

На правах рукописи



Мажибрада Ирина

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА
ОДНОКОВШОВЫХ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ**

Специальность 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка
информации (промышленность)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Научный руководитель: **Баранникова Ирина Владимировна,**

кандидат технических наук, доцент

Официальные

Ивченко Валерий Дмитриевич,

оппоненты:

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматические системы» ФГБОУ ВО «Московский технологический университет» (МИРЭА);

Ткачева Татьяна Анатольевна,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»;

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (МАДИ)

Защита состоится 06 июня 2018 года в ____ на заседании диссертационного совета Д-212.132.13. на базе ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.6, стр.2.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС» и по адресу: <http://misis.ru/science/dissertations/2018/3405/>

Автореферат разослан _____ 2018 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д-212.132.13.

кандидат технических наук, доц.

Лычев Андрей Владимирович

Общая характеристика работы

Актуальность темы и степень ее разработанности. В мире открытым способом добывается более 80% твердых полезных ископаемых. Из года в год растет количество добываемой горной массы, а также увеличиваются масштабы карьеров.

Одним из решающих условий дальнейшего совершенствования производства является обеспечение горнодобывающей промышленности высокопроизводительным и надежным оборудованием. Максимальная производительность и минимальные эксплуатационные затраты обеспечиваются своевременным и качественным проведением технических обслуживаний и ремонтов. Горное оборудование, в том числе и одноковшовые карьерные гидравлические экскаваторы (ОКГЭ), простаивает около половины рабочего времени, где треть времени простоев связана с восстановлением его работоспособности. Эти факты подчеркивают актуальность повышения надежности оборудования путем возможности предупреждения появления отказа.

В последние годы заметно проявляется разрыв между сложностью и высокой стоимостью техники и низким уровнем ее обслуживания. Это одна из главных причин внезапных длительных простоев, связанных с обнаружением и устранением причин отказов, а также большими затратами на ремонтные работы. Одним из важнейших инструментов управления системой технического обслуживания и ремонта оборудования является оценка возможности появления отказа любых частей оборудования, в том числе и карьерного.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТОиР) должны проводиться с учетом специфики предприятия, природно-геологических факторов и свойств оборудования (рекомендации производителя горного оборудования, срок эксплуатации, режим работы).

В настоящее время все большее число компаний стремится, в целях оптимального расходования материальных средств, перейти от регламентированных ремонтов к ремонтам оборудования, исходя из его текущего технического (фактического) состояния.

Организация централизованного сбора информации по отказам в совокупности с данными мониторинга позволила бы снизить время простоев горного оборудования. Создание такого инструмента организации сложно представить без использования современных методов и средств автоматизации.

Поэтому разработка новой модели оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов, позволяющей повысить качество и надежность технического обслуживания и ремонта является актуальной научной и практической задачей.

Повышение качества работы системы технического обслуживания и ремонта горного оборудования охватывает широкий круг проблем, таких как, определение и повышение надежности оборудования, способы исследования надежности оборудования, планирование технических осмотров и ремонтов. Этим вопросам посвящены работы Р.Ю. Подэрни, В.Ф. Замышляева, Л.И. Кантовича, В.Н. Гетопанова, Г.П. Берлявского, В.И. Зайкова, В.В. Ржевского, В.М. Рачек и других.

Без использования современных методов и средств автоматизации реализация задачи одновременного снижения эксплуатационных затрат и аварийности для любого горного оборудования невозможна. Чтобы облегчить информационную нагрузку на персонал ремонтных служб от информационных потоков, требуется поддержка принятия решений. Исследования в этом направлении проводились А.В. Леоненковым, Т.А. Гавриловой, В.Ф. Хорошевским, С. Осовским, В.И. Тинякова и др.

Исследованием в области теории возможностей занимались Л. Заде, Д. Дюбуа, А. Прад, а в области нечеткой логики и нечетких нейронных сетей – В.В. Круглов, М.И. Дли, В.С. Тарасян, Д. Рутковская, В.Я. Пивкин, В.Я. Бакулин, Д.И. Кореньков, Ю.С. и др.

Целью данного научного исследования является повышение эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта на основе

исследования системных связей факторов и категорий отказов гидравлической системы (ГС) одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов.

Задачи. Исходя из цели исследования, были поставлены и решены следующие задачи:

- анализ условий, принципов работы ОКГЭ, его основных частей и проблем отказа ГС ОКГЭ;
- определение и классификация технических, внешних факторов, а также текущих характеристик и их уровня влияния на возможность появления различных категорий отказов ГС ОКГЭ;
- разработка модели оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ на основе технических, внешних факторов, а также текущих характеристик ГС ОКГЭ;
- оценка взаимосвязи факторов и категорий отказов на основе экспертно-моделирующих процедур, позволяющих сформировать функции принадлежности каждого фактора, а также спроектировать базу правил (БП) и получить балльную оценку возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ;
- оценка эффективности модели оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ.

Идея работы заключается в выявлении значимых факторов и изучении их влияния на возможность появления категорий отказа ГС ОКГЭ, создании на базе этого исследования модели, позволяющей осуществить эффективный переход системы ТОиР с формы «Планово-предупредительные ремонты» (ППР) на форму «Обслуживание по фактическому состоянию» (ОФС).

Научные положения и их новизна:

- разработана модель оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ, впервые позволяющая оценить эту возможность с учетом технических и внешних факторов, а также текущих характеристик на основе субъективного анализа качества и надежности функционирования основных частей ОКГЭ;
- оценку взаимосвязи факторов и категорий отказов необходимо осуществлять на основе методики экспертно-моделирующих процедур, что

позволит сформировать функции принадлежности каждого фактора, а также разработать базу правил и получить балльную оценку возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ;

- оценку эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта ГС ОКГЭ необходимо осуществлять на основе расчетов показателей технической готовности оборудования и уровня затрат на техническое обслуживание и ремонты с учетом агрегированных показателей мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту ОКГЭ.

Методы исследования. В диссертационной работе были использованы методы системного анализа, теория возможностей, экспертные оценки, нейронные сети и нечеткие множества, а также теория графов.

Научное значение работы состоит в выделении основных категорий отказов ГС ОКГЭ на основании анализа классификации отказов; формировании модели оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ с учетом технических факторов (Т), внешних факторов (К) и текущих характеристик (С) ГС ОКГЭ для повышения эффективности функционирования системы ТОиР.

Научная новизна состоит в разработке модели оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов, позволяющей решить задачу оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ. Для окончательного расчета оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ использовались нечеткие методы и алгоритмы, которые обеспечивают обработку значений технических, внешних, текущих характеристик ГС ОКГЭ и позволяют выявить взаимосвязи, как между ними, так и между категориями отказа на основе использования аппарата нечетких множеств.

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанная модель оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ является основой для разработки комплекса мероприятий по повышению эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов.

Реализация выводов и рекомендаций работы осуществлены путем внедрения их в компании, осуществляющей техническое обслуживание и ремонт горного оборудования ООО «Пак Поинт» (г. Белград, Сербия).

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации и ее отдельные положения докладывались на:

- семинарах кафедры АСУ НИТУ МИСиС (г. Москва 2013-2017 гг);
- международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва 2013-2017 гг);
- международной научно-практической конференции «Новая наука: проблемы и перспективы» (г. Стерлитамак ,04 октября 2015 г, 29 сентября 2015 г);
- международной научно-практической конференции «Новая наука: от идеи к результату» (г. Сургут, 29 мая 2016 г).

Публикации. По теме диссертации опубликовано семь научных работ (в том числе три работы – в рецензируемых изданиях по перечню ВАК).

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений; содержит 28 таблиц, 43 рисунка и список литературы из 142 наименований.

Основное содержание работы

В первой главе выполнен анализ этапов ведения открытых горных работ, и используемого на каждом этапе карьерного оборудования; основных внешних и технических воздействий, влияющих на работоспособность оборудования и основных типов форм системы ТОиР.

Приведены доли затрат и коэффициенты использования оборудования во времени для каждого из основных этапов ведения открытых горных работ. Низкий коэффициент использования оборудования во времени на этапе «Выемочно-погрузочные работы» (65 %) обусловлен, как и недостаточной надежностью самих машин, так и недостаточной организацией технического обслуживания и ремонта. Следует отметить, что одноковшовые экскаваторы наиболее востребованы на данном этапе.

Эффективность одноковшовых экскаваторов оценивается различными техническими показателями: количеством простоев и их длительностью, наработкой на отказ – МТBF, средним временем на восстановление – МТTR, коэффициентом готовности K_G , как отдельных частей ОКГЭ, так и его в целом (как системы).

Показан процент выхода из строя основных частей экскаватора. Установлено, что гидравлическое оборудование имеет высокое значение времени простоев (45 %), но достаточно небольшие средние затраты времени на восстановление (57,45 часов). С другой стороны, наименьшее суммарное время простоев (1136 часов) и большую наработку на отказ (2168 часов) имеет ходовое оборудование, но при этом оно требует меньших затрат времени на восстановление (51,64 часов). Для дальнейшего анализа и исследования выбрана гидравлическая система ОКГЭ.

В процессе эксплуатации под действием различных взаимосвязанных природно-технических факторов непрерывно ухудшается техническое состояние оборудования. Поэтому в работе описаны основные факторы, влияющие на возможность отказа основных частей одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов.

Рассмотрены основные формы технического обслуживания (ТО) и ремонта. Проведен сравнительный анализ форм планово-предупредительных ремонтов и обслуживание по фактическому состоянию по следующим параметрам: затраты на ТОиР экскаватора и количество отказов по форме обслуживания. Анализ показал, что при переходе на форму ОФС затраты на ТОиР сократились примерно на 10 %, а количество отказов на 90 %. Основой такого вида ТО является техническое диагностирование и оценка состояния карьерного оборудования с помощью средств непрерывного или периодического контроля параметров состояния экскаватора.

Во второй главе приведена схема гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора. Проанализированы все воздействия,

влияющие на работоспособность гидравлической системы, которые разделены на факторы: технические (T_i), внешние (K_i) и текущие характеристики ОКГЭ (C_i).

После анализа технических описаний и инструкций по эксплуатации одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов и схемы гидравлической системы ОКГЭ, все отказы оборудования были систематизированы и сгруппированы, а затем было построено дерево отказов ГС ОКГЭ. Дерево отказов позволило выделить основные категории отказов S_j .

Таким образом, определены и классифицированы значимые внешние и технические факторы, а также текущие характеристики, влияющие на возможность появления различных категорий отказов ГС ОКГЭ.

В данной работе используется понятие «возможность», а не «вероятность». Возможность появления категории отказа базируется на относительной оценке истинности данного события, его предпочтительности в сравнении с другим событием, в отличие от вероятности, которая оценивает частоту появления события в регулярном стохастическом эксперименте.

Получить статистические данные для оценки степени влияния факторов на возможность появления категории отказа достаточно сложно из-за большого количества факторов. Поэтому были проведены экспериментальные исследования методом экспертных оценок. В качестве экспертов были приглашены: персонал горнодобывающего предприятий ОАО «Раменский ГОК» и ОА «Богаевский карьер» и преподаватели кафедры «Горное оборудование, транспорт и машиностроение» НИТУ МИСиС.

Для оценки степени квалификации в данной предметной области была построена система критериев оценки экспертов. В эту систему вошли критерии: образование, должность, стаж работы с ОКГЭ, вовлеченность в проблемную область. Коэффициент конкордации экспертов посчитан по формуле (1):

$$W = \frac{12Q}{D^2(m^3 - m)}, \quad (1)$$

где Q – сумма квадратов отклонений сумм рангов;

D – количество экспертов;

m – количество факторов.

Проводилось заочное анкетирование, где экспертам предлагалось оценить степень влияния каждого фактора на каждую категорию отказа в баллах по шкале от 1 до 100.

На основании методики экспертно-моделирующих процедур была получена итоговая оценка степени влияния каждого фактора β_i может быть получена по формуле (2), а степень согласованности суждений экспертов V_i по формуле (3)

$$\beta_i = \frac{\sum_{d=1}^m D_{id}}{\sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^m D_{id}}, \quad (2)$$

$$V_i = \frac{\sqrt{(D-1)^{-1} \sum_{d=1}^D (\beta_{id} - \beta_i)^2}}{\beta_i}, \quad (3)$$

где D_{id} – оценка степени влияния i -го фактора d -м экспертом на возможность появления j -ой категории отказа S .

На основе экспертного опроса был проведен анализ влияния каждого фактора на возможность появления категории отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора S_j и получены графики влияния факторов на появление категорий отказа ГС ОКГЭ S_j .

На рисунке 1 представлено влияние технических факторов (T_i) на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ S_j , где $i \in [1, 10]$, а $j \in [1, 7]$.

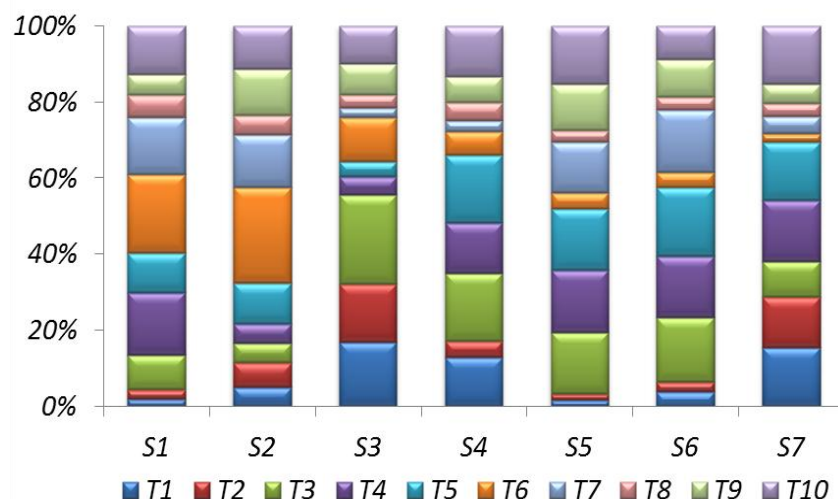


Рисунок 1 - Влияние технических факторов (T_i) на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ S_j

На рисунке 2 представлено влияние внешних факторов (K_i) на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ.

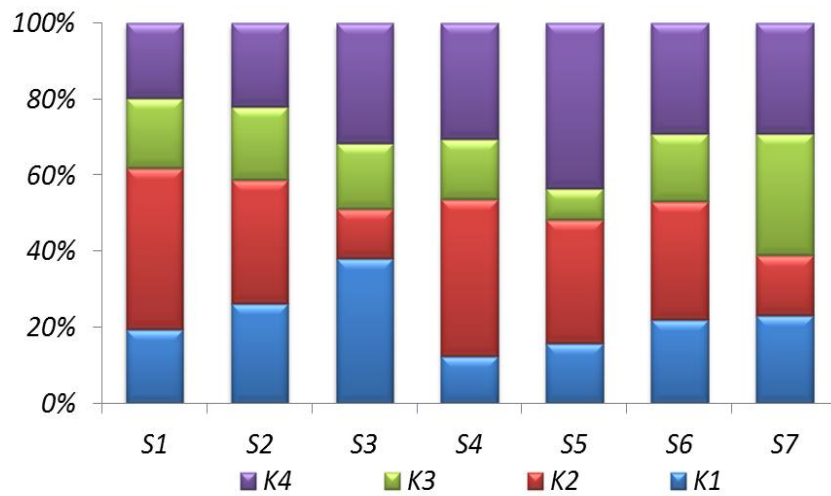


Рисунок 2 - Влияние внешних факторов (K_i) на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ S_j

На рисунке 3 представлено влияние текущих характеристик ОКГЭ (C_i) на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ.

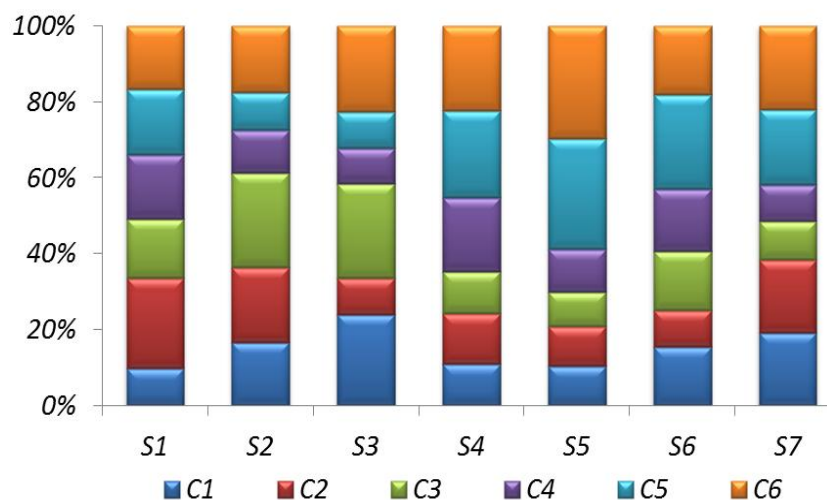


Рисунок 3 - Влияние текущих характеристик ОКГЭ (C_i) на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ S_j

На основании оценок возможности появления категорий отказов S_j можно оценить общую возможность отказа гидравлической системы ОКГЭ. Модель оценки возможности отказа и категории отказа структурно представлена на рисунке 4.

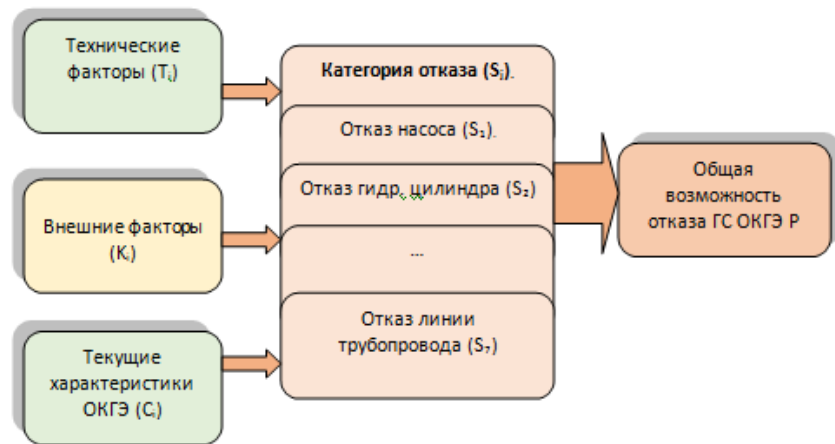


Рисунок 4 - Схема взаимосвязей факторов и категорий возможности отказа ГС ОКГЭ S_j

Общая возможность отказа ГС ОКГЭ P , состоящей из j событий (категорий отказа) по теореме сложения возможностей определяется как

$$P = \bigoplus_{S_j \in S} S_j = \max_{S_j \in S} S_j, \quad (4)$$

где P – общая возможность отказа ОКГЭ;

S_j – категория отказа;

j – количество категорий, $j \in [1, 7]$.

Общая возможность отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора P позволяет оперативно оценить текущее состояние ГС в целом и принять необходимые меры по предупреждению возникновения поломок.

Для анализа состояния ГС одноковшового карьерного гидравлического экскаватора следует использовать следующую таблицу (таблица 1).

Таблица 1 - Общая оценка возможности отказа ГС ОКГЭ P

Диапазон	Порядок действий
0 – 20	Не требуется изменений в работе
21 – 40	Проанализировать категории отказа, при необходимости скорректировать план ТО
41 – 60	Проанализировать категории отказа, скорректировать план ТО
61 – 80	Проанализировать категории отказа, добавить ремонт (или ТО) в план на ближайшие дни
81 – 100	Проанализировать категории отказа. Срочный ремонт

Общую возможность отказа гидравлической системы ОКГЭ $P(S)$ можно визуально представить в виде шкалы (рисунок 5).

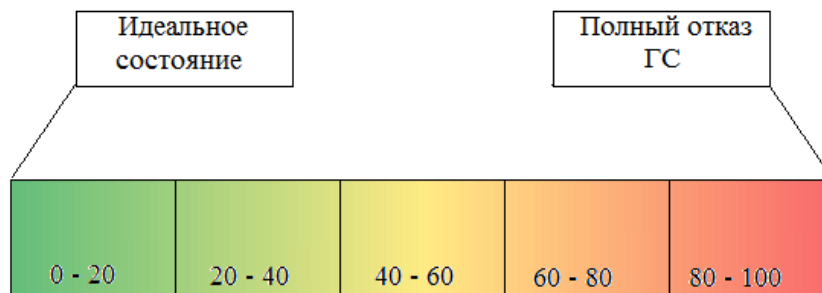


Рисунок 5 - Шкала общей возможности отказа ГС $P(S)$ ОКГЭ

Шкала (рисунок 3) и таблица общей возможности отказа гидравлической системы (таблица 1) позволят оперативно оценить действительное состояние ГС ОКГЭ, а для более глубокого анализа текущего состояния элементов ЛПР следует оценить возможность появления категорий отказов S_j . При получении высоких критических значений возможности отказа ГС ОКГЭ (от 81-100) машинист должен оперативно выполнить ряд действий, например, прекратить работу или отрегулировать давление масла в ГС. При средних значениях (от 50-80) сотрудникам подразделения технического обслуживания следует проанализировать возможные категории отказа и скорректировать план ТОиР.

В третьей главе проведен сравнительный анализ методов оценки и прогнозирования возможности отказа. Более подробно рассмотрены нечеткие нейронные сети, так как они основаны на нечетком выводе, который тесно связан с понятием возможности. Основной проблемой оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ является большое количество влияющих факторов, которые сложно представить с помощью аналитических формул, т.е. большинство факторов, влияющих на надежность объекта, являются случайными. Поэтому оценка возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ не поддается надежному анализу и моделированию традиционными методами.

Каждую оценку возможности появления категории отказа S_j можно представить в виде следующей информационной структуры

$$S_j \langle T_i, K_i, C_i; A \rightarrow B \rangle, \quad (5)$$

где S_j — возможность появления категории отказа;

T_i – множество значений технических факторов ГС ОКГЭ;

K_i – множество значений внешних факторов;

C_i – множество значений текущих характеристик ГС ОКГЭ;

$A \rightarrow B$ – нечеткая импликация (A, B – нечеткие высказывания);

i – количество элементов каждого фактора;

j – количество категорий отказов, $j \in [1, 7]$.

В работе проанализированы основные типы представления знаний и установлено, что для решения задачи оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ целесообразно использовать продукционно-фреймовую модель представления знаний.

В третьей главе также приведены описания основных методов построения функции принадлежности для решения задачи построения функций принадлежности факторов исследуемых факторов. В работе использованы прямые групповые и статистические методы.

База правил систем нечеткого вывода предназначена для формального представления эмпирических знаний экспертов в той или иной предметной области в форме нечетких продукционных правил. При проектировании нечеткой базы правил могут быть использованы данные о моделируемой системе, полученные от экспертов на основании проведения экспертно-моделирующих процедур или в результате измерений. На практике часто используется смешанный тип проектирования – когда начальная база правил строится на основании мнений экспертов, а ее уточнение и корректировка проводится с использованием экспериментальных данных.

Недостатком использования метода проектирования нечеткой базы правил на основании заключений экспертов является то, что при определенном количестве факторов и их возможных значений растет количество правил. Обеспечить полноту, непротиворечивость и связность базы правил в таких условиях очень сложно. Поэтому в данной работе предлагается создавать на каждую категорию отказа ГС ОКГЭ S_j отдельную базу правил БП(S_j). Включать в

базу правил $БП(S_j)$ следует только факторы T_i, K_i, C_i , которые оказывают значительное влияние на соответствующую категорию отказа ГС ОКГЭ S_j .

После отбора значимых элементов факторов T_i, K_i, C_i для S_j сгенерирован список всех возможных правил путем полного перебора различных вариантов. Полученный список может содержать большое количество правил, но после дальнейшего анализа, эксперт может отвергнуть большинство. Начальная база правил, полученная после экспертного анализа, может быть скорректирована при поступлении в нечеткую систему экспериментальных данных об объекте.

Каждое правило базы правил записано в виде представления знаний: «ЕСЛИ ..., ТО ...». Для построения правил необходимо использовать математический метод нечетких множеств. Так, каждой координате необходимо поставить в соответствие лингвистические переменные с характерными термами, например, «высокий», «средний», «низкий». Базу правил о влиянии факторов T_i, K_i, C_i на значение зависимых категорий отказов S_j можно представить в виде совокупности логических высказываний типа

$$\begin{aligned} & \text{ЕСЛИ } (F_1 = a_{1j1}) \text{ И } (F_2 = a_{2j1}) \text{ И } \dots \text{ И } (F_n = a_{nj1}). \\ & \text{ИЛИ } (F_1 = a_{1j2}) \text{ И } (F_2 = a_{2j2}) \text{ И } \dots \text{ И } (F_n = a_{mj2}) \\ & \dots \\ & \text{ИЛИ } (F_1 = a_{1jk}) \text{ И } (F_2 = a_{2jk}) \text{ И } \dots \text{ И } (F_n = a_{mjk}) \\ & \text{ТО } S_j = d_j, j \in [1, m], \end{aligned} \tag{6}$$

где F – обозначение множества факторов T_i, K_i, C_i ;

a_{ijp} – терм, которым оцениваются переменные T_i, K_i, C_i ; в строчке с номером j_p ($p \in [1, k_j]$);

k_j – количество строчек-конъюнкций, у которых выход оценивается термом d_j ;

m – количество термов, используемых для лингвистической оценки выходного параметра S_j .

В работе рассмотрены основные алгоритмы нечеткого вывода – алгоритм Мамдани и алгоритм Сугено. В качестве механизма вывода для решения данной

задачи целесообразно использовать алгоритм Сугэно, так как выходные переменные – категории отказов S_j – можно представить как константы.

В качестве сети была выбрана адаптивная сеть на основе системы нечеткого вывода ANFIS, так как данная сеть использует механизм вывода алгоритм Сугэно. В пакете ANFIS-редактора в среде MATLAB были построены нейронные сети для каждой категории отказа S_j . Схема нейронной сети оценки возможности появления категории отказа S_1 – «Отказ насоса» ГС ОКГЭ представлена на рисунке 6.

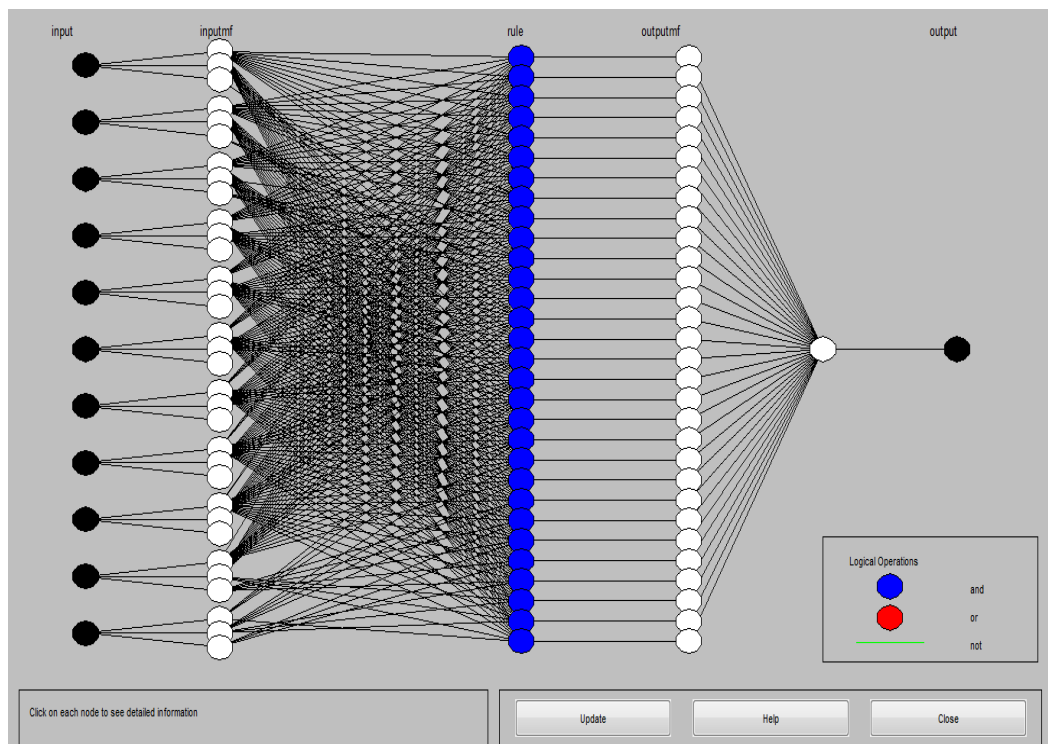


Рисунок 6 - Схема нейронной сети оценки возможности появления категории отказа

В третьей главе также представлены блок-схемы, в которых полностью отображена суть процесса оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ S_j и получение общей возможности отказа ГС ОКГЭ.

В четвертой главе показаны реализация и оценка на адекватность разработанной модели оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ и ее экспериментальное исследование.

Экспериментальные исследования для определения степени влияния факторов T_i , K_i , C_i на возможность появления категории отказа S_j были проведены

методом экспертных оценок (экспертно-моделирующих процедур). Результатом экспертного опроса являются степени влияния факторов на возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ S_j на основе которых был проведен отбор значимых факторов по каждой категории отказа ГС ОКГЭ S_j в целях дальнейшего формирования баз правил по каждой категории S_j .

На рисунке 7 представлены функции принадлежности элемента «Температура воды в двигателе – T1» фактора T_i .

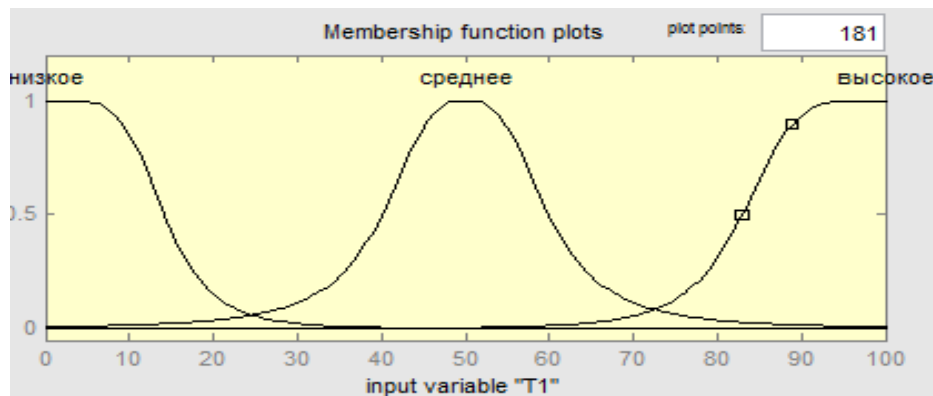


Рисунок 7 - Экранный вид функции принадлежности элемента «Температура воды в двигателе – T1» фактора T_i

На рисунке 8 представлены функции принадлежности элемента «Уровень загрязненности масла – T10» фактора T_i .

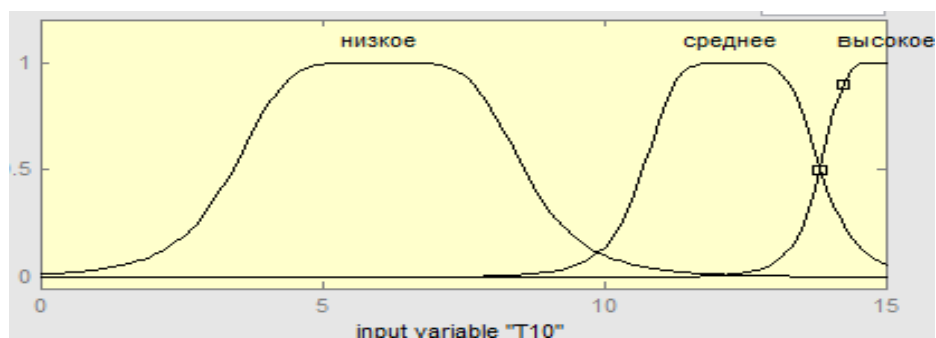


Рисунок 8 - Экранный вид функции принадлежности элемента «Уровень загрязненности масла – T10» фактора T_i

В данной работе база правил для решения поставленной задачи спроектирована на основании данных, полученных от экспертов. Для упрощения задачи формирования базы правил для каждой категории отказа ГС ОКГЭ S_j создана отдельная база правил – БП(S_j).

Решение задачи оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ было осуществлено с использованием средств компьютерного моделирования в пакетах Fuzzy Logic Toolbox. Для оценки правильности расчета модели для элемента «Уровень загрязненности масла – T10» фактора T_i закреплено значение – «Высокий», а для остальных факторов – «Средний».

В итоге получены значения оценок возможности появления категории отказов ГС ОКГЭ S_i и посчитана общая возможность отказа ГС ОКГЭ. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результат проведенного эксперимента

Категория отказа	S_j
Отказ насоса – S1	50
Отказ гидравлического цилиндра – S2	20
Отказ гидравлического мотора – S3	10
Отказ клапанов регулирования давления – S4	10
Отказ клапанов управления направлением – S5	20
Отказ клапанов регулирования скорости потока масла – S6	20
Отказ линии трубопровода – S7	80
Общая возможность отказа ГС	80
Диапазон отказа	Высокая возможность отказа
Критические категории отказа	Отказ линии трубопровода – S7

Таким образом, было проведено экспериментальное исследование модели оценки возможности появления категории отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора. Получены общая возможность отказа ГС ОКГЭ $P(S)$ и оценки возможности появления каждой из категорий отказов ГС ОКГЭ S_j , которые позволят перейти от формы регламентированных ремонтов к ремонтам оборудования, исходя из его текущего технического состояния.

Разработанная модель позволит более эффективно управлять системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов, а ее использование приведет к снижению затрат на 18 %, и увеличению коэффициента технической готовности экскаватора на 9 %. Основные

выводы и рекомендации, полученные в ходе исследования, положены в основу управления системой ТОиР в компании ООО «Пак Поинт», осуществляющей техническое обслуживание и ремонт горного оборудования.

Основные выводы работы рекомендуются при использовании любого горного оборудования. Разработанную модель оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта можно применить как на предприятиях горной промышленности, так и на любых предприятиях, занимающихся добычной, строительной деятельностью, а также эксплуатацией любого сложного оборудования.

Заключение

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научная задача оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов, реализация которой обеспечивает снижение материальных затрат и повышение технической готовности оборудования.

Лично автору принадлежат следующие результаты и выводы:

- опыт эксплуатации одноковшовых карьерных экскаваторов показывает, что гидравлическое оборудование имеет высокое значение времени простоев (45 %) от общего времени работы. На основе построения дерева отказов, все отказы ГС следует сгруппировать в следующие категории: «отказ насоса», «отказ гидравлического цилиндра», «отказ гидравлического мотора», «отказ клапанов регулирования давления», «отказ клапанов управления направлением», «отказ клапанов регулирования скорости потока масла» и «отказ линии трубопровода», что позволит получить оценку общей возможности отказа ГС ОКГЭ;

- все факторы, влияющие на работу ГС ОКГЭ следует разделить на: технические T_i (температура воды в двигателе, температура и давление масла в системе, уровень загрязнения масла и прочее), внешние K_i (климатические и горно-геологические условия) и текущие характеристики C_i (срок эксплуатации ОКГЭ и срок эксплуатации элементов ОКГЭ);

- разработанная модель оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ позволяет оценивать в баллах возможность появления категории отказа ГС ОКГЭ на основе значимых для этой категории технических и внешних факторов, а также текущих характеристик ГС ОКГЭ;

- сформированные функции принадлежности каждого фактора, а также спроектированная БП для каждой категории отказа, на основе экспертно-моделирующих процедур, позволяют провести балльную оценку возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ на основе взаимосвязи факторов и категорий отказов;

- внедрение данной модели позволит повысить эффективность управления системой ТОиР, перейдя с формы ППР на форму ОФС, что приведет к снижению материальных затрат на 18 % и увеличению коэффициента технической готовности ОКГЭ на 9 %.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы: Основные выводы и рекомендации, разработанные в процессе исследования, рекомендуются к использованию на любом горном оборудовании. Разработанную модель оценки эффективности управления системой технического обслуживания и ремонта можно применить как на предприятиях горной промышленности, так и на любых предприятиях, занимающихся добычной, строительной деятельностью, а также эксплуатацией любого сложного оборудования.

Основные положения диссертации изложены в следующих публикациях:

Статьи в рецензируемых изданиях по перечню ВАК:

1. Мажибрада И. Экспертный анализ степени влияния факторов на возможность появления категории отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - №9. - С. 220-225.

2. Баранникова И. В., Мажибрада И. Алгоритм прогнозирования вероятности появления категории отказа гидравлической системы

одноковшового карьерного экскаватора. // Горное оборудование и электромеханика. - 2017, № 6. - С. 26–29.

3. Баранникова И. В., Мажибрада И. Прогнозирование отказов одноковшовых экскаваторов на основе методов искусственного интеллекта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2017. - №1. - С. 37-46.

В других изданиях:

4. Мажибрада И., Баранникова И. В., Бондаренко И. С. Анализ факторов, влияющих на возможность появления категории отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора// Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. Т.1: материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. - С.162-167

5. Мажибрада И. Использование методов искусственного интеллекта в системах технического обслуживания и ремонта карьерного оборудования // Новая наука: проблемы и перспективы: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (04 октября 2015 г, г. Стерлитамак). - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. - С. 111-115.

6. Баранникова И. В., Мажибрада И. Проблемы диагностики и предупреждения износа карьерного оборудования // Новая наука: проблемы и перспективы: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (29 сентября 2015 г, г. Стерлитамак). - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2015. - С. 106-110.

7. Баранникова И. В., Мажибрада И. Прогнозирование отказов одноковшовых экскаваторов на основе метода Сугэно // НОВАЯ НАУКА: ОТ ИДЕИ К РЕЗУЛЬТАТУ: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (29 мая 2016 г, г. Сургут). - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. - С. 184-188.

8. Могирева Е. С., Мажибрада И. Применение статистических методов в системах поддержки принятия решений// Научный вестник Московского государственного горного университета: МГГУ, 2013. - С.51-55.

Личный вклад соискателя в публикации постановка задачи, изучены условия, принципы работы ОКГЭ, его основных частей и проблемы отказа ГС ОКГЭ [5], определение и классификация технических, внешних факторов, а также текущих характеристик влияющих на возможность появления категории отказа гидравлической системы одноковшового карьерного гидравлического экскаватора [4], анализ существующих методов прогнозирования и оценки [6], результаты экспертного анализа, оценка взаимосвязи факторов и категорий отказов на основе экспертно-моделирующих процедур [1], построение функции принадлежности факторов и проектирование базы правил, построение механизма нечеткого вывода для прогнозирования возможности отказа ОКГЭ [3], применение метода Сугэно для оценки возможности отказа ОКГЭ [7], разработка блок-схемы модели, получение балльной оценки возможности появления категории отказа ГС ОКГЭ и анализ результатов [2].