сртр}}$  - трудоемкость сопутствующего текущего ремонта в сутки, чел-час, которая должна определяться непосредственно в конкретных условиях эксплуатации.

Для предварительных расчетов  $T_{\text{сртр}}$  можно принимать в пределах 20-30% от основного объема работ.

Производственная программа по текущему ремонту определяется следующим образом:

$$T_{\text{тр}} = \frac{L_{\text{г}} \cdot A_{\text{сс}}}{1000} \cdot t_{\text{тр}} \quad \text{чел-час}; \quad (3.36)$$

где  $L_{\text{г}}$ - плановый пробег автопоезда на рассматриваемый период, км или мото-час;

$t_{\text{тр}}$  - скорректированная трудоемкость текущего ремонта по действующим нормативам в чел/час на 1000 км пробега или 200 мото-час работы;

$A_{\text{сс}}$  - среднесписочное количество автопоездов, шт.

Трудоемкость работ по текущему ремонту автопоездов, выполняемая на постах обслуживания и ремонта, составит:

$$T_{\text{трп}} = \frac{T_{\text{тр}} \cdot v}{100} \quad \text{чел-час}; \quad (3.37)$$

где  $v$  - часть текущего ремонта, выполняемая на постах; принимается 40-50% от общей программы по данным Гипроавтотранса /18/.

Тогда трудоемкость текущего ремонта в сутки составит:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{трп}}}{D_{\text{р.з}}} \text{чел-час}; \quad (3.38)$$

где  $D_{p,з}$  - количество дней работы зоны текущего ремонта автопоездов в рассматриваемый период.

Трудоемкость диагностических работ, выполняемых при Д-1 и Д-2 принимается по данным Гипроавтотранса /18/ в процентах от трудоемкости соответствующего ТО и ремонта автопоездов, а именно:

$$T_{д-1} = 0,09 * T_{с1}, \text{ чел-час,} \quad (3.39)$$

$$T_{д-2} = 0,08 * T_{с2}, \text{ чел-час,} \quad (3.40)$$

$$T_{д-р} = 0,02 * T_{ср}, \text{ чел-час.} \quad (3.41)$$

Необходимо отметить, что трудоемкость Д-1 и Д-2 можно определить и по суточным программам аналогично трудоемкости работ ТО в сутки.

Кроме того, необходимо учитывать, что данные Гипроавтотранса разработаны для наземных транспортных средств и поэтому возможно корректирование нормативов для подземных условий эксплуатации самоходного оборудования.

### 3.5.3 Распределение трудоемкостей диагностических работ ПДМ по агрегатам и системам

Таблица 3.2 - Примерное распределение трудоемкости диагностических работ ПДМ по агрегатам и системам (в %)

Наименование агрегатов и систем	Д-1	Л— Д <sup>2</sup>	Дтр
Двигатель, включая систему питания и систему охлаждения	15,5	22,8	18,6
Гидромеханическая передача	15,6	7,9	26,4
Карданная передача	4,3	1,0	3,7
Ведущий мост	-	6,6	3,5
Подвеска	3,5	6,5	7,1
Колеса и ступица	17,4	12,0	1,9
Рулевое управление	2,3	1,9	3,7
Электрооборудование и приборы	17,6	15,6	2,5
Тормозная система	18,9	11,0	5,3
Платформа	-	2,3	16,7
Опрокидывающий механизм	4,9	2,4	10,6
Всего	100	100	100

Распределение трудоемкостей диагностических работ, выполняемых при Д-1 и Д-2 производится с целью определения необходимого количества диагностического оборудования, потребного числа производственных

рабочих, а также для обоснования норм диагностирования по агрегатам и системам ПДМ. За основу распределения трудоемкостей диагностических работ принято процентное соотношение отказов и неисправностей по агрегатам и системам ПДМ при доверительной вероятности  $B = 0,35$  и относительной ошибки  $B < 20\%$ . Кроме того, приняты во внимание результаты работы по выявлению и анализу отказов и неисправностей ПДМ в конкретных условиях эксплуатации.

Предварительная обработка имеющихся данных позволяет в настоящее время рекомендовать примерное распределение трудоемкости диагностических работ, выполняемых на постах Д-1 и Д-2, ПДМ по агрегатам и системам, как показано в таблице 3.2.

### 3.5.4 Расчет производственных программ по ТО и диагностике ПДМ в условиях Джезказганского рудника

В качестве исходных данных (табл.3.3) использованы нормативные показатели удельных трудоемкостей ТО и ТР ПДМ по определению оптимальной периодичности технических обслуживаний. Значения нормативных показателей удельных трудоемкостей ТО и Р скорректированы соответствующими коэффициентами, приведенными таблице 3.4.

Таблица 3.3 - Исходные данные для расчета

$L_{ТО-1}$ МОТО-ч	$L_{ТО-2}$ МОТО-ч	$L_T$ мото-ч	$A_A$ ед.	$\alpha_T$	$L_{ТО-1}$ мото-ч	$A_x$ ед.	$t_1$ чел-ч	$t_{тр}$ чел-ч
150	450	3500	150	0,95	140	12,15	54,5	10,9

Пользуясь вышеизложенной методикой расчета, при заданных значениях получены следующие результаты суточных программ по ТО диагностике.

Таблица 3.4 - Расчетные значения суточных программ технического обслуживания и диагностики

Суточные программы обслуживаний, шт				Суточные трудоемкости ТО, диагностики и ТР, чел-ч				
ТО-1	ТО-2	Д-1	Д-2	ТО-1	ТО-2	Д-1	Д-2	Др
7	4	12	5	104	259,2	74,3	20,4	1,49

Таким образом, зная конкретное значение трудоемкостей диагностирования, выполняемых на постах Д-1. и Д-2 и пользуясь данными таблицы 4.2, можно обосновать нормы диагностирования по агрегатам и системам ПДМ в зависимости от объекта диагностирования.



### 3.6 Расчёт производственной программы по диагностированию, управления и прогнозирования техническим состоянием ПДМ

В настоящее время для добычи руды подземным способом разработаны и успешно эксплуатируются целые комплексы самоходного оборудования с дизельным приводом /6/. Используются машины как для основного цикла разработки полезных ископаемых (буровые установки, погрузчики, машины для транспортировки руды и т.д.), так и оборудование для вспомогательных операций (крепление кровли, доставка ГСМ, автобусы и т.д.).

Все эти машины требуют постоянного технического обслуживания и ремонта в подземных условиях, которые проводят в подземных условиях, ремонтных пунктах шахт. Различный характер условий эксплуатации, значительное влияние на параметры надежности таких факторов, как глубина горизонта, величины продольных уклонов транспортных штреков, тип дорожных покрытий и другое, определяют необходимость их учета при технологических расчетах ремонтных зон и участков подземных ремонтных пунктов.

Исследования условий эксплуатации, технического обслуживания и ремонта в подземных условиях, позволили предложить методику технологического расчета, позволяющую производить инженерные расчеты по проектированию ремонтных зон и участков для подземных условий. Учитывая, что методический подход в большой степени аналогичен общепринятой методике расчетов автотранспортных предприятий /18, 25/, предлагается технологический расчет на примере основного технологического транспорта Джезказганского рудника корпорации “Казахмыс”.

Определение производственных программ по видам обслуживания необходимо для того, чтобы выявить потребное количество технических обслуживаний с диагностикой за конкретный период эксплуатации ПДМ и подготовить производство для качественного их проведения с минимальными затратами материальных и трудовых ресурсов.

В качестве исходных данных для расчета приняты:

1. Периодичность ТО: ( $L_1 = 150$  мото-час;  $L_2 = 450$  мото-час).
2. Среднесуточный пробег: ( $1_{cc} = 15$  мото-час).
3. Годовой пробег ПДМ: ( $L_r = 3600$  мото-час).
4. Количество ПДМ в руднике: ( $A_{cc} = 41$  ед.).

Количество проводимых технических обслуживания одной ПДМ за год составит:

$$\text{Для ТО-2} \quad N_2 = \frac{L_r}{L_2} = \frac{3600}{450} = 8 \text{ обл.}$$

$$\text{Для ТО-1} \quad N_1 = \frac{L_r}{L_1} = \frac{3600}{150} = 24 \text{ обл.}$$

Для парка машин количество обслуживания по видам соответственно

составит:

$$\sum N_2 = A_{cc} \cdot N_2 = 8 \cdot 41 = 328 \text{ ед. ,}$$

$$\sum N_1 = A_{cc} \cdot N_1 = 24 \cdot 41 = 984 \text{ ед.}$$

В связи с тем, что для оперативного планирования и управления производством необходимы данные для любого конкретного периода эксплуатации определим суточное количество по видам обслуживания:

$$\text{Для ТО-2 } N_{2c} = \frac{\sum N_2}{D_{pp}} = \frac{328}{305} = 1 \text{ ед.}$$

$$\text{Для ТО-1 } N_{1c} = \frac{\sum N_1}{D_{pp}} = \frac{984}{305} = 3,2 \text{ ед.}$$

где  $D_{pp}$  - количество дней работы производства по выполнении соответствующих обслуживаний, дни.

Так как количество диагностических обслуживаний определяется исходя из количества технических обслуживаний легко определить суточные количества диагностируемых ПДМ на постах Д-1 и Д-2:

$$\text{Для Д-2 } N_{Д-2c} = N_{2c} + N_{PC-2} = 1,2 \cdot N_{2c} = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ ед.}$$

$$\text{Для Д-1 } N_{Д-1c} = N_{1c} + N_{PC-1} + N_{2c} = 3,2 + 1 + 0,32 = 4,52 \text{ ед.}$$

где  $N_{PC-1} = 0,1 \cdot N_{1c}$  и  $N_{PC-2} = 0,2 \cdot N_{2c}$  - суточные количества диагностируемых автопоездов соответственно на постах Д-1 и Д-2 при выполнении текущего ремонта ПДМ.

Для выявления суточного количества ежедневных обслуживаний которое проводится с целью поддержания надлежащего внешнего виде ПДМ, а также для дозправочных работ, можно воспользоваться следующим соотношением:

$$N_{eo_c} = \frac{L_r \cdot A_{cc}}{D_{pp} \cdot 1_{cc}} = \frac{3600 \cdot 41}{305 \cdot 15} = 32,3 \text{ ед.}$$

Таким образом полученные показатели для удобства можно представить в виде таблицы.

Таблица 3.5 – Количества ежедневных обслуживаний

ЕО	ТО-1	ТО-2	Д-1	Д-2
32,3	3,2	1	4,52	1,2

Исходя из этих суточных программ, которая является критерием выбора метода обслуживания, принимается метод проведения ТО на универсальных постах по всем видам технического обслуживания.

Расчет объемов работ по техническому обслуживанию, диагностике и текущему ремонту' ведется за год, для чего предварительно устанавливаются нормативные трудоемкости технических обслуживания и текущего ремонта с последующей их корректировкой в зависимости от условий эксплуатации.

Как было отмечено в работе удельные нормативные показатели трудоемкости для ПДМ приняты исходя из данных автосамосвалов МоАз Расчетную трудоемкость ежедневного обслуживания реализуемую путем ручной обработки можно определить из выражения:

$$t_{eo} = t_{eон} \cdot \alpha_1 = 1,2 \cdot 1,1 = 1,32 \text{ чел-час}$$

Нормативная скорректированная трудоемкость ТО-1 и ТО-2 определяется:

$$\text{для ТО-1: } t_1 = t_{1н} \cdot \alpha_1 = 13,5 \cdot 1,1 = 14,85 \text{ чел-час}$$

$$\text{для ТО-2: } t_2 = t_{2н} \cdot \alpha_1 = 60,5 \cdot 1,1 = 66,55 \text{ чел-час}$$

Удельная нормативная скорректированная трудоемкость текущего ремонта без учета шинных работ определяется как:

$$t_{тр} = t_{трн} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 = 18,5 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,45 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,35 = 45,8 \text{ чел-час.}$$

Для шинных работ:

$$t_{трш} = t_{тршн} \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot \alpha_7 = 1,85 \cdot 1,85 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,2 = 4,7 \text{ чел-час.}$$

Общая удельная нормативная скорректированная трудоемкость текущего ремонта составляет:

$$\sum t_{тр} = t_{гр} + t_{трш} = 45,8 + 4,7 = 50,5 \text{ чел-час.}$$

Здесь:  $\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6$  - коэффициенты, учитывающие соответственно количество автопоездов, пробег с начала эксплуатации автопоездов, расстояние транспортирования груза, расстояния движения на подъем, руководящий уклон подъема, тип дорожного покрытия, твердость горной массы.

Объем работ по техническим обслуживаниям в трудовом выражении определяют произведением числа технических воздействий за расчетный период (в год) на нормативное (скорректированное) значение трудоемкости данного вида ТО.

Для ЕО :  $T_{\text{еог}} = \sum N_{\text{ео}} \cdot t_{\text{ео}} = 9840 \cdot 1,32 = 12988,8$  чел-час.

Для ТО-1:  $T_{1\text{г}} = \sum N_1 \cdot t_1 = 9840 \cdot 1,32 = 12988,8$  чел-час.

Для ТО-2:  $T_{2\text{г}} = \sum N_2 \cdot t_2 = 9840 \cdot 1,32 = 12988,8$  чел-час.

Трудоемкость работ по техническому обслуживанию-2 выполняемых на постах согласно /25/ составит:

$$T_{2\text{п}} = 0,9 \cdot T_{2\text{г}} = 0,9 \cdot 21828,4 = 19645,56 \text{ чел-час.}$$

Остальная часть работ планируется для выполнения на производственных участках, т.е.

$$T_{2\text{у}} = 0,1 \cdot 21828,4 = 2182,84 \text{ чел-час.}$$

Объем работ по текущему ремонту в человеко-часах за год определяется  $T_{\text{трп}} = \frac{L_{\text{г}} \cdot A_{\text{сс}}}{200} \cdot t_{\text{гр}} = \frac{3600 \cdot 41}{200} = 50,5$  чел-час.

Трудоемкость работ по текущему ремонту ПДМ выполняемых на постах состоит

$$T_{\text{трп}} = \frac{T_{\text{тр}} \cdot v}{100} = \frac{37263 \cdot 40}{100} = 14307,6 \text{ чел-час.}$$

где:  $v$  = часть текущего ремонта, выполняемых на постах, 40%.

Годовой объем работ по самообслуживанию производства, предназначенных для выполнения технических обслуживания и ремонта ПДМ, определяется из выражения:

$$T_{\text{сам.}} = (\sum T_{\text{тог}} + T_{\text{трп}}) \cdot K_{\text{сам.}} \quad (3.42)$$

$$T_{\text{сам.}} = (12988,8 + 14612,4 + 21828,4 + 37263) \cdot 0,15 = 13004,79 \text{ чел-час.}$$

Трудоемкости диагностических работ выполняемых на постах Д-1 и Д-2 после очередных технических воздействий составят:

$$T_{d-1} = 0,03 \cdot T_{1\text{г}} = 0,03 \cdot 14612,4 = 1315 \text{ чел-час}$$

$$T_{d-2} = 0,08 \cdot T_{2\text{г}} = 0,08 \cdot 19645,56 = 1572 \text{ чел-час}$$

$$T_{dтр} = 0,02 \cdot T_{тр} = 0,02 \cdot 37263 = 745 \text{ чел-час} \cdot$$

Распределение трудоемкости работ по То и Тр по производственным зонам и участкам нагляднее всего представить в виде таблиц на основании Общесоюзных норм технологического проектирования предприятий. Таблица 3.5.

Таблица 3.6 - Распределение трудоемкости работ

Виды работ	ТО - 1		ТО-2	
	%	чел-час	%	чел-час
Диагностические	9	1315,116	8	1571,644
Крепежные	38	5552,712	36	7072,4016
Регулировочные	12	1753,488	18	3536,201
Смазочные заправочно-очистительные	16	2337,884	18	3536,20?
Электротехнические	10	1461,240	8	1571,645
По обслуживанию системы питания	6	876,744	10	1964,556
Шинные	9	1315,116	2	392,911
Итого	100	14612,4	100	19645,56

В связи с тем, что при проведении диагностических работ возникает необходимость определения потребного количества оборудования, конкретных исполнителей на посту' диагностики для конкретизации, необходимо произвести распределение полученного объема диагностических работ ПДМ по агрегатам и системам. Таблица 3.7

Таблица 3.7 - Распределение полученного объема диагностических работ ПДМ по агрегатам и системам

Наименование агрегатов и систем	I Д-1		Д-2		Дтр	
	%	чел-час	%	чел-час	%	чел-час
Двигатель, включая системы питания и охлаждения, а также газоочистку	15,5	203,825	22,8	358,416	18,6	138,57
Гидромеханическая передача	15,6	205,14	7,9	124,188	26,4	196,68
Карданная передача	4,3	56,545	1,0	15,72	3,7	27,565
Ведущий мост	-	-	6,6	103,752	3,5	26,075
Подвеска	3,5	46,025	6,5	102,18	7,1	52,895
Колеса и ступицы	17,4	228,81	12,0	188,64	1,3	14,155
Рулевое управление	2,3	30,245	11,9	187,068	3,7	27,565
Электрооборудование и приборы	17,6	231,44	15,6	245,232	2,5	18,625
Тормозная система	18,9	248,535	11,0	172,92	5,3	39,485
Платформа	-	-	2,3	36,156	16,7	124,415
Опрокидывающий механизм	4,9	64,435	2,4	37,728	10,6	78,97
Всего	100	1315	100	1572	100	745

Далее производим распределение трудоемкости текущего ремонта по видам работ, с учетом того, что в их объем входят работы по самообслуживанию предприятия, а также работы ТО-2 выполняемые на производственных участках по ремонту' приборов системы питания, электрооборудования, аккумуляторов и автошин. Данное распределение показано в таблице 5.3.

Расчет численности производственных рабочих производится на основе годовых объемов работ по зоне ТО, ТР или цеху' и годового фонда времени технологически необходимого рабочего при односменной работе. Последний определяется исходя из следующего выражения:

$$\Phi_{\text{м}} = (D_{\text{кг}} - D_{\text{в}} - D_{\text{п}}) \cdot 6 - 1 \cdot D_{\text{пп}} \quad . \quad (3.43)$$

где  $D_{\text{кг}} = 366$  дней - число календарных дней в году.

$D_{\text{в}}$  - число выходных дней в году 7.

$D_{\text{п}}$  - число праздничных дней в году.

$D_{\text{пп}}$  - число предпраздничных и субботных дней в году.

6 - продолжительность рабочего дня, час.

$$\Phi_{\text{м}} = (366 - 53 - 6) \cdot 6 - 1 \cdot 56 = 1786 \text{ час.}$$

Годовой фонд времени штатного рабочего меньше фонда времени технологически необходимого рабочего за счет представления рабочим отпусков и невыходов рабочих по уважительным причинам.

$$\Phi_{\text{р}} = \Phi_{\text{м}} - (D_{\text{от.}} + D_{\text{уп}}) \cdot 6 \quad . \quad (3.44)$$

где  $D_{\text{от.}}$  - число дней отпуска, установленного для данной профессии рабочего;

$D_{\text{уп}}$  - число дней невыхода на работу по уважительным причинам (выполнение государственных обязанностей, болезни). Для расчета  $D_{\text{уп}}$  применяется равным 7 дням.

Применительно к подземным условиям число дней отпусков для всех профессий рабочих, занятых обслуживанием и ремонтом устанавливается для ПДМ равным 24 дням, т.е.  $D_{\text{от.}} = 24$  дн.

$$\Phi_{\text{р}} = 1786 - (24 + 7) \cdot 6 = 1600 \text{ час.}$$

Необходимое количество производственных рабочих приведено в таблицы 3.7, 3.8

При определении необходимого числа производственных рабочих использованы формулы:

Для технологически необходимого количества:  $P_T = \frac{T_r}{\Phi_m}$

Для штатного количества производственных рабочих :  $P_M = \frac{T_r}{\Phi_p}$

Таблица 3.8-Распределение трудоемкости ТР, ТО-2 и по самообслуживанию предприятия по видам работ в процентах

Виды работ	ТР		ТО-2		Самообслуживание предприятия		Суммарная расчетная трудоемкость, чел-час
	%	Чел-час	%	Чел-час	%	Чел-час	
1	2	3	4	5	6	7	8
Ремонт приборов системы питания	5	1863,4	25	545,71			2409,16
Шиномонтажные	1	5	25	545,71			918,4
Вулканизационные	1	372,69					372,69
Кузнечно-рессорные	4	372,69					1750,855
Медицинские	2	1490,7					875,427
Сварочные	4	6					2010,951
Жестяницкие	3	745,38					1265,571
Итого		1480,7				260,095	32607,203

Таблица 3.9-Постовые работы

Диагностические	2	745,38	-	-	745,38
Регулировочные	2	745,38	-	-	745,38
Разборочно-сборочные	32	11926,08	-	-	11926,08
Сварочно-жестяницкие	4	1490,76	-	-	1490,76
Итого	40	14907,6	-	-	14907,6

Таблица 3.10-Работы, выполняемые на участках

Агрегатные	20	7453,8				7453,8	
Слесарно-механические	12	4472,28			26	3381,245	7853,525
Электромеханические	6	2236,14	25	545,71	25	3251,197	6033,047
Аккумуляторные	3	1118,07	25	545,71			1663,78

Технологическое проектирование зон ТО и ремонта производится на основе установленной программы по видам ТО и ТР и принятому режиму работы зон.

Таблица 3.11 - Расчет численности производственных рабочих

1	2	3	4	5	6	7	8
Ежедневное Обслуживание, ЕО	12988,8	7,3	7			7	8,1
ТО-1	14612,4	8,2	8			8	9,1
ТО-2	19645,56	11	10	5	5		12,3
Текущий ремонт	14907,6	8,3	8	4	4		9,3
Итого	62154,36	34,8	33	9	9	15	38,8
Производственные участки							
Агрегатный	7453,8	4,14					4,71
Электротехнический	6033,047	3,38	9	3	3	3	3,8
По ремонту приборов системы питания	2409,16	1,35					1,5
Аккумуляторный	1663,78	0,33	2	1		1	1,0
Вулканизационный	372,63	0,2					0,2
Шиномонтажный	918,4	0,5					0,6
Медницкий	875,427	0,5	2	2			0,6
Жестяницкий	1265,571	0,7					0,8
Кузнечно-рессорный	1750,855	0,38					1,1
Сварочный	2010,951	1,12	1	1			1,3
Слесарно-механический	7853,525	4,4	6	2	2	2	4,9
Трубопроводный	2861,053	1,6	6	2	2	2	1,8
Ремонтно-строительный	2080,766	1,1	1	1			1,3
Итого	37549,029	21,024	21	11	5	5	23,5
Всего	99703,389	55,824	54	20	14	20	62,3

При известном режиме работы зоны ТО и суточной производственной программе можно определить ритм производства, представляющий собой долю времени работы зоны ТО, приходящуюся на выполнение одного обслуживания данного вида.

Для ежедневного обслуживания:  $R_{eo} = \frac{T_c \cdot 60}{N_{eoc}} = \frac{6 \cdot 60}{32,3} = 11,14$  мин

Для ТО-1:  $R_1 = \frac{6 \cdot 60}{3,2} = 112,5$  мин.

Для ТО-2:  $R_2 = \frac{6 \cdot 60}{1} = 360$  мин = 1 час

Исходной величиной для расчета числа универсальных постов обслуживания служит такт поста, представляющий собой простой автомобиль под обслуживанием на данном посту.

$$\tau = \frac{t_i \cdot 60}{P_n} + t_{п}, \quad (3.45)$$

где  $t_i$  - трудоемкость работ по обслуживанию, выполняемому на данном посту, чел-час;



$t_{\Pi}$  - время, затраченное на передвижение ПДМ при установке ее на пост и объезде с него, мин;

$P_{\Pi}$  - число рабочих, одновременно работающих на посту.

Для целей расчета  $t_{\Pi}$  и  $P_{\Pi}$  принимается исходя из данных приведенных в работе /25/.

$$\text{Для ЕО: } \tau_{\text{ео}} = \frac{1,32 \cdot 60}{4,0} + 2 = 21,8 \text{ мин}$$

$$\text{Для ТО-1: } \tau_1 = \frac{14,85 \cdot 60}{4} + 2 = 224,75 \text{ мин}$$

$$\text{Для ТО-2: } \tau_2 = \frac{0,8 \cdot 66,55 \cdot 60}{5} + 2 = 640,88 \text{ мин}$$

Необходимое число универсальных постов определяется из следующего выражения:

$$X_{\text{об}} = \frac{\tau}{R}; \quad (3.46)$$

$$\text{Для ЕО: } X_{\text{ео}} = \frac{21,8}{11,14} = 1,96 \approx 2 \text{ поста}$$

$$\text{Для ТО-1: } X_1 = \frac{224,75}{112,5} = 1,99 \approx 2 \text{ поста}$$

$$\text{Для ТО-2: } X_2 = \frac{640,88}{360 \cdot 0,9} = 1,98 \approx 2 \text{ поста}$$

Число специализированных постов диагностики выполняемых после очередных видов технологических воздействий определяется из следующего выражения:

$$X_{\text{д}} = \frac{\sum T_{di}}{D_{\text{р}} \cdot T_{\text{см}} \cdot C \cdot \eta \cdot P_{\Pi}}; \quad (3.47)$$

где  $\sum T_{di}$  - суммарные годовые объемы диагностических работ после очередных технических воздействий, чел-час;

$D_{\text{р}}$  - число рабочих дней зоны диагностики в году;

$T_{\text{см}}$  - продолжительность смены;

$C$  - число смен;

$\eta$  - коэффициент использования времени поста;

$P_{\Pi}$  - число рабочих на посту ( $P_{\Pi} = 1:2$ )

$$X_{\text{д}} = \frac{1315 + 1572 + 745}{305 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 2} = 1,1 \sim 1 \text{ пост}$$

Число постов текущего ремонта рассчитывают по суммарной трудоемкости постовых работ и фонду рабочего времени:

$$X_{\text{ТР}} = \frac{T_{\text{ТРП}} \cdot K_{\text{ТР}} \cdot \varphi}{D_{\text{РГ}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot P_{\text{П}} \cdot \eta \cdot C} \quad (3.48)$$

где  $T_{\text{ТРП}}$  - суммарная трудоемкость работ, выполняемых на постах ТР, чел-час;

$D_{\text{РГ}}$  - число рабочих дней в году;

$T_{\text{СМ}}$  - продолжительность рабочей смены;

$P_{\text{П}}$  - число рабочих на посту;

$K_{\text{ТР}}$  - коэффициент, учитывающий долю объема работ, выполняемую на постах ТР в наиболее загруженную смену;

$\varphi$  - коэффициент, учитывающий неравномерность поступления автомобилей на посты ТР.

Для расчета принимаются значения коэффициентов  $K_{\text{ТР}}$ , и  $\varphi$  равным соответственно 0,6 и 1,5 при коэффициенте использования рабочего времени поста  $\eta = 0,9$ .

$$X_{\text{ТР}} = \frac{14907,6 \cdot 0,6 \cdot 1,5}{305 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 2} = \frac{13416,84}{3284 \cdot 2} = 2 \text{ поста}$$

Определяемое расчетным путем на основании трудоемкости количество оборудования можно получить исходя из формулы:

$$\alpha_0 = \frac{T_0}{D_{\text{РГ}} \cdot T_{\text{СМ}} \cdot C \cdot \eta_0 \cdot P} \quad (3.49)$$

где  $T_0$  - трудоемкость работ в год по данной группе или виду работ данной группы, чел-час;

$D_{\text{РГ}}$  - число рабочих дней в году;

$T_{\text{СМ}}$  - продолжительность рабочей смены;

$C$  - число рабочих смен;

$\eta_0$  - коэффициент использования оборудования по времени, принимается в пределах 0,6-0,9;

$P$  - число рабочих, одновременно работающих на данном виде оборудования.

$$\text{Для агрегатного цеха: } \alpha_1 = \frac{7453,8}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 3 \text{ ед.}$$

$$\text{Для слесарно-механического цеха: } \alpha_2 = \frac{7853,8}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 3 \text{ ед.}$$

$$\text{Для шиномонтажного комплекса: } \alpha_3 = \frac{1291,1}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 1 \text{ ед.}$$

$$\text{Для медницкого цеха: } \alpha_4 = \frac{875,43}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 1 \text{ ед.}$$

$$\text{Для жестяницкого отделения: } \alpha_5 = \frac{1265,6}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 1 \text{ ед.}$$

Для кузнечно-рессорного цеха:  $\alpha_6 = \frac{1750,9}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 2$  ед.

Для сварочного цеха:  $\alpha_7 = \frac{2010,9}{305 \cdot 6 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 1,0} = 2$  ед.

Площадь помещения зоны  $F_0$  рассчитывают по формуле

$$F_0 = f_0 \cdot x_0 \cdot k_0, \text{ м}^2, \quad (3.50)$$

где:  $f_0$  - площадь, занимаемая автопоездом в плане,  $\text{м}^2$ ;

$x_0$  - число постов;

$k_0$  - удельная площадь помещения на  $1 \text{ м}^2$  площади, занимаемой ПДМ в плане.

Величина  $k_0$  зависит от типа автомобиля, расположения постов и их оборудования и равна обычно 4-5. Площадь зоны ежедневного обслуживания составляет:

$$F_{e0} = 24 \cdot 2 \cdot 5 = 240 \text{ м}^2$$

Площадь зон ТО-1 и ТО-2 с учетом того, что они могут выполняться на одних и тех же постах, но в разное время, можно определить только для одной зоны.

$$F_{\text{ТО}} = 24 \cdot 2 \cdot 5 = 240 \text{ м}^2$$

Площадь зоны текущего ремонта с учетом специализированного поста диагностики составляет:

$$F_{\text{ТР}} = 24 \cdot 3 \cdot 5 = 360 \text{ м}^2$$

В практике проектирования гипроавтотранса расчет площадей складских помещений производится по удельным площадям на 1 млн. км пробега подвижного состава.

$$F_{\text{СК}} = \frac{L_{\Gamma} \cdot A_{\text{СС}} \cdot f_y}{10^6} \cdot K_{\text{ПС}} \cdot K_{\text{Р}} \cdot K_{\text{РАЗ}}. \quad (3.51)$$

где:  $f_y$  - удельная площадь склада на 1 млн. км пробега ПДМ, или же  $2 \cdot 10^6$  мото-час работы,  $\text{м}^2$ ;

$K_{\text{ПС}}$ ,  $K_{\text{Р}}$ ,  $K_{\text{РАЗ}}$  - коэффициенты, учитывающие тип подвижного состава, его списочное количество и разнотипность подвижного состава.

Применительно к подземным самоходным оборудованьям значения этих коэффициентов соответственно составляют по рекомендациям /25/:

$$K_{\text{ПС}} = 2,6; K_{\text{Р}} = 1,4; K_{\text{РАЗ}} = 1$$

Для склада запасных частей имеем

$$F_1 = \frac{3600 \cdot 41 \cdot 3,5}{2 \cdot 10^5} \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 9,4 \text{ м}^2$$

Для склада агрегатов:

$$F_2 = \frac{3600 \cdot 41 \cdot 5,5}{2 \cdot 10^5} \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 14,85 \text{ м}^2$$

Для склада материалов:

$$F_3 = \frac{3600 \cdot 41 \cdot 3,0}{2 \cdot 10^5} \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 8,1 \text{ м}^2$$

Для склада шин:

$$F_4 = \frac{3600 \cdot 41 \cdot 2,3}{2 \cdot 10^5} \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 6,21 \text{ м}^2$$

Для склада смазочных материалов с насосной:

$$F_5 = \frac{3600 \cdot 41 \cdot 3,5}{2 \cdot 10^5} \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 9,4 \text{ м}^2$$

Для инструментально-раздаточной кладовой:

$$F_6 = \frac{3600 \cdot 41 \cdot 0,25}{2 \cdot 10^5} \cdot 2,6 \cdot 1,4 = 0,68 \text{ м}^2$$

Для промежуточного склада:

$$F_7 = 0,2 \cdot (F_1 + F_2) = 4,85 \text{ м}^2$$

$$\sum F = 53,49 \text{ м}^2$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических исследований и имитационного моделирования дано новое решение актуальной задачи выявления связей механохимических процессов при абразивном изнашивании деталей и узлов ПДМ, выявления роли механического фактора как инициатора химических процессов и в конечном счете обоснованное прогнозирование и управление изнашиванием ПДМ на горнодобывающих предприятиях Республики Казахстан.

Выполненная работа позволяет сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Теоретически обоснованы и выделены два основных вида изнашивания деталей и узлов ПДМ в абразивной среде: преимущественно механохимическое и механическое.

2. Исследованы закономерности механической форм абразивного изнашивания в связи с внешними механическими воздействиями, фазовым, структурным и химическим составом материалов и химической активностью внешней среды. Выделены главные факторы, определяющие прочность деталей ПДМ при абразивном износе.

3. Разработаны принципы методики управления и прогнозирования абразивной износостойкостью. Обосновано использование энергетического критерия – удельной работы разрушения, являющегося объективной оценкой работы трущихся сопряжений на стадии проектирования и в условиях эксплуатации ПДМ

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

5. Для обоснования эффективности применения предложенного метода самообеспечения ПДМ запасными частями разработана математическая модель, определяющая расходы на ЗЧ с учётом издержек на их изготовление или приобретение и хранение и потерь от простоев ПДМ вследствие дефицита ЗЧ.

6. Разработана методика обоснования норм диагностирования агрегатов и систем при прогнозировании и управлении изнашиванием ПДМ.

7. Выполнены расчеты производственно - эксплуатационной программы по ТО и Р ПДМ для условий эксплуатации Джекказганского рудника.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 АДЕМ – Автоматизация проектирования конструкторской и технологической подготовкой производства: [Электронный ресурс] // Группа компаний АДЕМ – Режим доступа – <http://www.adem.ru> (28.03.2015).

2 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.

3 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.

4 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 "Актуальные проблемы технических наук в россии и зарубежом". 2015.

5 Демченко, И.И. Горные машины карьеров. Учебное пособие / И.И. Демченко. - М.: ИНФРА-М, 2018. - 330 с.

6 Болотин В. В. О прогнозировании надежности и долговечности машин. Машиноведение, 1977, № 5, с. 86—93.

7 Болотин В. В., Чернов В. К. Расчеты на надежность и долговечность машин, содержащих большое число однотипных элементов. — В кн.: Расчеты на прочность. М.: Машиностроение, 1980, вып. 21, с. 78—96.

8 Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн./Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. М.: Машиностроение. Кн. 1, 1978. 400 с. Кн. 2, 1979. 358 с.

9 Виктор, Григорьевич Лукьянов Горные машины и проведение горно-разведочных выработок 2-е изд. Учебник для СПО / Виктор Григорьевич Лукьянов. - М.: Юрайт, 2016. - 292 с.

10 «Горные машины и комплексы», Яцких В.Г., Спектор Л.А., Кучерявый А.Г. Издательство «Недра», 1994 г.

11 «Горные машины и оборудование»,Ефременков А.Б., Казанцев А.А,Блащук М.Ю., Издательство Томского политехнического университета 2009 г.

12 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

13 Антоненко, И. Особенности внедрения информационных систем управления ТОиР / И. Антоненко, В. Матюшин // Техническое обслуживание и ремонт. 2010. №1. - С. 45-49.

14 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.

15 Квагинидзе, В.С. Монтаж, демонтаж, ремонт, опробование и техническое обслуживание механической части машин, узлов и механизмов распределительных устройств: Учебник / В.С. Квагинидзе. - М.: Academia, 2015. - 384 с.

16 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.

17 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.

18 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.

19 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.

20 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.

21 Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – 2- е изд., стер. / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988, - 208 с.

22 Кофман, А. Массовое обслуживание. Теория и приложения. / А. Кофман, Р. Кюон – М.: МИР, 1965. – 303 с.

23 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.

24 Кантович, Л.И. Горные машины: Учеб. для техникумов. / Л.И. Кантович, В.Н. Гетопанов – М.: Недра, 1989, - 304 с.

25 Тихонов, Н.В. Транспортные машины горных предприятий. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Н.В. Тихонов – М.: Недра, 1985, - 336 с.

26 Чернышов, В. Н. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / В.Н. Чернышов – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. Ун-та, 2008, - 96 с.

27 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 "Актуальные проблемы технических наук в россии и зарубежом". 2015. с. 46-48.

28 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.

29 Рахутин М.Г. Управление резервом запасных частей - один из путей повышения эффективности работы горнодобывающих предприятий // Горный журнал. - 2006. - № 12. - с. 32-33.

30 Галкин В.И., Шешко Е.Е. Транспортные машины. Учебник. - М.: «Горная книга».-2010.



## Рецензия

на магистерскую диссертацию Ташмета Магжана Кайратулы  
«Разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием  
деталей погрузочно-доставочных машин», специальности 7М 07111-  
«Цифровая инженерия машин и оборудования»

Представленная на рецензию магистерская диссертация состоит из пояснительной записки на 72 листах.

Все представленные материалы соответствуют требованиям, предъявляемым к оформлению магистерской диссертации. Пояснительная записка, состоящая из введения, 3-х разделов, заключения, списка использованных литературных источников, изложена технически грамотно.

В магистерской диссертации обоснованы и разработаны рекомендации по снижению простоев погрузочно-доставочных машин (ПДМ) за счет увеличения коэффициента готовности, путем обоснования принципов прогнозирования и управления износостойкостью деталей и узлов ПДМ.

В первом разделе «Анализ современного состояния процессов прогнозирования и управления изнашиванием ПДМ» автором дается анализ понятия, сущности и содержание предельного состояния деталей и узлов ПДМ, соответствующего исчерпанию ресурса, которое допускает различное толкование. Нельзя не согласиться с автором о том, что в одних случаях причиной прекращения эксплуатации ПДМ служит моральный износ, в других — чрезмерное снижение эффективности, которое делает дальнейшую эксплуатацию экономически нецелесообразной, в третьих — снижение показателей без опасности ниже предельно допустимого уровня. Не всегда удается установить точные признаки и значения параметров, при которых состояние объекта следует квалифицировать как предельное.

Во втором разделе «Методология процессов прогнозирования остаточного ресурса ПДМ» проводится всесторонний анализ процессов прогнозирования и управления изнашиванием ПДМ и предлагается техническое решение в виде методики управления и прогнозирования абразивной износостойкостью. Обосновано использование энергетического критерия – удельной работы разрушения, являющегося объективной оценкой работы трущихся сопряжений на стадии проектирования и в условиях эксплуатации ПДМ.

К числу наиболее значимых результатов, определяющих новизну исследования, личный вклад диссертанта в разработку данной проблемы, следует отнести третий раздел «Обоснование эффективности ТО и Р при прогнозировании ресурса ПДМ», где автор подробно раскрывает содержание предлагаемых рекомендаций по снижению простоев ПДМ в виде: трехуровневой системы ТО и Р; управлении ТО и Р по фактическому состоянию; внедрения разработанного нового метода самообеспечения ПДМ запасными частями при их изготовлении в производственных условиях горных предприятий; обосновании норм диагностирования агрегатов и

систем при прогнозировании и управлении изнашиванием ПДМ.

Все вышеизложенное позволяет оценить диссертационное исследование М.К. Ташмета как завершенное научное исследование, в котором дан всесторонний анализ и возможное техническое решение весьма важной прикладной задачи, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Диссертация характеризуется строгой последовательностью, хорошим общим изложением, четкостью и обоснованностью выводов. Работа выполнена на высоком теоретическом и методологическом уровне.

Однако имеются отдельные замечания и пожелания:

1. Из раздела 1.1 (стр.7) не ясно как устанавливается величина удельной работы разрушения деталей и узлов ПДМ при переходе от механохимического процесса изнашивания к механической повреждаемости.
2. В разделе 3.4 отмечается, что при расчете объемов работ по техническому обслуживанию, диагностики и ремонту ПДМ необходимо пользоваться ТО нормативными значениями трудоемкости ТО и Р, однако не указывается, кем нормативы разработаны, какова область их применения и кем они утверждены.
3. В заключении автор приводит рекомендации о применении нового метода самообеспечения запасными частями для проведения ТО и Р ПДМ в условиях их изготовления на производственных модулях ремонтно-механических участков горных предприятий. Не ясно, при каком количестве ПДМ такой метод экономически целесообразен.

В целом научно-теоретическая и практическая значимость исследования определяется прежде всего инновационным характером постановки и решения прикладной технической задачи. Результаты работы могут быть использованы в учебных курсах, учебных пособиях, при подготовке специальных курсов и семинаров по соответствующей теме, а также на горных предприятиях, занятых эксплуатацией ПДМ.

Данная работа является завершенным научным исследованием по своей новизне, теоретической и практической значимости, отвечает требованиям, предъявляемым к магистерским диссертациям. Поставленные цели и задачи диссертантом успешно решены.

Диссертационная работа может быть оценена на 92 балла. А ее автор Магжан Кайратулы Ташмет, несомненно заслуживает присуждения искомой степени магистра по специальности 7M07111 - «Цифровая инженерия машин и оборудования»

Рецензент  
Зав. лабораторией разрушения  
горных пород ИГД им. Д.А. Кунаева  
д. т. н., профессор



Едыгенов Е. К.



## ОТЗЫВ

на магистерскую диссертацию Ташмета Магжана Кайратулы  
«Разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием  
деталей погрузочно-доставочных машин»

В диссертации рассматриваются вопросы, связанные с отказами погрузочно-доставочных машин (ПДМ), которые происходят в результате их изнашивания. Отмечается, что абразивный износ является одним из наиболее распространенных губительных видов поверхностного разрушения, порядка 80-90 % подвижных элементов и рабочих органов ПДМ теряет свою работоспособность в результате действия абразивных частиц. В настоящее время управление каким либо процессом, его использование, прогнозирование или устранение невозможно без раскрытия его механизмов и причин возникновения. Протекание процесса абразивного изнашивания при котором эксплуатируются практически все имеющиеся сопряжения ПДМ, требует развития теории - механохимических форм абразивного изнашивания, разработки научных представлений об этом процессе и соответствующего развития. Этим проблемам посвящена настоящая магистерская диссертация.

Представленная диссертация содержит описание двух основных форм изнашивания деталей и узлов ПДМ - механохимическая и химическая, резко отличающиеся по внешним признакам, механизмам интенсивности разрушения, тем не менее имеют общую энергетическую природу. Связь между двумя этими формами подтверждается наличием критического перехода от одной формы к другой и наличием пороговых значений напряжений на их контакте. В связи с этим в работе определено место двух форм износа в общей закономерности, составлена структурная схема граничных условий существования механической и механохимической форм, рассмотрены структурно-энергетические модели процессов, выделены главные факторы, определяющие уровень механохимического изнашивания и переход состояния к механическому, сформулированы принципы прогнозирования и управления износостойкостью ПДМ и представлены рекомендации по управлению износостойкостью и прогнозированию работоспособности конкретных узлов и деталей ПДМ.

Цель исследования предопределила необходимость реализации следующих задач:

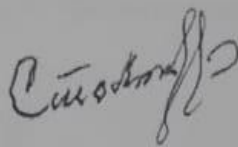
1. Выполнить анализ особенностей эксплуатации и ремонта ПДМ, оценить существующую систему обеспечения их запасными частями;
2. Обосновать основные виды изнашивания деталей и узлов ПДМ в абразивной среде и сформулировать граничные условия возникновения этих процессов;
3. Установить закономерности механических форм абразивного изнашивания ПДМ в зависимости от внешних факторов, концентрации абразивных частиц и качества ТО и Р;
4. Разработать математическую модель трехуровневого управления износостойкостью ПДМ;
5. Разработать принципы методики управления и прогнозирования износостойкостью ПДМ.
6. Разработать методику обоснования норм диагностирования агрегатов и систем при прогнозировании и управлении изнашиванием ПДМ

Поставленные в диссертации исследовательские задачи выполнены в полном объеме. В диссертации Ташмет М.К. продемонстрировал умение работать с научной литературой, широко применяет материалы периодических изданий, Интернет ресурсов.

По теме диссертации опубликована одна статья «Разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием деталей погрузочно-доставочных машин».

Магистерская диссертация Ташмета Магжана Кайратулы полностью соответствует требованиям, предъявляемых к магистерским диссертациям по данному направлению и может быть допущена к защите. Данная магистерская диссертация заслуживает высокой положительной оценки, а ее автор присуждения квалификации магистра по направлению 7М 07111 – Цифровая инженерия машин и оборудования.

Научный руководитель.  
Ассоц. профессор кафедры ТМ, Т и Л.



Д-р техн.наук, профессор

Столповских И.Н.

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Ташмет Мағжан Қайратұлы

Название: «Разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием деталей погрузочно-доставочных машин»

Координатор: Иван Столповских

Коэффициент подобия 1:6.9

Коэффициент подобия 2:2.1

Замена букв:30

Интервалы:0

Микропробелы:4

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

Обнаруженные заимствования являются добросовестными, так как являются частью учебной литературы.



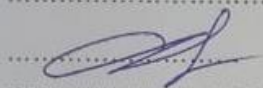
19.06.2021

Дата

Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

Диссертационная работа  
допускается к защите



Елемесов К.К

Дата 19.06.2021

Подпись заведующего кафедрой /  
ТМ, Т и Л  
начальника структурного подразделения



Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Ташмет Мағжан Қайратұлы

Название: «Разработка принципов прогнозирования и управления изнашиванием деталей погрузочно-доставочных машин»

Координатор: Иван Столповских

Коэффициент подобия 1:6.9

Коэффициент подобия 2:2.1

Замена букв:30

Интервалы:0

Микропробелы:4

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

На все заимствования сведения в тексте диссертации имеются соответствующие ссылки. Признаю работу самостоятельной и допускаю к защите

Дата

Столповских И.И.

Подпись Научного руководителя

19.06.11