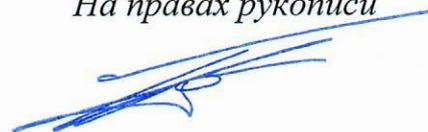


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»**

На правах рукописи



БАКУЛОВ Петр Андреевич

**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ
ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СФЕРЕ
ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ЛЕГКОВОГО АВТОТРАНСПОРТА**

Специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

ДИССЕРТАЦИЯ на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор В. М. Власов

Москва-2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Анализ систем поддержки пользователя в сфере обслуживания легкового автотранспорта.....	10
1.1. Система устранения неисправности частного легкового автомобиля.....	10
1.2. Изменение технического состояния автомобиля.....	12
1.3. Анализ и перспективы развития бортовых систем контроля и диагностики автомобилей.....	15
1.4. Экспертная система поддержки пользователей в сфере технического сервиса легкового автотранспорта.....	18
1.5. Анализ эффективности диагностики с применением экспертной системы.....	21
1.6. Выводы по главе 1.....	24
ГЛАВА 2. Построение экспертной системы диагностирования неисправностей легкового автомобиля.....	26
2.1. Формирование экспертной системы на основе косвенной диагностической информации.....	26
2.1.1. Общие предпосылки.....	26
2.1.2. Определение экспертной системы.....	26
2.2. Методика формирования экспертной системы на основе информации, полученной от экспертов с привлечением аппарата нечёткой логики.....	31
2.3. Методика формирования базы знаний системы на основе фактических данных о симптомах и неисправностях автомобилей разных марок и моделей.....	40
2.4. Математическая модель определения меры доверия к результатам диагностирования.....	41
2.5. Оптимизационные алгоритмы расчёта апостериорной вероятности возникновения неисправности.....	45
2.6. Выводы по главе 2.....	47
ГЛАВА 3. Извлечение знаний и обучение экспертной системы.....	50
3.1. Сбор и обработка экспертных данных в рамках формирования базы знаний экспертной системы.....	50
3.1.1. Статистическая обработка экспертных оценок.....	50
3.1.2. Зависимости вероятностей неисправностей автомобиля от пробега.....	54

3.2. Извлечение знаний из статистических данных.....	57
3.2.1. Построение ассоциативных правил для извлечения знаний из статистических данных	57
3.2.2. Поиск и исключение противоречий в базе знаний.....	60
3.2.3. Алгоритмы заполнения таблиц.....	61
3.3. Генерирование вопросов автовладельцу для установления диагноза экспертной системой	62
3.3.1. Структурная схема генерации вопросов.....	62
3.3.2. Сферы рассеивания гипотез в пространстве свидетельств	63
3.3.3. Объяснение решения экспертной системой.....	64
3.3.4. Пользовательский интерфейс	68
3.4. Выводы по главе 3.....	68
ГЛАВА 4. Администрирование экспертной системы и информационное взаимодействие между автовладельцем и СТО. Технико-экономическое обоснование разработанных решений.....	69
4.1. Порядок использования экспертной системы.....	69
4.1.1. Формирование лексически корректных вопросов.....	70
4.1.2. Программная реализация экспертной системы	73
4.1.3. Работа администратора-эксперта	74
4.2. Информационное взаимодействие между автовладельцем и СТО	79
4.3. Направления повышения эффективности при внедрении разработанных решений	81
4.4. Выводы по главе 4.....	82
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ	84
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	86
ПРИЛОЖЕНИЯ	100
Приложение А	100
Приложение Б.....	106
Приложение В.....	107

ВВЕДЕНИЕ

Анализируя уровень информатизации автомобильной отрасли сегодня, можно сделать вывод о перманентном увеличении количества электронных блоков и датчиков, направленных на облегчение процесса владения транспортным средством и индустрию развлечений на борту. Сегодня, практически каждый новый автомобиль – точка доступа в сеть «Internet», с помощью автомобильной мультимедиа можно серфить в браузере, смотреть фильмы, слушать подкасты, погружаться в игровой мир. Кроме того, мультимедийные системы призваны облегчить процесс использования автомобилем. Например, на последнем поколении Mercedes-Benz S-klasse W223 система мультимедиа использует искусственный интеллект и готова самостоятельно включить и направить лампы дополнительного освещения в салоне, если заметит, что пассажир наклонился и ищет что-то.

Актуальность темы на сегодняшний день не вызывает сомнений. Телематика на транспорте формирует огромные массивы данных. На территории РФ автомобилями к 2025 году будет собрано 333 миллиона гигабайт данных. К 2021 году 380 миллионов автомобилей в мире будут подключенными к той или иной телематической системе. Создание системы «Автодата», на базе которой планируется развитие всей автомобильной отрасли, или как сейчас принято говорить, всего рынка, подчеркивает необходимость развития информационных систем.

Мировые автопроизводители выделяют Российский рынок как отдельное направление. Изучив отраслевой опыт прошлых лет и проанализировав сегодняшний рынок, были сделаны важные выводы, ещё раз подчеркивающие актуальность проводимого исследования. Повышение эффективности технического обслуживания и текущего ремонта автотранспорта как научная задача ставилась ещё в 80-ые годы двадцатого века. В то время это было, в первую очередь, обусловлено высокой информационной загруженностью

процессов формирования заявки на ремонт, как на плановое ТО, так и на текущий ремонт.

Сегодня для официальных дилеров и независимых станций технического обслуживания проблема повышения пропускной способности СТО на всех стадиях технического обслуживания и ремонта автомобилей трансформировалась в проблему привлечения потенциальных пользователей и удержание уже существующих. Современные информационные технологии сегодня позволяют повысить эффективность взаимодействия автовладельцев с автосервисами через сеть интернет, повышая удобство записи на ТО и ремонт. Кроме того, с сегодняшним развитием математического аппарата нечеткой логики и теории свидетельств принципиально возможно построить систему, при помощи которой автовладелец может определить неисправность по её внешним проявлениям без обращения на СТО. Результаты взаимодействия автовладельца с такой экспертной системой могут использоваться станциями технического обслуживания для автоматизированного формирования заказ-наряда, в пределе исключая мастера-приемщика.

Таким образом, практической новизной данной работы является высоко автоматизированный процесс формирования заказ-наряда, использование современных каналов информационного взаимодействия с клиентом и предоставление услуги независимой экспертизы по диагностике определенной группы неисправностей автомобиля.

Данная работа направлена на создание методологических основ построения экспертной системы, позволяющей с одной стороны, снизить стоимость ремонта для автовладельца, а с другой стороны повысить эффективность загрузки СТО благодаря наличию предварительной информации о внешних проявлениях неисправности, сформированной автовладельцем в режиме удалённого взаимодействия с экспертной системой.

Степень разработанности. Несмотря на актуальность темы, на сегодняшний день степень её разработанности находится на начальной стадии, поскольку, в дополнение к математическим методам исследования,

современные методы информатики и телематики предлагают принципиально новые возможности, в частности используя инструментарий «интернета вещей» и «больших данных». Единое цифровое пространство позволяет осуществлять оперативное взаимодействие автовладельцев и станций технического обслуживания в различных ситуациях и на разных стадиях технологического процесса – сбор симптомов неисправностей, формирование заявки на ремонт, возможность контроля выполнения производимых работ и обратная связь.

Объектом исследования является процесс формирования базы знаний и извлечение из этой базы информации в рамках экспертной системы о вероятных неисправностях автомобилей различных моделей и комплектаций.

Предметом исследования является экспертная система, хранящая в своей базе знаний зависимости вероятности возникновения неисправности от набора косвенных признаков, выявляемых водителем органолептически.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является снижение стоимости ремонта (при поддержании заданного уровня надежности) для автовладельца и повышение эффективности загрузки СТО благодаря наличию предварительной информации о внешних проявлениях неисправности, сформированной автовладельцем в режиме удалённого взаимодействия с экспертной системой. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Обзор современных подходов к диагностике автомобиля и вариантов автоматизированного диагностирования неисправностей с использованием возможностей экспертных систем.

2. Создание модели формирования базы знаний, используемой для определения множества возможных неисправностей.

3. Создание модели вычисления вероятностей возникновения неисправностей агрегатов и узлов автомобиля.

4. Разработка технологии сбора и обработки данных о симптомах и предварительных диагнозах. Идентификация разработанных моделей и алгоритмов диагностирования.

5. Разработка методики формирования вопросов для автовладельца, на основе которых рассчитывается прогнозный перечень вероятных неисправностей его автомобиля.

6. Разработка информационного модуля опроса автовладельца и автоматизированного формирования заказ-наряда.

Научная новизна. Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 9, 13, 15 паспорта специальности 05.22.10 и заключается в разработке:

1. Информационной модели «единица диагностирования», включающей в себя взаимодействующие с объектом диагностики информационные множества, необходимые для повышения достоверности результата диагностики.

2. Аналитической модели определения меры доверия к результатам диагностирования на основе математического аппарата теории нечетких множеств.

3. Оптимизационных алгоритмов расчёта апостериорной вероятности возникновения неисправности и впервые примененного в данной тематике алгоритма Мамдани.

4. Методики наполнения экспертной системы данными о неисправностях и их симптомах, реализованной в специальном мобильном приложении.

Теоретическая и практическая значимость работы. Подходы к автоматизированному диагностированию некоторых неисправностей на основе разработанных алгоритмов и методики формирования базы знаний экспертной системы показали применимость математического аппарата нечеткой логики и теории свидетельств для их использования при диагностировании неисправностей автомобиля. Выполненная научная работа позволила создать полнофункциональный прототип экспертной системы в с интерфейсом пользователя виде мобильного приложения «GuruDrive» под платформами «Android» и «iOS».

Степень достоверности и апробация результатов. Результаты исследований доложены и обсуждены на научно-методических и научно-

исследовательских конференциях Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, 2013, 2014, 2015 гг.; V международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте», ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орёл, 2019 г.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием стандартных подходов к сбору и обработке статистической информации, опросу и обработке данных, полученных от экспертов, а также использованием математического аппарата нечеткой логики в целом и алгоритма Мамдани в частности для определения множества достоверных неисправностей автомобиля.

Результаты работы были использованы в деятельности станции технического обслуживания «Larson». Были достигнуты существенные улучшения показателей работы предприятия. Оптимизация записи на сервис и сокращение временных потерь в процессе формирования заявки на ремонт привели к увеличению загрузки каждого поста слесарного цеха в среднем на 1.9 н/ч в смену. Кроме того, показатель лояльности клиентом (по системе NPS) в среднем вырос с 8.24 до 9.92.

Методология и методы исследования. Составной частью исследования являлась разработка методики исследования, которая включает в себя анализ актуальности направления исследования и степени ее разработанности, теоретическую часть разработки и адаптации математического аппарата, разработку методики формирования базы знаний экспертной системы. Методы исследования включали сбор статистической информации по неисправностям автомобилей марки «Вольво», работу с экспертными оценками при определении итогового вида функции принадлежности симптома к диагнозу, разработку информационных моделей и алгоритмов нечеткого вывода для определения множества вероятных диагнозов на базе разработанного математического аппарата, а также проверку сформированных правил

нечеткого вывода на реальной информации о симптомах и неисправностях автомобилей.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатные работы, получено четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из 4 глав, основных выводов и результатов работы, а так же библиографического списка из 161 наименований. Объем работы: 111 страниц печатного текста, 35 рисунков, 10 таблиц.

ГЛАВА 1.

АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В СФЕРЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОТРАНСПОРТА

1.1. Система устранения неисправности частного легкового автомобиля

Автомобильный рынок бесконечно расширяется. С каждым днём увеличивается количество автомобилей, развиваются новые технологии, модернизируется конструкция автомобиля и технологии его производства.

В высококонкурентном мире послепродажного обслуживания (автомобильный сервис) присутствуют существенные зоны роста. Препятствием дальнейшему развитию является человеческий фактор. Нехватка должных компетенций у сотрудников сервисной станции, как дилерской, так и независимой, являет собой не редкий случай. Это приводит к некачественному ремонту автомобиля, а главное, к недовольству клиента. Именно клиент – главный ориентир работы в данной сфере. Клиент – это физическое или юридическое лицо, приобретающее для своих собственных нужд легковой автотранспорт. Порой (достаточно часто) эти нужды шире, чем просто перемещение из точки А в точку Б. Сегодня клиент желает видеть в собственном автомобиле не просто средство передвижения, а нечто большее – предмет гордости, статуса, роскоши. В процессе обслуживания предмета своей гордости, клиенту хочется видеть должное качество. Понятие качества, безусловно, шире, чем просто грамотно выполненные регламентные работы по ТО и ТР. Каждому хочется тратить меньше времени в ожидании приемки автомобиля. Каждому хочется при наступлении вопроса, связанного с обслуживанием автомобиля, решать его в максимально короткие сроки – то есть немедленно. Каждый человек (клиент) хочет видеть на СТО удовлетворение своих потребностей. Качественный ремонт, моментальное исполнение, отличная консультация. Основой всему перечисленному является информация. Каждый клиент хочет обладать информацией – качественной,

грамотной, корректной и чем ее больше, тем лучше. В постиндустриальном обществе информация – главный ресурс.

Кроме того, не стоит забывать и про ошибочные предположения до проведения компетентной диагностики автомобиля. Некоторые водители совершают серьезную ошибку, делая диагноз самостоятельно. Они приступают к ремонту, не осознавая того, что впустую тратят время и силы. После некомпетентного ремонта часто появляются новые неисправности.

Проведение компьютерной диагностики сегодня позволяет мгновенно отыскать практически любые поломки. Поэтому, зачастую её проводят при любом посещении сервиса. Профессиональное оборудование сегодня в достатке, а станций хватает, поэтому услуги стали доступными всем автомобилистам. Тем не менее, распознать поломку различных узлов непросто, а значит, без необходимых данных обойтись не всегда реально.

Всё это касается того случая, когда произошла поломка или выход из строя какого-либо узла или агрегата автомобиля и водитель уже не имеет выбора и должен привести свой транспорт на диагностирование в условиях СТО.

При консультации водителя по вопросам, связанных с определенными неисправностями автомобиля с мастером-приемщиком СТО, последний будет производить консультацию таким образом, чтобы мотивировать потенциального клиента к обязательному приезду в сервис.

Далее, при приезде на СТО в процессе диагностирования определенной неисправности, существует посредник между автовладельцем и диагностом СТО в лице мастера-приемщика, который в силу, тех или иных обстоятельств, потенциально может исказить описание признаков неисправности.

Существующая схема последовательности выявления и устранения неисправности частного автомобиля приведена на рис. 1.1, на которой видны места потери и искажения информации.

На приведенной схеме явно видно, что потеря и искажение информации происходит в первом звене – водитель, при восприятии неисправности и, в силу

отсутствия возможности напрямую передать информацию эксперту-диагносту; вторым звеном является – мастер-приёмщик, искажающий информацию при описании неисправности в заказ-наряде, которую мог бы передать автовладелец напрямую эксперту.



Рисунок 1.1 – Существующая схема последовательности выявления и устранения неисправности частного автомобиля

Также, исходя из рис. 1.1 следует, что отсутствие взаимосвязи автомобиля и СТО, т.е. информации о техническом состоянии транспортного средства, приводит к искажению результатов диагностирования.

Кроме того, существует вероятность некомпетентной диагностики, например, когда мастером-консультантом не будет рекомендовано автовладельцу воспользоваться эвакуатором. Вследствие чего из возможного предотказного состояния узел может перейти в состояние полного выхода из строя или затронуть соседние/сопряженные узлы и агрегаты транспортного средства.

Опираясь на вышесказанное, можно принять, что у водителя имеется недостаток информации и рекомендаций в диагностике неисправности автомобиля.

1.2. Изменение технического состояния автомобиля

Оценка технического состояния автомобиля и выявление неисправностей называется диагностикой. От качества проведения проверки неисправностей зависит и объем авторемонтных работ, и затраты на его осуществление. В

соответствии от характера проведения выделяют следующие виды диагностики [17, 100, 110]:

- поиск неисправностей по внешним признакам (косвенная диагностика);
- технический поиск неисправностей (прямая диагностика).

Автомобилист, имеющий знания об устройстве автомобиля, может самостоятельно провести поиск неисправностей по внешним признакам. Особенно это важно, если вы состоите в пути и до ближайшей автомастерской множество километров.

Технический поиск неисправностей требует узконаправленных знаний и квалификации, а также применения различных устройств диагностирования. По этим факторам технический поиск неисправностей проводится, в основном, в специализированных сервисных центрах. Главный метод относящийся к техническому поиску неисправностей является компьютерная диагностика.

На самом деле любой автовладелец, опираясь на органы чувств, является первичным звеном автомобильной диагностики. В процессе движения водитель обращает внимание на посторонние звуки, контрольные лампы на приборной панели, сообщения от бортового компьютера. Фактически любая неисправность, связанная с движением автомобиля (будь то эффективность торможения, аспекты плавности хода или, например, посторонний звук на неровностях), начинается с симптомов, которые неизменно «регистрирует» автовладелец.

Анализ неисправности подразумевает следующие шаги [13, 14]:

- сбор симптомов неисправности;
- первичный опрос очевидца (автовладельца);
- формирование первичной заявки на ремонт;
- далее – в условиях сервиса – работа диагноста.

Как правило, любая неисправность начинается с небольшого симптома и постепенно прогрессирует. Во многих случаях своевременное проведение процедуры регулярного технического обслуживания помогает избежать неисправностей автомобиля. Тем не менее, современная практика технического

обслуживания и текущего ремонта автомобилей пытается найти гармонию между двумя классическими ошибками – заменой исправной детали (с невыработанной в достаточной степени наработкой на отказ) и заменой детали после отказа (когда транспортное средство вынуждено прекратить эксплуатацию). По сути, в обоих случаях наблюдается дискомфорт для автовладельца. В первом варианте – избыточный расход денежных средств, а во втором трата на транспортировку сломанного автомобиля, потеря времени, нервотрепка от внештатной ситуации.

Органолептически автовладелец определяет симптомы неисправностей, используя следующие органы чувств по отдельности, так и совокупности симптомов различных проявлений. Например, стук спереди при проезде мелких неровностей может сопровождаться гулом в движении, а может вибрацией на холостом ходу или все вышеперечисленные симптомы могут проявляться одновременно.

Стоит отметить, что не только одна неисправность может скрываться за несколькими симптомами, но и несколько неисправностей могут породить один симптом. Например симптом «горит check engine» может быть спровоцирован целой группой неисправностей, возникших одновременно цепной реакцией или нарастающим итогом.

Важно, что при появлении тех или иных симптомов неисправностей, автовладелец должен иметь достоверную информацию о возможности безопасного продолжения движения. Неверная рекомендация здесь может привести к дополнительным расходам или возникновению опасных ситуаций.

Для проведения работы с симптомами неисправностей для начала необходимо максимально четко сформировать список всех возможных симптомов. Нужно понимать, что рядовой пользователь современного автомобиля может не обладать технической грамотностью, поэтому важнейшая оптимизационная задача в борьбе за компетентную помощь – упрощение.

Список возможных симптомов структурирован. Отдельно выделяются текстовые сообщения бортового компьютера, так как в этом случае симптом

неисправности сформирован точно и так же точно может быть идентифицирован.

Далее – для каждого органа чувств автовладельца существуют свои признаки симптомов неисправности. Осязание потребуется для выявления вибраций различного рода. Обоняние поможет определить утечки и возгорания. За визуальную идентификацию симптомов неисправностей отвечает зрение. Гул, стук, свист и другие звуки – работа для слуховой системы человека.

Существуют так же и показатели, которые могут быть доступны на приборной панели автомобиля и могут помочь в диагностике. Например, скорость, обороты двигателя, температура окружающей среды, температура двигателя (охлаждающей жидкости или как его ещё нередко называют – «антифриза») и др.

Тем не менее, на сегодняшний день мировые автопроизводители в процессе диагностики во главе угла ставят именно симптом неисправности. Симптомы формализуются, им присваиваются уникальные коды в технической документации, по ним группируют неисправности. Согласно системе обмена данных для инженеров компании Volvo (легковые автомобили) диагностика начинается с симптома (код клиентского симптома из соответствующей номенклатуры) и симптомом заканчивается (отсутствие неисправности после ремонта верифицировано при клиенте).

Классически, методы поиска неисправности выглядят следующим образом. (Приложение Б, рис. Б.1). При этом все эти методы – лишь часть диагностического процесса. Ни одно измерение само по себе не в состоянии сказать о причине возникновения неисправности ничего.

1.3. Анализ и перспективы развития бортовых систем контроля и диагностики автомобилей

Бортовые системы контроля и диагностики являются частью ИТС. Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – понятие не новое. Так, например, один из мировых лидеров, задающих тренды в научных

исследованиях и формирующих стандарты в отрасли – компания ERTICO – основана в 1992 году. Созданная по инициативе Европейской комиссии, министерств транспорта и европейской промышленности, ERTICO сегодня играет важную роль в разработке широкого спектра телематики, в том числе продвинутых систем помощи водителю и бортовых систем контроля и диагностики транспортных средств. В России у истоков ИТС стояла кафедра «Транспортной телематики» Московского Автомобильно-Дорожного Государственного Технического Университета (МАДИ) под руководством заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Власова В. М. [35, 57].

Сегодня практически каждый современный автомобиль оснащен навигационной системой (ГЛОНАСС, GPS). Навигацию, кстати, активно используют и сами автовладельцы, посредством мобильных приложений, установленных на смартфонах. Кроме того, с 2010 года в России начался процесс, в рамках которого на все новые автомобили должна предустановлена система безопасности и экстренного реагирования ЭРА-ГЛОНАСС. Сегодня на территории нашей страны не может быть реализовано ни одного нового автомобиля без этой телематической системы.

Тем не менее, по мере развития технологий в автомобильном транспорте, бортовые системы современных автомобилей неизменно усложняются. Это делает технически невозможным применение сторонних систем бортовой диагностики, которые могли использоваться в прошлом. Кроме того, изменился и подход автовладельцев. Всё меньше клиентов дилерских и сервисных центров желают устанавливать на новые автомобили сложные технические устройства сторонних производителей, желание пользователя упростить владение автомобилем очевидно.

Примерно с конца 2016 года многие автопроизводители стали комплектовать базовые комплектации своих автомобилей опциями интеграции смартфона пользователя с автомобилем – Apple Carplay и Android Auto. Однако, разработанные вместе с ведущими производителями операционных

систем современных мобильных устройств, опции направлены не на бортовой контроль и диагностику, а на инфотеймент – сочетание развлечений и полезных функций вроде навигации и голосового поиска.

Ближе к концу 2018 года активное развитие получило соединение автомобиля и смартфона владельца посредством сети интернет. Сегодня заводские мобильные приложения есть у многих автопроизводителей, таких как Volvo, Mercedes-Benz, Land Rover, Jaguar, Audi, Volkswagen, BMW, Hyundai и Tesla. Тем не менее и это соединение не направлено на бортовую диагностику. В большинстве случаев в стандартный функционал подобных приложений входит определение местоположения автомобиля, возможность его открытия/закрытия, отправка навигационного маршрута, исследования журнала поездок и функция прекондиционирования (зачастую, реализованная посредством удалённого запуска двигателя).

Таким образом, на сегодняшний день функции бортовой системы контроля и диагностики полностью возложены на заводские компоненты автомобиля и их программное обеспечение.

Для оперативной оценки технического состояния автомобилей перспективным является использование телематических систем.

Самым эффективным применением таких систем можно реализовать в автотранспортных организациях, при этом сокращается время на технический контроль автотранспорта, гарантируется оперативность контроля состояния и причин неисправностей, уменьшаются эпизоды эксплуатации неисправных транспортных средств [22]. Такая система принесет экономическую выгоду и частному автовладельцу, и СТО.

Рассмотрим этапы развития средств и методов диагностирования. Для этого, развитие систем, возможности и методы технического диагностирования изобразим в виде данной схемы (Приложение Б, рис. Б.2).

Рассмотрим тенденции развития информационных и бортовых систем диагностирования узлов и агрегатов автомобильного транспорта.

Так, в работе [100] приведен принцип работы бортовых систем контроля автомобиля. Автовладелец, благодаря прогнозирующим идентификационным моделям принимает решение, связанное с корректировкой эксплуатационного режима транспортного средства.

В работе [67], поиск неисправностей узлов транспортного средства производят на основе теории распознавания образов.

При помощи вероятностных оценок, в работе [69] разработан алгоритм постановки диагноза в сложной технической системе.

В работах [34, 35, 37] на основе вероятностно-логической модели поиска неисправностей определяют техническое состояние и строят систему диагностирования дизелей.

Так же изучен виброакустический метод диагностирования.

Среди множества различных способов и методов диагностирования неисправностей при поиске неисправностей технических систем, в работах [45, 47, 67, 104] можно предположить, что одним из передовых методов диагностирования транспортных средств является применение искусственных когнитивных систем с использованием математической модели.

Применить в практике вышеупомянутые системы поиска неисправностей можно на основе соответствующих интеллектуальных систем.

Как известно, основой создания интеллектуальных систем являются принципы машинного обучения.

1.4. Экспертная система поддержки пользователей в сфере технического сервиса легкового автотранспорта.

Из проведенного анализа можно заключить следующее:

- индикация на приборной панели происходит в момент регистрации симптома неисправности бортовыми системами контроля и диагностики;
- при регистрации симптома неисправности некоторые функции работы могут быть ограничены заводскими системами безопасности автомобиля;

- индикация владельцу не даёт информацию о том что именно произошло и можно ли продолжать движение, что косвенно может привести к более серьёзному ремонту;
- запрос пользователя на упрощение и оптимизацию процесса владения транспортным средством является современной тенденцией автомобильного рынка.

Из анализа номенклатуры контролируемых и отображаемых параметров технического состояния автомобиля можно сделать вывод, что бортовые диагностические компьютеры всего лишь соответствуют общепринятым теоретическим рекомендациям, которые предъявляются к мобильным диагностическим системам для автотранспорта. Причем, такие системы диагностики ограничены только функциями контроля и индикации текущего состояния узлов и агрегатов, и поэтому такие системы можно отнести к контрольно-измерительным программируемым автоматам.

Водитель способен оказать влияние на безопасность и сохранность элементов автомобиля, обладая должной информацией. Например, движение при появлении симптома неисправности «гул при движении сзади» продолжительное время может привести к полному разрушению ступицы колеса и выходу из строя датчика антиблокировочной системы. Продолжение движения в этот момент – угроза для тормозного механизма колеса и самого колеса. Всего этого можно избежать, имея достаточную консультацию. Таким образом, стоит заложить идею построения системы поддержки пользователей.

Кроме того, в качестве одной из причин возникновения дорожно-транспортных происшествий в России неизменно фигурирует «неисправность транспортного средства». Конечно, налицо и халатность пользователей, однако, должное информирование о возможной опасности могло бы оказать существенное влияние на принятие решения о продолжении движения.

Как было отмечено выше, в части применения телематических подсистем, позволяющих получить доступ к информационной системе автомобиля, автопроизводителями развиваются два направления:

информационный обмен с автомобилем владельца и информационный обмен с автомобилем станции технического обслуживания. Однако оба указанных направления исключают пласт информационных сервисов «СТО-автовладелец» как для случая организации регламентных работ по техническому обслуживанию автомобиля, так и при организации и выполнении внепланового ремонта.

Набор информационных сервисов взаимодействия автовладельца и СТО, объединённый в единую программную реализацию, позволяет эффективно решать две прикладные задачи:

- запись на техническое обслуживание и ремонт в автоматизированном режиме;
- автоматическое определение причины возникновения вероятных неисправностей.

Правильное определение причины возникновения вероятной неисправности – важнейшая задача, которая помогает найти гармонию между риском внезапного отказа на дороге и риском преждевременного ремонта (или замены) узла и агрегата. Кроме того, автоматизированное формирование записи существенно экономит рабочее время мастеров-консультантов и позволяет осуществить визит в сервис в максимально комфортное для автовладельца время.

Подобная программная реализация (набор информационных сервисов – информационная система) призвана помочь автовладельцу принять правильное решение касательно конкретного симптома неисправности – неисправности. Обладая информацией о возможных причинах возникновения неисправности и о том, какие сервисные воздействия необходимы (можно ли самостоятельно проследовать до СТО или нужен эвакуатор, возможно ли устранение неисправности в ходе проведения работ на ближайшем регулярном техническом обслуживании или необходимо спланировать отдельный визит в сервис) пользователь сможет избежать рисков усугубления ситуации вследствие непринятия правильного компетентного решения.

В результате выполненного анализа (п. 1.1) определена последовательность мероприятий по устранению неисправности автомобиля, начиная с выявления признаков неисправности автовладельцем, заканчивая диагностированием неисправности в условиях СТО и найдены «узкие» места сложившегося организационного процесса (рис. 1.2).

Систем поддержки пользователей в сфере технического сервиса легкового автотранспорта с такими характеристиками в настоящее время не существует, а их возможности, даже, теоретически не исследованы. Подобные системы, ориентированные на широкое применение в процессе эксплуатации частного легкового автотранспорта до настоящего времени предложены не были [12].

Потеря информации в процессе формирования заявки на ремонт:

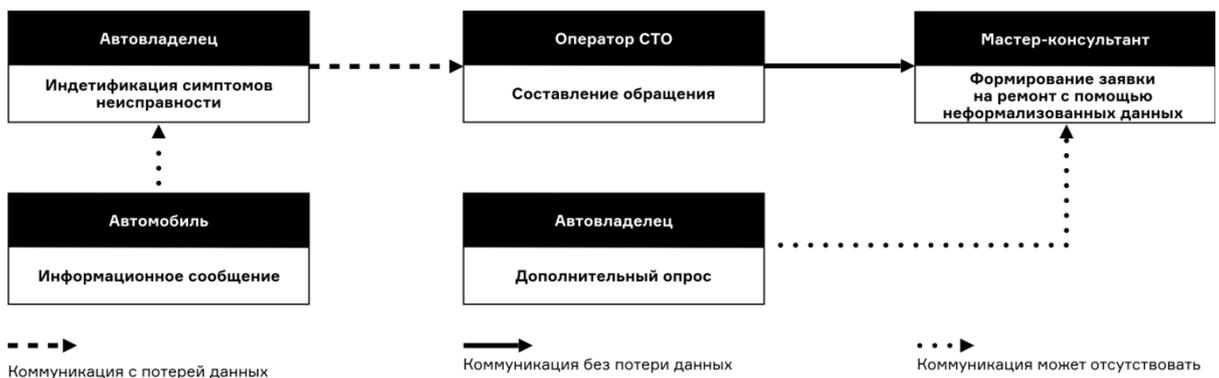


Рисунок 1.2 – Проблемные места в последовательности выявления и устранения неисправности частного легкового автомобиля и пути её совершенствования

1.5. Анализ эффективности диагностики с применением экспертной системы

Известно, что [14, 41, 42, 43, 55, 74, 84, 114, 116, 117, 160, 161] системы искусственного интеллекта (СИИ) представляют собой определенные комплексы программных, лингвистических и логико-математических средств направленных на реализацию поддержки деятельности человека.

Как видно из рисунка (Приложение В, рис. В.1), база знаний (БЗ) состоит из двух основных подбаз – базы данных (БД) и базы правил (БП).

При организации структуры для БЗ, которая приведена в Приложении В на рис. В.2. При этом обеспечивается рациональная реализация механизма вывода решений.

В Приложении В на рис. В.3 приведен фрагмент, показывающий основные модули системы.

Варианты структурной и функциональной организации основных компонентов системы представлены в Приложении В на рис. В.4.

Основой СИИ выступает экспертная система [31, 32, 70, 84, 114, 117]. ЭС (expert system) (Приложение В, рис. В.5) – компьютерная программа, которая частично и/или полностью способна заменить мастера-консультанта станции технического обслуживания в момент возникновения симптома неисправности.

Основные компоненты ЭС можно привести в виде схемы, которая приведена на рис. 1.3.

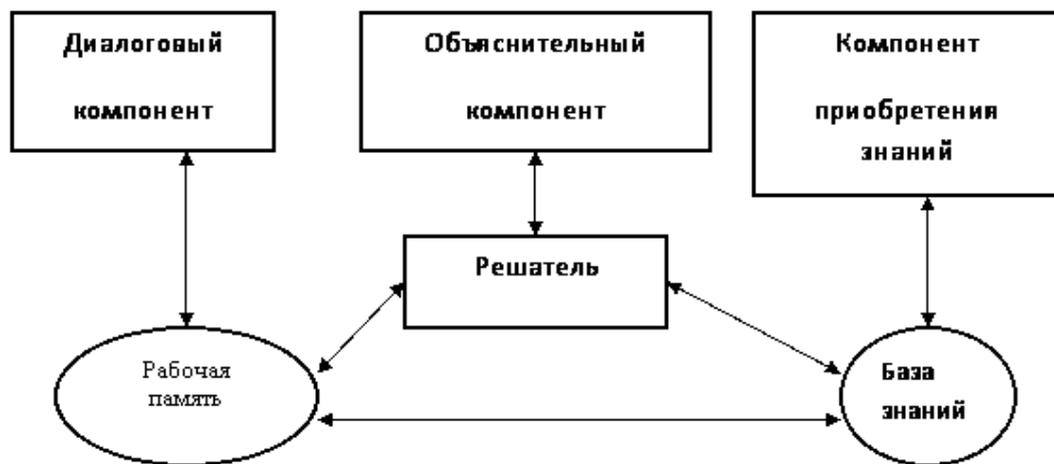


Рисунок 1.3 – Основные компоненты ЭС

На основании [31, 32, 33, 38, 47, 70, 76, 78, 81-83, 109, 113] можно произвести классификацию ЭС, структура которых приведена в Приложении В, рис. В.6.

Процесс построения ЭС (Приложение В, рис. В.7) и технологию разработки (Приложение В, рис. В.8) часто называют инженерией знаний [31, 32, 33, 38, 47, 70, 76, 78, 109, 113].

Для формализации нечетких знаний, то есть с лингвистической неопределенностью, применяется теория нечетких или расплывчатых множеств. Основы теории нечетких множеств были созданы в 1965 году Л.А. Заде (США) [134-143, 150].

Все множество описаний пользовательских симптомов, известных и пока еще не известных, необходимо привести в формальный вид для обработки компьютерной программой. Теория нечетких множеств в комбинации теория свидетельств позволяет сделать это наиболее удобным и гибким способом.

За время использования транспортного средства, техническое состояние агрегатов всегда изменяется в негативную сторону. Для того чтобы определить техническое состояние систем применяют многие способы, на базе теории информации или теории надежности. Так необходимы четкие и полные информации о агрегатах. Но при поиске неисправностей есть пределы между состоянием отказов и неотказов. Эти значения являются случайными и неопределенными. Так применение нечеткой теории логики для контроля технического состояния являются оптимальным методом.

Отличительная особенность СИИ – возможность справляться с задачами, в явном виде не представленными в БЗ. Для решения подобных задач ИС необходимо обучить декомпозиции этих новых сложных задач на более простые, решение которых уже известно.

СИИ предоставляют пользователю некий универсальный нелинейный элемент с возможностью широкого изменения и настройки его характеристик – это главное достоинство [24-26, 55, 56]. Располагая конструктором из таких элементов и соединяя их, пользователь как получает возможность широкого изменения ее характеристик, так и может не вникать в процессы, происходящие в ней.

Подытоживая вышеприведенное, можно составить блок-схему, которая демонстрирует наиболее полное множество вариантов использования из существующих для создания экспертной системы диагностирования неисправностей на основе показаний автовладельца и дополнительных вопросов

(рис. 1.4). Дальнейшая работа основывается на правилах нечеткого вывода (где основными этапами являются фазификация, аккумулярование подусловий, аккумулярование заключений, дефазификация) и теории свидетельств [28, 52, 53].



Рисунок 1.4 – Блок-схема БЗ планируемой ЭС

1.6. Выводы по главе 1

В части применения телематических подсистем, позволяющих получить доступ к информационной системе автомобиля, автопроизводителями развиваются два направления: информационный обмен с автомобилем владельца и информационный обмен со станцией технического обслуживания (СТО). Однако оба указанных направления исключают пласт информационных сервисов «СТО-автовладелец» как для случая организации регламентных работ по техническому обслуживанию автомобиля, так и при организации и выполнении внепланового ремонта.

В результате выполненного анализа определена последовательность мероприятий по устранению неисправности автомобиля, начиная с выявления признаков неисправности автовладельцем, заканчивая диагностированием неисправности в условиях СТО и найдены «узкие» места сложившегося организационного процесса.

Проведённый обзор существующих информационных систем косвенного диагностирования неисправностей автомобиля и современные тенденции развития таких систем позволяют сделать вывод о том, что в пределе диагностирование неисправностей автомобиля входит в функции бортовой электроники автомобиля, исключая при этом автовладельца из информационного обмена. Однако указанные функции самодиагностирования неисправностей автомобиля не будут покрывать всё множество возможных неисправностей в силу дороговизны автоматического определения некоторых из них.

Выполнен обзор математических методов формализованного вывода знаний с использованием математического аппарата экспертных систем и исследованы реализации систем косвенного определения диагноза. Также проведён анализ экспертных систем как инструмента определения множества неисправностей. Определены классификационные признаки разработанной экспертной системы и основные направления её реализации. В частности, выбраны методы формализации знаний и решающие алгоритмы. Выбрано подмножество алгоритмов обучения экспертной системы в виде нейронной сети на основе данных заказ-нарядов.

В результате проведённых исследований актуальности состояния вопроса и подходов к решению задачи автоматизированного определения множества вероятных неисправностей, были сделаны выводы о незначительном объёме работ, посвящённых автоматизации процесса постановки диагноза автовладельцем, являющегося первичным источником информации о симптомах возникшей неисправности.

обработки информации о неисправностях автомобиля. С точки зрения методологии, вопрос об автоматизации обработки информации где-либо (чего-либо) не нов, а содержание неисправностей автомобиля может быть раскрыто на различных уровнях, в различных аспектах, с произвольной глубиной детализации.

Сбор и обработка информации о неисправностях автомобиля производятся специалистом (экспертом); поиск решений для неисправностей требует специальных познаний в области автомобильной техники и эксплуатации.

Для решения задач диагностики должен присутствовать эксперт, который будет исследовать некоторый набор вопросов с использованием автоматизированной системы, обрабатывающей специальные знания. Схема, иллюстрирующая такой вывод, представлена на рис. 2.2.

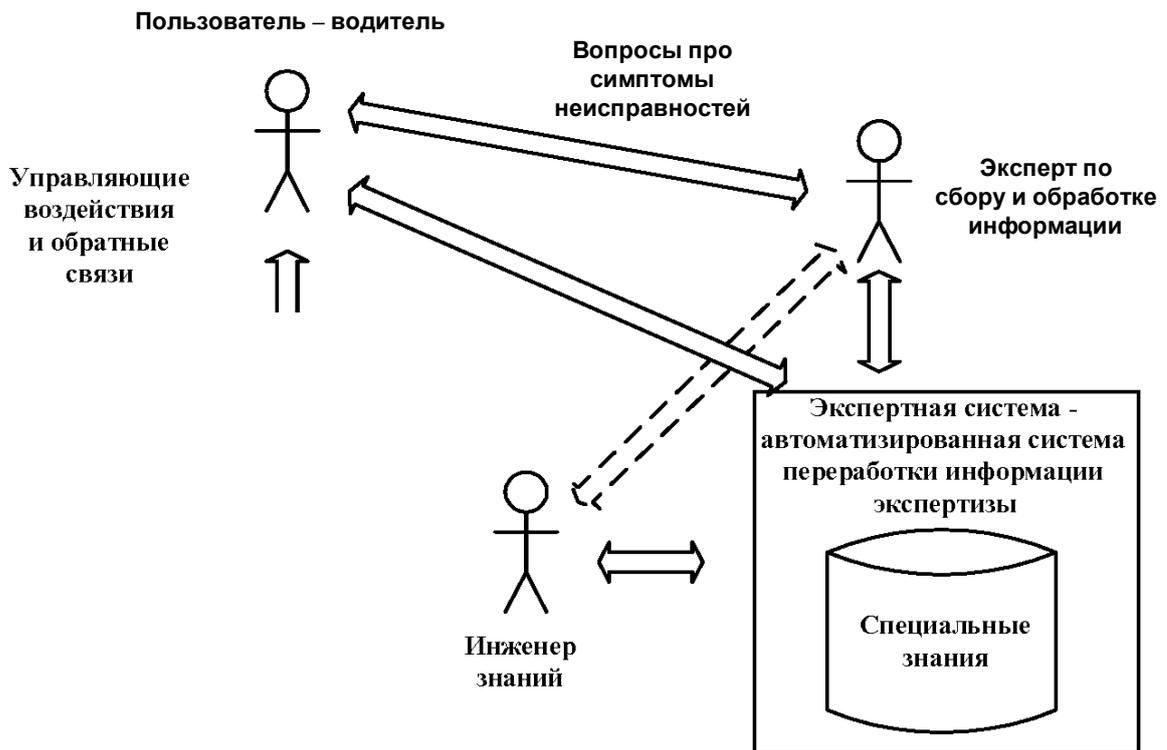


Рисунок 2.2 – Взаимодействие пользователей с экспертами

Основной функцией ЭС является экспертиза, которая рассматривается как исследование. При этом рассуждения сводятся к определению содержания, объектов, методов исследования и т.д.

Следует отметить, что во всех известных приложениях ЭС являются пассивными «исследователя-заменителями». Поэтому ЭС для решения диагностических задач следует трактовать как некоторую справочную систему. Другими словами, экспертиза как ограниченное или «пассивное» исследование есть не что иное, как справочная функция автоматизированной системы.

Справочная функция, являющаяся результатом вывода информации на запрос пользователя-водителя, реализуется как технология информационного поиска в базе данных некоторого факта свидетельства неисправности автомобиля или их группы. Из основных методических положений [99] следует выделить разделение справочной функции на две разновидности, которые строятся на множестве фактов свидетельств неисправностей автомобиля и на множестве документов, которые подтверждают неисправности автомобиля.

Характерные функции обучения:

- «аудиторный» – ЭС выступает в роли «учителя», передающего пользователям имеющиеся знания в соответствии с некоторой методикой;
- «подсказки» – ЭС сообщает пользователю возможные последующие действия, тем самым оказывает ему помощь в возникших затруднениях;
- «контроля (тестирования)» – ЭС фиксирует состояние знаний пользователя.

В связи с вышеописанным, проектируемую ЭС правомерно определить, как некую обучающую систему, отвечающую и задающую вопросы автолюбителю.

Функция планирования действий является необходимой, так как само чередование или объединение уже перечисленных функций требует определенного сложно формализуемого интеллекта от автоматизированной системы. Под чередованием следует понимать перебор функций в зависимости от наличия знаний в ЭС, а единение заключается в объединении выводов, полученных при выполнении функции обучения и функции объяснения с целью накопления знаний в ЭС.

Существуют варианты, когда у пользователя-водителя отсутствуют знания по возникшей неисправности автомобиля и наоборот – присутствуют. Тогда, в первом случае, пользователь-водитель обращается к ЭС за результатом, а во втором – обращается к ЭС с целью ускорения процесса получения результата или возложения на неё рутинной работы. ЭС не столько исполняет предписанную последовательность операции, сколько предварительно формирует ее.

Также необходимо выбрать информационно-программные подходы с набором имеющихся и необходимых компонентов для ЭС. При этом во всех случаях системность является важнейшим принципом, а выбор того или иного решения определяется на основе множества целей и их составных частей. Каждый из компонентов реализует некоторые функции или набор функций. Объединение функций в модуле должно быть таким, чтобы наибольшее количество функций оказалось полезными. Если посмотреть на состав компонент, входящих в различные ЭС [40, 136], то можно отметить среди них те, которые составляют их основу, являются как бы «ядром» ЭС. Такими компонентами являются: программные средства, реализующие расчетно-логические функции (расчет вероятности и вывод информации); наборы программ для поддержки принятия решений; системы по управлению данными; диалоговые системы взаимодействия с пользователем.

Процесс нахождения опыта делят на фазы [66, 75, 85, 109, 145, 149]: идентификацию, концептуализацию, формализацию, реализацию, испытания и реструктуризацию. Эти фазы лишь приблизительно отражают ход извлечения опыта, который в каждом из конкретных примеров может иметь различный вид.

Фаза идентификации служит для выявления характеристики задачи путем выполнения следующих операций: выявление, идентификация, определение участников и их ролей. Например, ЭС обращается в БЗ за наличием информации о марке, модели автомобиля, уточняет наличие информации о неисправности на определенном пробеге автомобиля, решает задачу о

необходимости привлечения экспертов для выполнения поставленных целей, а также привлекает и самого пользователя-водителя через его интервьюирование.

В ходе концептуализации специалисты по предметной области и инженер знаний (специалист, умеющий корректно переводить неформализованные данные и правила вывода по предметной области в формат, пригодный для алгоритмов нечеткого вывода и теории свидетельств) выявляют основные понятия, для описания процесса решения задач в определенной предметной области.

В ходе реализации извлечения знаний инженер знаний совмещает и структурированный опыт, добиваясь совместимости информационных потоков задачи и имеющихся знаний.

В ходе проведения испытания производится просмотр знаний и их оценка. Целью данной работы является интерпретация данных в соответствии с принятым стандартом. Стандарт определяется экспертами предметной области.

Процедура предъявления знаний в ЭС выполняется при взаимодействии с пользователями, не являющимися специалистами в области, которые сталкиваются с реальными задачами. В процессе этого взаимодействия пользователь инициирует вывод отсутствующих у него знаний, которые есть в ЭС. ЭС является как бы интеллектуальным помощником: воспринимает сообщения от пользователей как знание о возможных путях решения. Формализует их и накапливает такую информацию.

Данную процедуру можно разложить на несколько операций: прием сообщения, анализ сообщения, формализация, выдача знаний из ЭС.

При приеме и анализе сообщений и требований пользователей определяются характеристики задачи и соответствие их характеристикам задач, по которым в системе накоплены знания. Кроме этого, определяются возможности выполнения требований пользователя.

Операция выдачи «порции» знаний связана с реализацией поиска в базе знаний, с оказанием помощи при затруднениях во взаимодействии, объяснении,

выводом и расчетами. Данные операции заканчиваются визуализацией хранимых знаний.

Операция формализации знаний пользователя состоит в описании процесса решения задачи в виде последовательности шагов обмена информацией между пользователем и ЭС и запоминанием ее, при этом возможно протоколирование. Описанный таким образом процесс решения задачи пользователя следует считать знаниями системы об опыте применения хранящихся в ней знаний.

Подводя итог, можно заключить, что исследуемая ЭС по фасетной классификации является: по назначению – консультационной; по области применения – диагностической; по виду используемых данных – с недетерминированными данными.

Далее рассмотрен процесс формирования ЭС на основе информации, полученной от экспертов, с привлечением аппарата нечёткой логики.

2.2. Методика формирования экспертной системы на основе информации, полученной от экспертов с привлечением аппарата нечёткой логики

В процессе решения различных проблем используются множественные слабо структурированные источники информации. В большинстве случаев есть возможность разделить их на две категории: недостаточный уровень знания предметной области и недостаточно полная информация о конкретной ситуации.

В связи с тем, что в предметной области могут быть использованы концепции, не имеющие четкой формулировки, или мало изученные явления, она является неясной или неполной. Например, в процессе диагностики неисправностей автомобиля существует множество различных свидетельств по косвенным признакам, которые могут свидетельствовать о поломке различных узлов, их сопряжений или деталей.

Вследствие наличия неопределенности знаний, правила вывода часто не приводят к получению корректных результатов даже в самых простых случаях.

Не располагая полным знанием, мы не можем с уверенностью предсказать, какой эффект получим от осуществления того или иного действия. Например, доехать до ближайшего СТО при возникновении постороннего шума в передней части автомобиля может завершиться сравнительно успешно и обойдется профилактическими работами или, в противном случае – приведет к unplanned ремонту какого-то узла.

Помимо наличия неточных знаний, причинами неясности в отношении технического состояния автомобиля, могут стать некорректные сведения о ситуации. Так, пользователь-водитель, пользуясь показаниями приборов или бортового компьютера, может озвучить информацию, которая ему непонятна, кроме того, любой датчик, имеющийся в автомобиле, имеет не стопроцентную надежность и ограниченную разрешающую или запрещающую функции. Поэтому пользователь-водитель, не подозревая о неточности поданной информации, вносит неясность о техническом состоянии автомобиля.

Также, следует отметить, что при составлении заказа-наряда, мастер-приёмщик СТО может допустить ошибку или произвести внесение недостоверных сведений об установленных неисправностях автомобиля. На практике не часто имеется возможность получить исчерпывающий перечень ответов на возникающие вопросы и, даже, в случаях наличия возможности использования дополнительной информации об автомобиле, например, с помощью нового опроса водителя, такие методы используются крайне редко, поскольку существует фактор времени, от которого зависят экономические выгоды конкретного СТО. Зачастую у водителя нет возможности быстрого получения необходимой информации, поскольку ситуация требует осуществления срочных мероприятий.

В работах многих исследователей, которые занимаются проблемами искусственного интеллекта [55, 74, 84, 114-117], отслеживается единое мнение о важности использования неточных методов в процессе разработки ЭС, при этом много дискуссий возникает на фоне определения конкретного перечня методов, которые должны использоваться. До недавнего времени, большинство

из них, поддерживали утверждения Мак-Карти и Хейеса, по поводу того, что теорию вероятностей невозможно использовать в качестве адекватного инструмента при решении задач по представлению неопределенности знаний и данных [78]. В подтверждение этого приводились такие аргументы:

- теория вероятности не позволяет дать ответ на вопрос, связанный с возможностью комбинации количества и вероятности;
- придание вероятности событиям требует наличия информации, которой нет.

Другие исследователи расширили этот перечень своими аргументами [78, 81-83]:

- непонятно, как с помощью количественных данных оценить некоторые понятия, которые очень часто встречаются на практике. Например, такие понятия, которые характеризуют приблизительные оценки как «быстрый» или «скоростной»;
- обновление вероятностных оценок процесс очень дорогостоящий, потому что предполагает сбор и обработку большого объема данных.

Наличие этих суждений привело к формированию нового формального аппарата, предназначенного для работы с неопределенностями – нечеткая логика или теория функций доверия. Его возможности широко используют в процессе решения задач ИИ и, в частности, для построения ЭС.

На современном этапе развития науки для представления знаний широкое распространение получил математический аппарат нечеткой логики, теория функций доверия [56, 73, 78, 86].

С целью формирования оценки какого-либо симптома (признака) эксперт опирается на собственное мироощущение, то есть работает с объектами и их актами, находящимися в области собственной памяти. Эксперт не использует взвешенные знания и конкретный опыт, в котором собраны различные данные и параметры. Подобная теория легла в основу нечеткой математики, которая оперирует неопределенностью в ходе логических вычислений.

В проектируемой ЭС знания, полученные от эксперта, формируются на основе базы данных, в которую заложена информация в соответствии с Приложением А. Как было сказано выше, симптомы (свидетельства) неисправностей автомобилей по косвенным диагностическим признакам, о которых может сообщить пользователь-водитель, должна лечь в основу базы данных ЭС с возможностью постоянного пополнения свидетельств о неисправностях.

В определенном случае можно вычислить вероятность [78, 115, 118, 123, 125, 128]:

$$P(d_i \vee e), \quad (2.1)$$

где d_i – i -я диагностическая категория, а e – является совокупностью требуемых дополнительных свидетельств:

$$P(d_i \vee S_j), \quad (2.2)$$

где S_j выступает j -м наблюдением (симптомом или свидетельством).

На основании правила Байеса [95], выполняются такие вычисления в случае, когда доступны все значения $P(s_j \vee d_i)$ и существует правдоподобность предположения о взаимной независимости симптомов.

В проектируемой ЭС применен подход, который заключается в применении правил влияния. Далее, эти правила, связывают существующие симптомы (свидетельства) с гипотезой решения:

ЕСЛИ

автомобиль имеет свидетельства, $s_1 \dots s_k$ и присутствуют соответствующие фоновые условия $f_1 \dots f_m$,

ТО

можно заключить с уверенностью t , что у автомобиля происходит накопление неисправностей в определенной системе или узле.

При этом коэффициент уверенности t может принимать значения в диапазоне $[-1, +1]$.

Для случая, когда соблюдены все оговоренные условия и $t = +1$, эксперт абсолютно уверен в верности заключения d_i , а если $t = -1$, то существует абсолютная уверенность в ошибке заключения d_i .

Положительные значения коэффициента уверенности t отличающиеся от $+1$ являются показателем степени уверенности эксперта в правильности заключения d_i , а отрицательные значения – указывают на ошибочность эксперта с определенной степенью уверенности.

Основная идея заключается в применении порождающих правил такого вида, чтобы заменить вычисление вероятности:

$$P(d_i \vee s_1 \dots s_k)$$

на приближенную оценку.

Последствия применения таких правил связываются с выходным коэффициентом уверенности на этапе окончательного заключения с помощью $KU(h)$ – коэффициент уверенности в достоверности значения параметра h , а дополнительные условия $f_1 \dots f_m$, ограничивают применение конкретного правила. Такие условия интерпретируются значениями «ложь» или «истина», а коэффициенты уверенности принимают значение -1 или $+1$. Т.е. коэффициенты уверенности, которые отличаются от единицы, характеризуют только свидетельства s_1, \dots, s_k . Фоновые знания (дополнительные условия) разрешают или запрещают применение правила в определенном конкретном случае.

Вычисление коэффициентов уверенности на этапе заключения представляет собой явно выраженный модульный характер, поскольку не принимается во внимание никакая дополнительная информация. Способ получения исходных коэффициентов уверенности при этом значения не имеет.

Шортлифф [75, 116] рекомендует в случае существования зависимости между признаками e_1 и e_2 сгруппировать их в единое правило, т.е. если e_1 и e_2 ,

то с уверенностью t приходим к заключению h , и нет необходимости в распределении по двум правилам: если e_1 , то с уверенностью t приходим к заключению h , а, если e_2 , то с уверенностью t приходим к выводу h .

Некоторое следствие теории вероятностей, которое гласит, что $P(h \vee e_1, e_2)$ не может быть простой функцией от $P(h \vee e_1)$ и $P(h \vee e_2)$ лежит в основе этой рекомендации.

В таком варианте выражение условной вероятности не будет рассматриваться как модульное. Например, выражение:

$$P(B \vee A) = t$$

не позволит заключить при наличии A , которая не является единственным известным признаком, что $P(B) = t$. Если есть еще и знание E , то сначала необходимо вычислить $P(B \vee A, E) = t$, а уже после говорить о значении $P(B)$. С такой чувствительностью к контексту обеспечивается очень мощный механизм логического вывода, который приведет к существенному повышению сложности вычислений.

В работе [117] показано, что при использовании простой вероятностной модели на основе правила Байеса в ЭС, при заданных признаках вероятности гипотез не соответствуют коэффициентам уверенности гипотез. В случае, когда для упорядочения альтернативных гипотез используются коэффициенты уверенности – это приемлемо. Также в работе [93] показано, что если использовать коэффициенты уверенности, то две гипотезы по отношению к соответствующим вероятностям ранжируются в обратном порядке. Рассмотрим такое положение.

Через $P(h)$, обозначим субъективное, т.е. то, что составлено на основе заключений эксперта. Значение вероятности – $P(h)$, что гипотеза h справедлива, т.е. значение вероятности в справедливости гипотезы h показывает степень уверенности эксперта. В пользу этой гипотезы добавим

новый признак e и получим $P(h \vee e) > P(h)$. Степень доверия (относительная мера) эксперта увеличится к справедливости гипотезы h , а, математически, выразится следующим отношением:

$$MD(h, e) = \frac{P(h \vee e) - P(h)}{1 - P(h)}, \quad (2.3)$$

где MD – относительная мера доверия.

В случае свидетельства признака e против гипотезы h , т.е. $P(h \vee e) < P(h)$, произойдет увеличение меры недоверия MND эксперта к справедливости такой гипотезы. Тогда мера недоверия MND опишется отношением, в следующем виде:

$$MND(h, e) = \frac{P(h) - P(h \vee e)}{P(h)}. \quad (2.4)$$

В работе [119] показано, что при наличии дополнительных признаков у одной гипотезы, уровни доверия не могут быть определены независимо. Когда какой-то признак является диагностическим индикатором конкретной неисправности с абсолютным значением, например, если все автомобили с симптомом (свидетельством) s_1 имеют неисправность d_j , тогда никакой другой признак не изменит неисправность, собственно, к выдвинутой гипотезе не изменится и уровень доверия. Описать это можно следующим образом. При существовании признаков s_1 и s_2 , и равенства

$$P(d_i \vee s_1) = P(d_i \vee s_1 s_2) = 1$$

то

$$P(d_i \vee s_2) = P.$$

Также в работе [119] производится критическое отношение к объединению (конъюнкции) гипотез.

В ЭС при сочетании гипотез d_1d_2 , уровень доверия соответствует наименьшему уровню для отдельных гипотез и, наоборот, уровень недоверия соответствует наибольшему для отдельных гипотез. Допустим следующее: гипотезы d_1d_2 исключают друг друга. Тогда, в случае присутствия признака e (любого):

$$P(d_1d_2 \vee e) = 0$$

независимо от уровня доверия (недоверия) к d_1 или d_2 .

В работе [126] произведено определение коэффициента уверенности в гипотезе, который численно оценивает комбинацию уровня доверия или недоверия к ней и исчисляется, как разница между мерой доверия и недоверия:

$$KY(h, e_1 \wedge e_2) = MD(h, e_2) - MND(h, e_1), \quad (2.5)$$

где e_2 – выступает признаком, который свидетельствует в пользу гипотезы h , а e_1 – наоборот, свидетельствует против гипотезы h .

Полученное значение KY вовсе не является эквивалентным условной вероятности, при условии e_1e_2 , для существующей гипотезы h , которая определяется из правила Байеса:

$$P(h | e_1 \wedge e_2) = [P(e_1 \wedge e_2 | h)P(h)] / [P(e_1 \wedge e_2)]. \quad (2.6)$$

Степень доверия, которая находится по определенным правилам, может соотноситься с субъективной оценкой вероятности, но, при этом, коэффициент уверенности выступает в виде комбинированной оценки. Т.е. его предназначение заключается: в управлении ходом выполнения программы во время формирования суждений; в управлении процессом поиска необходимой цели в пространстве различных состояний (при значении коэффициента уверенности в интервале $[-0,2; +0,2]$ – поиск гипотезы блокируется); в ранжировании набора гипотез после поиска и обработки всех значимых признаков.

Ранжирование набора гипотез [146] с коэффициентами уверенности даёт противоположный результат, нежели, если использовать вероятностные методы. Положим, что существуют две гипотезы d_1, d_2 , а также признак e , который свидетельствует в пользу одной и другой гипотезы. Зададимся отношением априорных вероятностей:

$$P(d_1) > P(d_2) \text{ и } P(d_1 | e) > P(d_2 | e).$$

В этом случае, субъективная вероятность $P(d_1)$ справедливости гипотезы d_1 больше, чем гипотезы d_2 , причем, принимая во внимание дополнительный признак e , сохраняется такое же соотношение.

В различных случаях возможно следующее обратное соотношение между коэффициентами уверенности гипотез:

$$KY(d_1, e) < KY(d_2, e). \quad (2.7)$$

Подытоживая вышеизложенное, положим, что в ЭС на основе знаний о связи симптомов (свидетельств) неисправности и самой неисправности конкретной марки и модели автомобиля, формируемых экспертами-диагностами, возможно получение итогового коэффициента уверенности при использовании следующих соотношений:

$$KY[h:e] = MD[h:e] - MND[h:e], \quad (2.8)$$

где $KY[h:e]$ – уверенность в гипотезе h с учётом свидетельства e ; $MD[h:e]$ – мера доверия к гипотезе h при заданном свидетельстве e ; $MND[h:e]$ – мера недоверия h при свидетельстве e .

$$MD[h:e_1, e_2] = MD[h:e_1] + MD[h:e_2](1 - MD[h:e_1]), \quad (2.9)$$

где запятая между e_1 и e_2 означает, что e_2 следует за e_1 .

2.3. Методика формирования базы знаний системы на основе фактических данных о симптомах и неисправностях автомобилей разных марок и моделей

Как упоминалось раньше, ЭС функционирует на основе хранилища данных в виде реляционной базы данных (БД). Информацию, хранящуюся в ней можно разделить на две группы. Первая группа – БЗ (база знаний), хранящая структурированный набор данных для выполнения операций нечеткого вывода. Второй частью являются вспомогательных данных, предназначенных для хранения различных исходных и промежуточных данных, которые необходимы для решения текущей задачи. Когда зафиксированы факты поступления новой информации, тогда для каждого факта выделяется память в виде кортежей фиксированной длины.

Группу переменных (свидетельств и гипотез), которые связаны между собой, удобнее хранить вместе в виде кортежа. Строки таблицы БД являются кортежем фиксированной длины, наполнение которых выполняется по установлению факта произошедшей неисправности автомобиля, установленной марки, модели и т.д., т.е. при установлении связи между симптомом (свидетельством) и гипотезой (диагнозом) при определенном пробеге.

Элементы рабочей памяти представляются в виде кортежа:

$$WME = NE, IDE, ATE, TPE, VLE, \quad (2.11)$$

где NE – название элементов рабочей памяти; IDE – идентификатор элементов рабочей памяти; ATE – атрибут элементов рабочей памяти; TPE – тип атрибута элементов рабочей памяти; VLE – значение атрибута элементов рабочей памяти (кодированное значение атрибута элемента, находящегося в соответствующем кортеже).

Значения каждого атрибута хранятся в непрерывных участках рабочей памяти, соответственно все операции в кортежах (сканирование, фильтрация, агрегация) выполняются очень эффективно.

Общая структурная схема ЭС приведена на рис. 2.3. Структурная схема ЭС предполагает наполнение таблиц БЗ, получение знаний из статистических данных, генерацию параметрических векторов БЗ, организацию опроса, обучение БЗ.

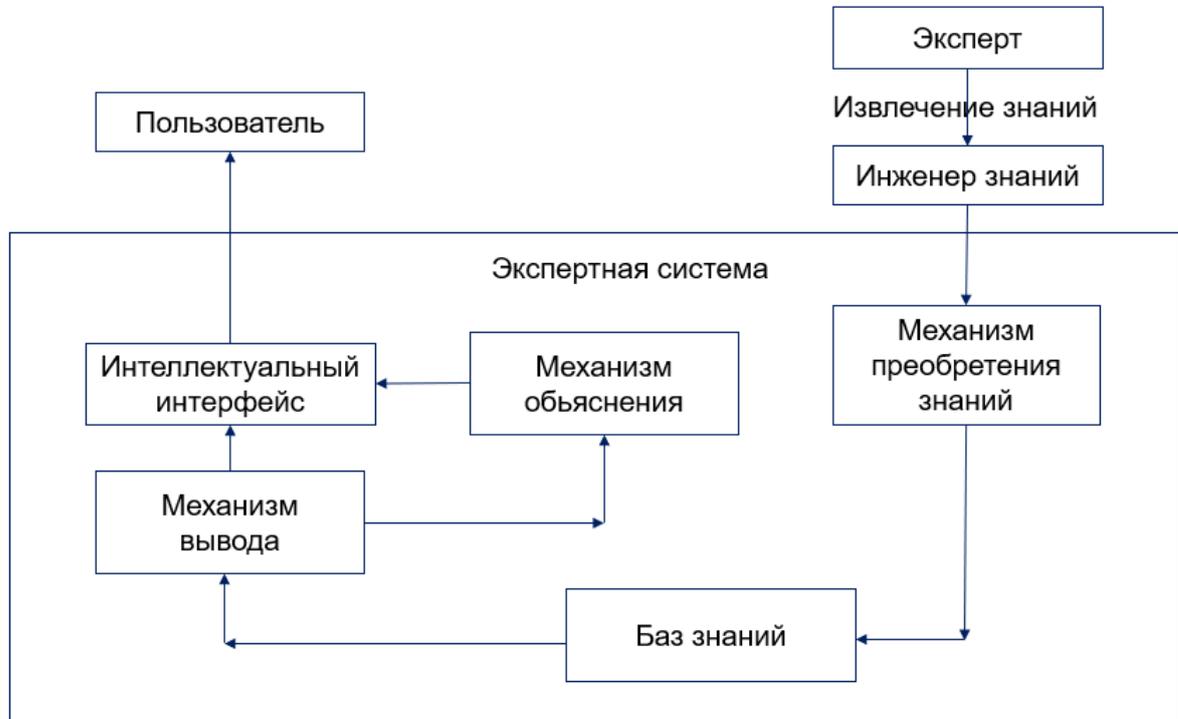


Рисунок 2.3 – Архитектура ЭС

2.4. Математическая модель определения меры доверия к результатам диагностирования

Исходя из приведенного в предыдущих подразделах, база данных ЭС состоит из двух множеств – симптомов (свидетельств) и отказов (гипотез), а база знаний состоит из множества пар элементов указанных множеств с указанием в явном виде меры доверия или недоверия.

В данной работе, учитывая классификационные признаки проектируемой ЭС, предлагается модель данных «единица диагностирования»:

$$DiagnElem < H, E, CM, ACM > \quad (2.12)$$

где $H = \{df_m\}$ – множество гипотез о возникновении неисправности df_i ;
 $E = \{symp_j, ctx_k, ctxScl_s, distT_b, dist_v, mrk_n, mdl_c, dev_h\}$ – множество свидетельств; $CMprob_l$ – множество мер доверия; $ACMaprob_p$ – множество мер недоверия; $symp_j$ – элемент из множества симптомов, фиксируемых водителем в процессе эксплуатации автомобиля; ctx_k – элемент множества контекстов диагностирования; $ctxScl_s$ – элемент множества шкалы контекста; $distT_b \in DistT$ – элемент множества «диапазона пробега» $DistT$, состоящего из двух элементов $DistT = \{DistFrom, DistUpTo\}$; $DistFrom$ – пробег «начиная с»; $DistUpTo$ – пробег «до»; $dist_v$ – значение пробега указанного элемента множества $DistT$, для которого определена 95% вероятность возникновения соответствующей неисправности; mrk_n – элемент множества марок, по которым содержатся знания в экспертной системе; mdl_c – элемент множества моделей; dev_h – элемент множества дополнительного оборудования, которое устанавливается на автомобиль.

На основании приведенной модели базируются диагностические алгоритмы поиска множества вероятных неисправностей и значения данных вероятностей.

Исходя из состава приведённой модели (2.12) следует, что функция принадлежности задана экспертами по знаниям детерминировано. Однако, итоговая вероятность возникновения неисправности для каждого конкретного случая по соотношению (2.9) будет своя, исходя из ответов пользователя.

При проходе по дереву решений в ЭС, минимизирующее количество вопросов пользователю в виде функционала будет находиться следующим образом:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n KY[h_i : e_j] \rightarrow \max_{n \rightarrow 0}, \quad (2.13)$$

где n – количество вопросов, задаваемых пользователю для вычисления итоговой меры доверия для каждой из гипотез $\{H_i\}_{k=1}^m$, которые связаны со свидетельствами e_j ; e_j – j -е свидетельство, связанное с i -й гипотезой, на основе которого формулируется закрытый вопрос, задаваемый пользователю.

Сущность минимизации указанного функционала заключается в выборе на каждом шаге из множества невалидированных пользователем свидетельств $\{e_i\}$ такого, у которого итоговая мера доверия максимальная:

$$e_i : e_{iCM}^{\sup} \text{МД} [h_k : e_{i-1}, e_i], k \in [1, N_i], \quad (2.14)$$

где h_k – k -я гипотеза, имеющая невалидированный ответ к i -му шагу взаимодействия с пользователем; $\text{МД} [h_k : e_{i-1}, e_i]$ – мера доверия гипотезы h_k при условии множества свидетельств, валидированных на шагах $1, \dots, i-1$, а также при условии положительного ответа свидетельства e_i .

N_i – количество невалидированных свидетельств, для которых выполняется:

$$\text{МНД} [h_k : e_i] > 0 \vee \text{МД} [h_k : e_i] > 0 \quad (2.15)$$

В действительности, при выполнении минимизации на основе (2.14) стратегия ЭС реализует гарантированное нахождение гипотезы с максимальной вероятностью за минимальное количество шагов, конкретное значение которых зависит только от ответов пользователя.

В такой ситуации, в данной ЭС существует два варианта реализации алгоритма опроса пользователя-водителя – «жадный» и «умеренный».

При рассмотрении «жадного» алгоритма, ЭС производит пересчёт множества h_k на каждом шаге и поиск свидетельства e_i на основании соотношения (2.14). В этом случае происходит более быстрое подтверждение гипотезы h_k .

При работе ЭС в режиме «умеренного» алгоритма, производится расчёт множества h_k на нулевом шаге, когда пользователь-водитель при помощи программного интерфейса формирует элемент множества E из (2.12) [10,11].

Как упоминалось выше, для формирования знаний ЭС предусмотрено два источника информации для БЗ:

- обработанные данные, собранные в результате опроса экспертов;
- данные о фактических неисправностях, имевших место для автомобилей, экспертных знаний по которым не накоплено.

Результат работы оптимизационного алгоритма продемонстрирован на рис. 2.4. Из графика видно, например, что для подмножества симптомов, имеющих 4 уточняющих ответа, оптимизационный алгоритм позволяет получить такой же достоверный ответ при среднем 2.52 количестве вопросов.

Если первый источник данных формируется с использованием стандартного статистического аппарата, позволяющего достичь соответствующего уровня достоверности, то для фрагментарных данных по малоизученным моделям требуется иной подход для определения соответствия неисправности указанным диагностическим признакам, а также определение вероятности возникновения заданной неисправности при наличии указанного симптома на соответствующем пробеге автомобиля [9].

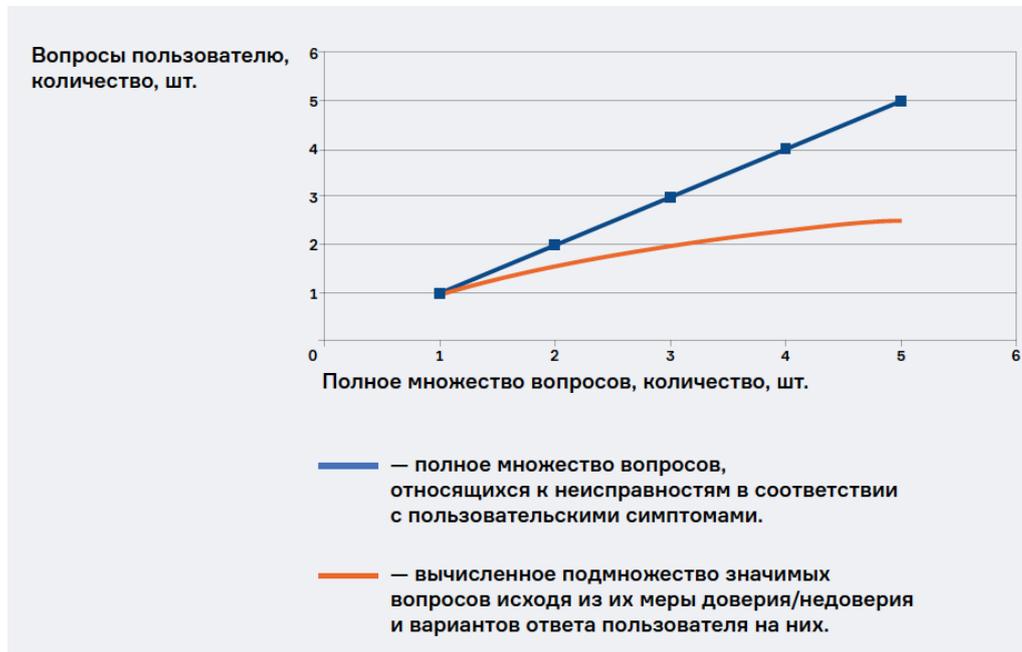


Рисунок 2.4 – Сравнение количества вопросов, задаваемых пользователю в варианте полного перебора и в варианте оптимизации

Исходные данные о фактических неисправностях не могут однозначно переноситься в базу знаний без предварительной обработки в силу того, что все параметры из E являются дискретными величинами за исключением $dist_v$.

Для параметра $dist_v$, необходимо осуществить подбор функции вероятности и искать её 1% или 5% квантиль [97]. Исходя из физического смысла вероятности отказа как функции пробега автомобиля, выдвинута гипотеза об S-образном законе функции вероятности, который пересчитывается каждый раз при добавлении новой информации о заданной неисправности при заданном пробеге автомобиля.

Для преобразования статистических данных в элемент БЗ ЭС предлагается расчетная функция вероятности отказа в зависимости от пробега автомобиля:

$$F(H) = f(dist_v) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (2.16)$$

При получении расчётного значения квантиля 5% на каждой итерации, результирующие данные могут быть занесены в базу знаний ЭС.

2.5. Оптимизационные алгоритмы расчёта апостериорной вероятности возникновения неисправности

В процессе выполнения консультаций ЭС работает следующим образом.

Пользователь системы зарегистрирован предварительно. В процессе регистрации нужен только VIN автомобиля и стандартный набор персональных данных, удовлетворяющих действующее законодательство. Посредством расшифровки VIN автомобиля ЭС определяет производственную платформу, что необходимо для корректной работы ЭС. Обращение к ЭС происходит посредством мобильного приложения (требуется наличие интернет соединения на устройстве). Пользователь вводит пробег автомобиля, затем свидетельства неисправностей.

Каждый симптом (свидетельство) активизирует один или несколько элементов во множестве гипотез (диагнозов) (рис. 2.5).

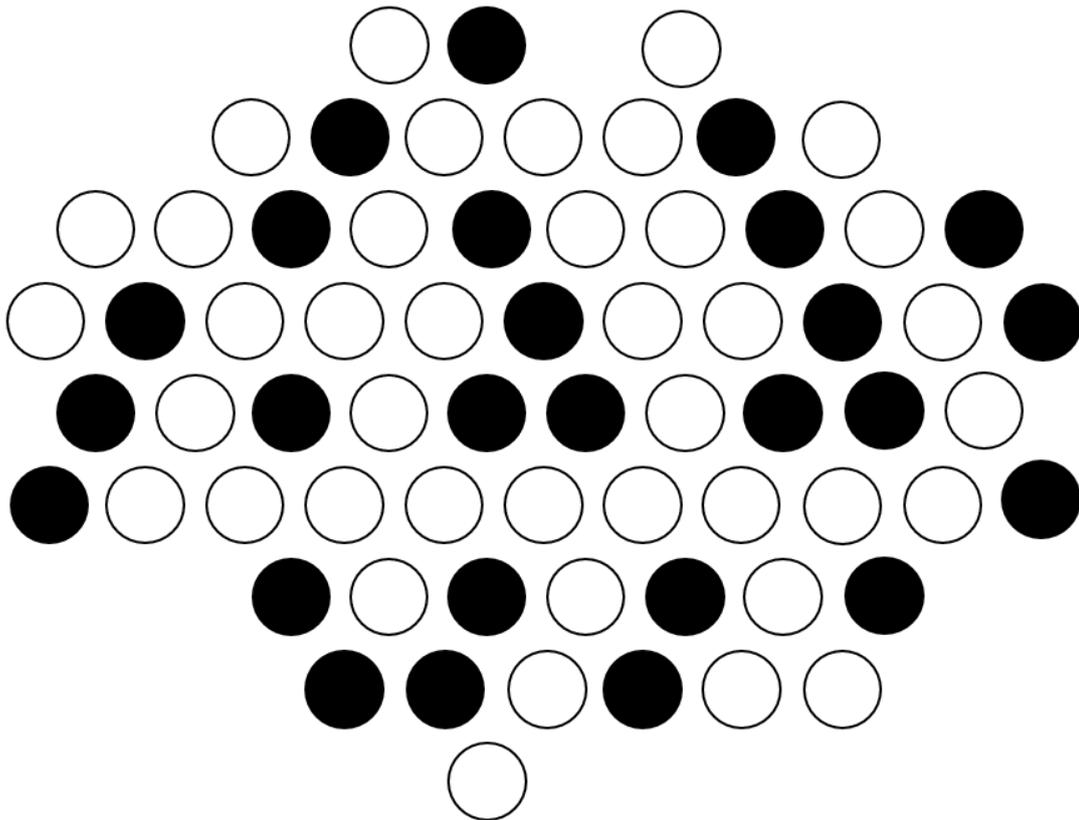


Рисунок 2.5 – Активизация элементов множества гипотез

Модели гипотез, сформированные из выделенных узлов ЭС, включают три списка проявлений свидетельств:

- (1) не связанных с реальной неисправностью;
- (2) соответствующих данной неисправности;
- (3) отсутствующих исходно, но всегда проявляющихся при данной неисправности;

Положительные оценки внутри ЭС получают только проявления, подтверждающие гипотезу, противоречащие же проявления получают отрицательные оценки. Далее ЭС выставляется совокупная оценка (неисправности).

Далее все свидетельства делятся на две группы: в одной группе сформированы свидетельства, имеющие отношение к наиболее вероятной гипотезе и диаметрально противоположные свидетельства. В другой группе заключены проявления свидетельств, присущие наиболее вероятной гипотезе, только принадлежащей другим областям неисправностей.

При этом будет активирована только часть всех вариантов дерева возможностей. В том числе, после ввода первой части исходных данных. Одна из ключевых задач ЭС заключается в преобразовании дерева в решение.

Благодаря разделению гипотез и в зависимости от их количества, ЭС может применить различные стратегии.

Например, стратегия опровержения используется в случае обработки четырех и более гипотез. По смыслу, необходимо задавать автовладельцу такие вопросы, которые являются максимально верифицирующими показателями. Таким образом, становится возможным как можно сильнее свернуть дерево возможных гипотез.

В случае, когда анализируемых гипотез меньше четырёх, но больше одной, используется стратегия дифференциации. То есть пользователю ЭС будут заданы простые вопросы, помогающие осуществить выбор между гипотезами.

При анализе одной гипотезы, используется стратегия верификации. Автовладельцу будут заданы вопросы, верифицирующие анализируемую гипотезу.

Процесс проходит поэтапно – итерациями. Вносимые пользователем в любом из режимов данные обрабатываются аналогично данным, введенным в начале сеанса работы с приложением. Разумеется, при этом активизируются новые узлы дерева.

2.6. Выводы по главе 2

В результате проведения теоретического исследования по построению самообучающейся экспертной системы косвенного диагностирования автомобиля сформулированы следующие выводы:

1. На основе диагностической информации о техническом состоянии автомобиля сформулирован основной математический аппарат при формировании и использовании экспертной системы. При этом по фасетной классификации исследуемая экспертная система является: по назначению – консультационной, по области применения – диагностической, по виду

используемых данных – с недетерминированными данными. Под фасетной классификацией здесь подразумевается стандартный подход, при котором исследуемый объект относится к нескольким независимым множествам и их элементам в соответствии со значениями его признаков.

2. Проведенный обзор математических методов, применяющихся в экспертных системах, позволил выдвинуть гипотезу о возможности применения основного математического аппарата теории нечётких множеств для определения множества вероятных неисправностей автомобиля, а также вычислить итоговую вероятность для каждой вероятной неисправности. В результате, база данных экспертной системы состоит из двух множеств: симптомов (свидетельств) и отказов (гипотез), а база знаний состоит из множества пар элементов указанных множеств с указанием в явном виде меры доверия или недоверия.

Также разработана методика формирования экспертной системы на основе информации, полученной от экспертов с привлечением аппарата нечёткой логики.

3. На основе фактических данных о симптомах и неисправностях автомобилей разных марок и моделей произведено формирование базы знаний экспертной системы. На основе знаний о связи симптомов неисправности и самой неисправности, формируемых экспертами-диагностами рассчитывается итоговый коэффициент уверенности.

Исходя из специфики предметной области экспертной системы, предусмотрено два источника информации для базы знаний:

- обработанные данные, собранные в результате опроса экспертов;
- данные о фактических неисправностях, имевших место для автомобилей, экспертных знаний по которым не накоплено.

Если первый источник данных формируется с использованием стандартного статистического аппарата, позволяющего достичь соответствующего уровня достоверности, то для фрагментарных данных по малоизученным моделям требуется иной подход для определения соответствия неисправности указанным диагностическим признакам, а также определение

вероятности возникновения заданной неисправности при наличии указанного симптома на соответствующем пробеге автомобиля.

4. Разработана модель формирования базы знаний, используемой для определения множества возможных неисправностей. При этом разработана модель данных «единица диагностирования», на которой базируются диагностические алгоритмы поиска множества вероятных неисправностей автомобиля и значения данных вероятностей.

Функция принадлежности приведённой модели задана экспертами по знаниям, детерминировано, а итоговая вероятность возникновения неисправности автомобиля для каждого конкретного случая определяется, исходя из ответов пользователя.

5. Создание модели вычисления вероятностей возникновения неисправностей агрегатов и узлов автомобиля, часть, которой описана в алгоритме прохода по дереву решений, минимизирующем количество вопросов пользователю в виде функционала, сущность которого заключается в выборе на каждом шаге из множества неverified пользователем свидетельств при обеспечении максимальной итоговой меры доверия или недоверия.

ГЛАВА 3.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ И ОБУЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

3.1. Сбор и обработка экспертных данных в рамках формирования базы знаний экспертной системы

3.1.1. Статистическая обработка экспертных оценок

Для описания технического состояния автомобилей с использованием методов косвенной диагностики существует значительное количество свидетельств (симптомов) неисправностей на определенном пробеге. Одновременно использовать множество свидетельств о неисправностях автомобиля в одном правиле становится сложным и, порой, невозможным. В этом случае, автомобиль необходимо разбить на подсистемы, которые описываются меньшим числом свидетельств (симптомов) неисправностей и, которые образуют группы параметров «симптомы – неисправность». Совокупность таких групп параметров полностью описывают процесс диагностики автомобиля конкретной модели и марки на определенном пробеге [9, 10].

Во время группировки параметров необходимо, чтобы симптомы неисправностей были не взаимосвязанными. В ином случае – влияние таких симптомов на общее техническое состояние автомобиля окажется переоцененным. Поэтому, целесообразно производить ранжирование симптомов неисправностей по степени влияния на выходной параметр с отбрасыванием незначимых показателей из рассмотрения, а также производить оценку взаимосвязи между симптомами неисправностей для исключения присутствия связанных параметров в одной группе [13, 14].

Для выбора значимых свидетельств неисправностей автомобиля необходимо использовать эксперта и методы экспертного оценивания [51, 53]. Для принятия решения экспертом, в качестве информации необходимо использовать результаты корреляционного анализа, который позволяет определить статистически значимые связи между симптомами и неисправностями [51, 78]. Оценку зависимостей между симптомами и

неисправностями конкретного автомобиля можно проводить на основании дополнительной информации в виде рассчитанных значений коэффициентов корреляций, значение которых для эксперта выступает в виде эвристической меры ассоциации в данных.

Для эффективного решения экспертом задачи группировки параметров предложена следующая методика.

Пусть дано множество свидетельств неисправностей:

$$E = \{e_1, e_2, \dots, e_k, \dots, e_n\}, \quad (3.1)$$

которые описывают техническое состояние и множество состояний автомобиля, а также множество выходных параметров – диагнозов

$$H = \{h_1, h_2, \dots, h_j, \dots, h_m\} \subset P, m < n, \quad (3.2)$$

где все h_j , $j=1, m$ принимают конечное дискретное множество значений (техническое состояние автомобиля). При этом должны сформироваться группы параметров «симптомы – неисправность» и структуры их взаимосвязей:

$$G_j = \{E_j, h_j\}, j = 1, m, \quad (3.3)$$

где $E_j \subset P$ – множество свидетельств для каждой неисправности $h_j \notin E_j$, которые значительно влияют на них.

Методика группировки параметров «симптомы – неисправность» включает следующие этапы:

- на основании знаний эксперта и анализа имеющихся данных формируется множество гипотез (диагнозов) технического состояния автомобиля;
- из множества свидетельств (симптомов) $\{e_1, e_2, \dots, e_k, \dots, e_n\}$ выбираются выходные параметры неисправности $\{h_1, h_2, \dots, h_j, \dots, h_m\}$, значениями которых являются гипотезы (диагнозы) конкретного состояния автомобиля;

- для каждого параметра h_j производится выбор множества независимых входных свидетельств (симптомов) E_j , которые значительно влияют на h_j . При этом:
- рассчитываются коэффициенты корреляции $|r_{kj}| \in [0,1]$ между параметрами h_k и e_k ;
- интерпретацию величины корреляционной зависимости для каждого числового значения коэффициента корреляции проводят согласно табл. 3.1 [55, 74, 96, 100], т.е. приводят в соответствие коэффициента корреляции лингвистическому значению (различным контекстам) силы связи;

Таблица 3.1 – Значения коэффициента корреляции в соответствии лингвистической силой связи

Коэффициент корреляции	Сила связи a_{kj}
$r_{kj} = 0$	связь отсутствует
$0 \leq |r_{kj}| < 0,2$	очень слабая
$0,2 \leq |r_{kj}| < 0,3$	слабая
$0,3 \leq |r_{kj}| < 0,5$	умеренная
$0,5 \leq |r_{kj}| < 0,7$	средняя
$0,7 \leq |r_{kj}| < 1$	сильная

- составляется табл. 3.2, содержание которой направляется эксперту для последующего анализа;

Таблица 3.2 – Связь параметров «симптомы – неисправность»

$\begin{matrix} H \\ E \end{matrix}$	h_1	h_2	...	h_j	...	h_m
e_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1m}
e_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2m}
...
e_k	a_{k1}	a_{k2}	...	a_{kj}	...	a_{km}
...
e_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}	...	a_{nm}

- эксперт, используя данные приведенной таблицы и собственный опыт, дополнительно исключает (либо добавляет) значения связей тех свидетельств (симптомов), которые считаются незначительными (значительными) для выходного диагноза;
- для каждой гипотезы (диагноза) формируется множество свидетельств (симптомов) неисправности;
- для каждого полученного множества свидетельств рассчитываются значения коэффициентов парной корреляции входящих элементов;
- в случае, когда между симптомами (входами) наблюдается значимая связь, то эксперт выбирает один из связанных симптомов, который является наиболее значимым для выходного параметра (диагноза), а остальные исключает;
- оставшиеся симптомы каждого из множеств будут образовывать множество E_j входных параметров для определенных диагнозов h_j ;
- производится формирование множества групп параметров «симптомы – неисправность»:

$$G = \{G_1, G_2, \dots, G_j, \dots, G_m\}, G_j = \{E_j, h_j\}, j = 1, m \quad (3.4)$$

- для определения структуры взаимосвязей между группами параметров «симптомы – неисправность» $G_j, j = 1, m$, формируется табл. 3.3.

Таблица 3.3 – Структура взаимосвязей групп параметров «симптомы – неисправность»

Параметры	E_1	E_2	...	E_j	...	E_m
h_1	x	b_{12}	...	b_{1j}	...	b_{1m}
h_2	b_{21}	x	...	b_{2j}	...	b_{2m}
...	...	...	x	...	...	...
h_j	b_{j1}	b_{j2}	...	x	...	b_{jm}
...	...	...	...	...	x	...
h_m	b_{m1}	b_{m2}	...	b_{mj}	...	x

В табл. 3.3 b_{jk} – отношение принадлежности («+») или непринадлежности гипотезы (диагноза) одной группы к множеству симптомов (свидетельств) других групп.

Определение взаимосвязи между двумя группами параметров «симптомы – неисправность» G_j и G_k , $j=1, m$, $k=1, m$, $j \neq k$, производится по следующему правилу:

$$\text{если } h_j \in E_j \Rightarrow \exists \text{ связь между } G_j \text{ и } G_k.$$

3.1.2. Зависимости вероятностей неисправностей автомобиля от пробега

На основе собранных данных по неисправностям, в работе построены зависимости вероятностей неисправностей автомобиля марки Volvo от значений статистически достоверного пробега, для множества групп. В данном случае группы включают симптомы и неисправности следующих подсистем автомобиля: силовая установка, сцепление, коробка передач, подвеска, тормозное оборудование, рулевое управление и блоки электроники. Вероятность отказа сцепления автомобиля марки Volvo в зависимости от пробега приведена на рис. 3.1.

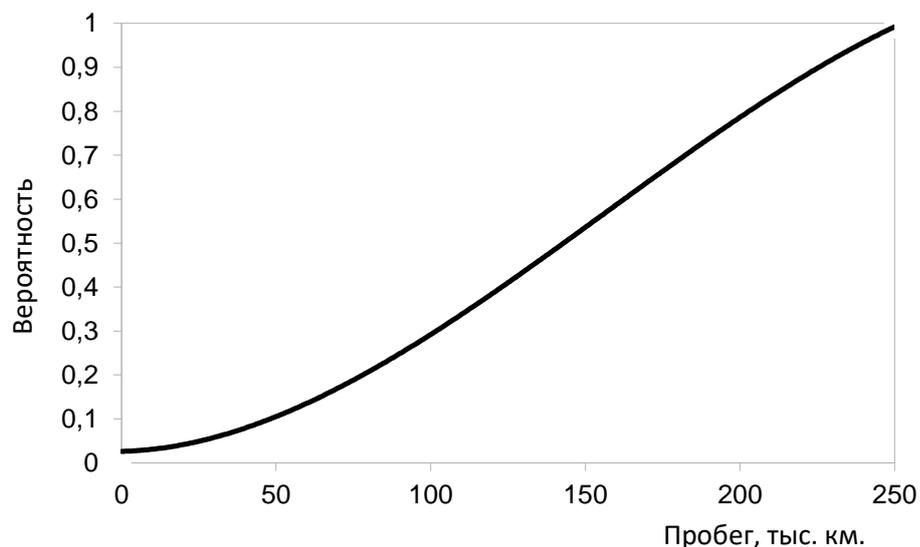


Рисунок 3.1 – Вероятность отказа сцепления автомобиля марки Volvo в зависимости от пробега

Указанная зависимость вероятности отказа/износа от пробега на рис. 3.1 как и на последующих закладывается в математический аппарат для расчета итогового значения функции принадлежности симптома ко множеству отказов с учетом текущего пробега ТС.

Далее, на рис. 3.2 приведена зависимость вероятности отказа систем, обслуживающих силовую установку (масляная, топливная, воздушная) и силовой установки в целом автомобиля марки Volvo от пробега.

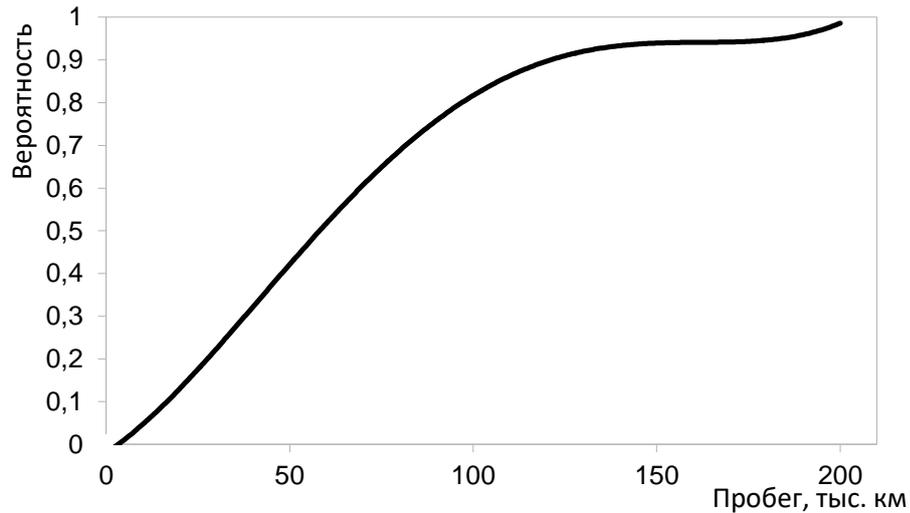


Рисунок 3.2 – Вероятность отказа систем и силовой установки в целом автомобиля марки Volvo в зависимости от пробега

Ниже приведена зависимость вероятности отказа коробки передач для автомобилей марки Volvo.

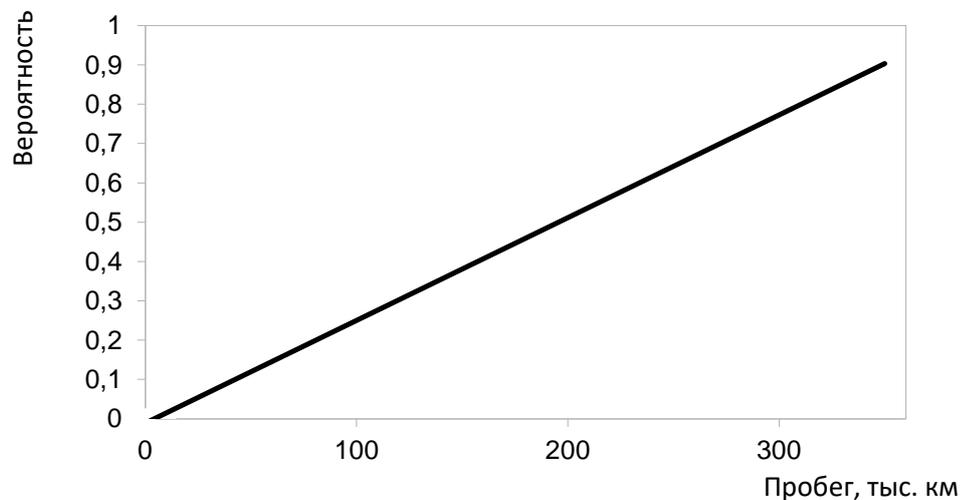


Рисунок 3.3 – Вероятность отказа коробки передач автомобиля Volvo в зависимости от пробега

Также для элементов подвески автомобилей марки Volvo построена зависимость вероятности отказов от пробега (рис. 3.4).

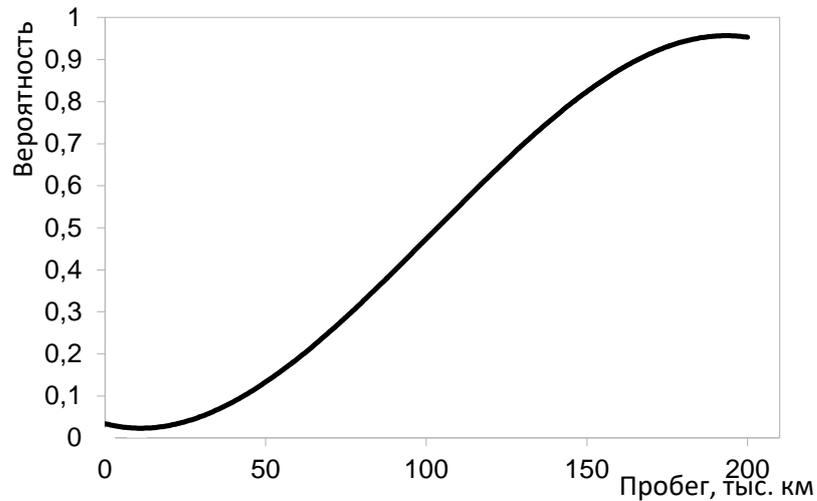


Рисунок 3.4 – Вероятность отказа элементов подвески автомобиля марки Volvo в зависимости от пробега

Для элементов подвески автомобиля марки Volvo характерен статистически достоверный пробег, находящийся в интервале 123...160 тыс. км.

Вероятность отказа элементов рулевого управления (включая механическую часть) автомобилей марки Volvo в зависимости от пробега приведена на рис. 3.5.

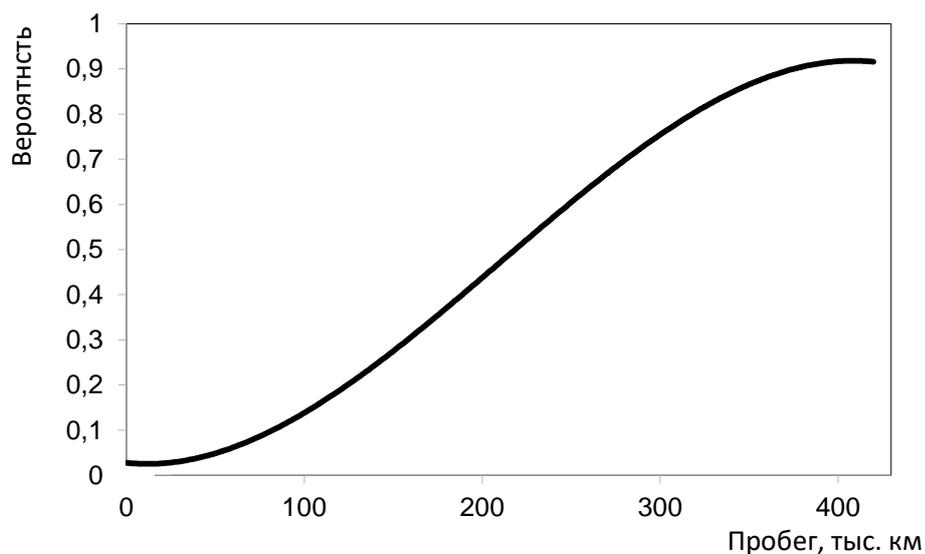


Рисунок 3.5 – Вероятность отказа рулевого управления (включая механическую часть) автомобилей марки Volvo в зависимости от пробега

Обработав статистические данные по отказам электронных систем автомобилей марки Volvo были построены зависимости вероятности от пробега. Результаты показаны на рис. 3.6.

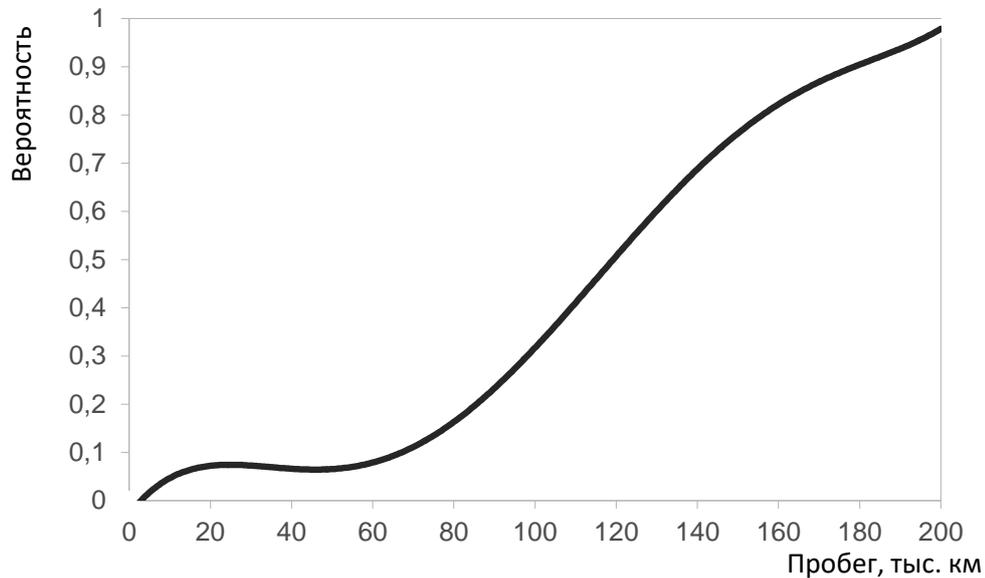


Рисунок 3.6 – Вероятность отказа электронных систем автомобиля марки Volvo в зависимости от пробега

Для отказов электронных систем автомобиля марки Volvo в зависимости от пробега, область со статистически достоверным пробегом начинается со 180 тыс. км.

3.2. Извлечение знаний из статистических данных

3.2.1. Построение ассоциативных правил для извлечения знаний из статистических данных

В общем случае построение ассоциативных правил для извлечения знаний из статистических данных о неисправностях автомобилей имеет следующий вид:

«Из множества симптомов (свидетельств) E следует множество гипотез (диагнозов) H ».

Основными характеристиками ассоциативных правил являются «достоверность» и «поддержка» правила. Под «достоверностью» ассоциативного правила выступает часть транзакционных механизмов

исходного множества E и, которые содержат H . В случае «поддержки» ассоциативного правила – рассматривается часть транзакционных механизмов исходного множества, содержащие пересечение множеств E и H .

Достоверность рассчитывается по формуле [78]:

$$c(E \rightarrow H) = \frac{s(E \rightarrow H)}{s(E)}, \quad (3.5)$$

где $s(E \rightarrow H)$ – поддержка ассоциативного правила; $s(E)$ – поддержка множества E .

При этом выполняется двухуровневая обработка статистических данных:

- с определением зависимостей между переменными множества симптомов E и каждой гипотезы (диагноза) H ;
- с определением множества мер доверия $CMprob_i$ и множеством мер недоверия $ACMaprob_p$ каждой гипотезы (диагноза).

Пусть, после предварительной обработки, имеется нормализованный вид множества транзакционных механизмов для всех переменных гипотез (диагнозов) (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Нормализованный вид множества транзакционных механизмов для всех гипотез диагнозов

Номер транзакционного механизма	Переменные свидетельств и гипотез					
	E_1	...	E_j	...	E_n	H
1	1	...	1	...	1	h_1
2	1	...	1	...	0	h_2
...
k	1	...	0	...	0	h_k

В таблице приведены следующие обозначения:

k – количество транзакционных механизмов для всех переменных диагнозов;

n – количество всех переменных свидетельств;

$E_j, j = 1 \dots n$ – входные переменные свидетельств;

$H = h_i, i = 1 \dots k$ – выходная переменная диагноза при i -ом транзакционном механизме. На пересечении строки и столбца транзакционного механизма при присутствии переменных свидетельств ставится 1, в ином случае ставится 0.

На первом этапе вычисляются значения уровня достоверности и поддержки ассоциативного правила для

$$E = \{E_1, E_2, \dots, E_k, \dots, E_n\} \text{ и } H = \{h_i\}.$$

Для каждой переменной гипотез (диагнозов) необходимо определить одно ассоциативное правило, при этом сгенерированные правила ранжируются в соответствии со значимостью. Вычисление значимости одного правила производится перемножением значений достоверности и поддержки.

Пусть дан нормализованный вид множества транзакционного механизма для множества переменной i -ой гипотезы (диагноза) (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Нормализованный вид множества транзакционного механизма для множества переменной i -ой гипотезы (диагноза)

Номер транзакционного механизма	Множество переменных											
	E_1			...	E_j			...	E_q			H
	s_1^1	...	s_1^5	...	s_j^1	...	s_j^5	...	s_q^1	...	s_q^5	h_i
1	1	...	1	...	0	...	0	...	1	...	1	h_i^1
2	1	...	0	...	1	...	1	...	0	...	1	h_i^2
...
n	1	...	0	...	0	...	0	...	0	...	1	h_i^n

В таблице указаны следующие обозначения:

n – количество транзакционных механизмов для переменной i -го диагноза;

q – количество переменных контекстов для i -го диагноза;

$s_j^1 \dots s_j^5$ – множество входной переменной свидетельства E_j ;

h_i^n – множество выходной переменной гипотезы (диагноза) $H = h_i$.

На следующем этапе вычисляются значения достоверности и поддержки ассоциативного правила для $E = \{E_1 = s_1^1, \dots, E_q = s_q^1\}$ и $H = \{h_i = h_1^1\}$.

Сгенерированные правила, которые имеют достоверность выше принятого минимального порога (60% и больше) будут составлять БЗ нечетких правил. Также для ассоциативного правила определяется весовой коэффициент нечеткого правила в зависимости от его значимости, который будет характеризовать его достоверность.

3.2.2. Поиск и исключение противоречий в базе знаний

При построении БЗ ЭС, ошибки в экспертной информации приводят к возникновению противоречий в составлении комплексов свидетельств гипотез (диагнозов) и в проявлении свидетельства при наличии диагноза. Проверка БЗ ЭС направлена на поиск и исключение противоречий [9]. При этом выполняется сопоставление информации, которая получена от эксперта с ранее полученной и проверка её на непротиворечивость. Поиск и исключение противоречий включает выявление таких правил:

- при наличии конфликтных правил, в случае, когда два или несколько гипотез (диагнозов) имеют одинаковые свидетельства (симптомы);
- при присутствии избыточных правил, когда одинаковые комплексы симптомов присутствуют у похожих гипотез (диагнозов).

Количественное определение степени сходства комплексов свидетельств становится возможным с применением бинарного коэффициента сходства Кульчинского [50], значения этого коэффициента находятся в интервале от 0 до 1. При значении коэффициента 0 – сходство отсутствует, при 1 – полное сходство.

3.2.3. Алгоритмы заполнения таблиц

На основе вышеизложенного и приведенных зависимостей (рис. 3.1-3.7), а также Приложения Б, эксперт заполняет таблицы гипотез (диагнозов), симптомов (свидетельств), контекстов и их групп. Ниже приведен алгоритм заполнения таблиц экспертом [7, 8].

Заполнение таблиц гипотез (диагнозов) и их групп производится по следующему алгоритму:

Шаг 1. Добавление названия, описания гипотезы или её группы.

Шаг 2. Создание контекста гипотезы.

Шаг 2.1. Нахождение области определения и множество контекста гипотезы.

Шаг 2.2. Генерирование параметров функции принадлежности каждого контекста из множества.

Шаг 3. Изменение/удаление сведений о текущей гипотезе.

Заполнение таблиц свидетельств (симптомов) для гипотез выполняется по следующему алгоритму:

Шаг 1. Определение гипотезы для существующих свидетельств (симптомов) множества.

Шаг 2. Генерирование весовых коэффициентов по ассоциативным правилам.

Шаг 3. Выполнение экспертного опроса для получения оценок силы проявления свидетельств (симптомов) при наличии гипотезы (диагноза).

Заполнение таблиц контекстов и их групп производится по следующей последовательности:

Шаг 1. Добавление названия, описания контекста и/или его группы.

Шаг 2. Создание переменной контекста.

Шаг 2.1. Нахождение области определения и множество переменных контекста.

Шаг 2.2. Генерирование параметров функции принадлежности каждой переменной из множества контекста.

Шаг 3. Изменение / удаление сведений о текущем контексте.

3.3. Генерирование вопросов автовладельцу для установления диагноза экспертной системой

3.3.1. Структурная схема генерации вопросов

При установлении диагноза неисправности автомобиля ЭС формирует список вопросов:

- на первом этапе выводится основная гипотеза (диагноз);
- на втором этапе определяется главный симптом неисправности автомобиля при текущем пробеге, который характерен для основной гипотезы (диагноза);
- на третьем этапе оценивается сила проявления симптома неисправности у конкретного автомобиля;
- на последнем этапе ЭС задает дополнительный вопрос пользователю-водителю об удовлетворенности ответом.

Структурная схема генерации вопросов автовладельцу для установления диагноза ЭС приведена на рис. 3.8.

На рисунке 3.8 цифрами обозначено:

- 1 – комплексы симптомов для гипотез (диагнозов);
- 2 – основная гипотеза;
- 3 – главный симптом неисправности автомобиля при текущем пробеге, который характерен для основной гипотезы (диагноза)
- 4 – основная гипотеза (диагноз);
- 5 – оценка силы проявления симптома неисправности у конкретного автомобиля;
- 6 – очередной вопрос.



Рисунок 3.8 – Структурная схема генерации вопросов автовладельцу для установления диагноза ЭС

3.3.2. Сферы рассеивания гипотез в пространстве свидетельств

Каждый из комплексов свидетельств (симптомов) для гипотез (диагнозов) включает множество свидетельств, а некоторые симптомы могут одновременно входить в несколько комплексов свидетельств. На рис. 3.9 приведено расположение сфер рассеивания гипотез (диагнозов) в пространстве свидетельств.

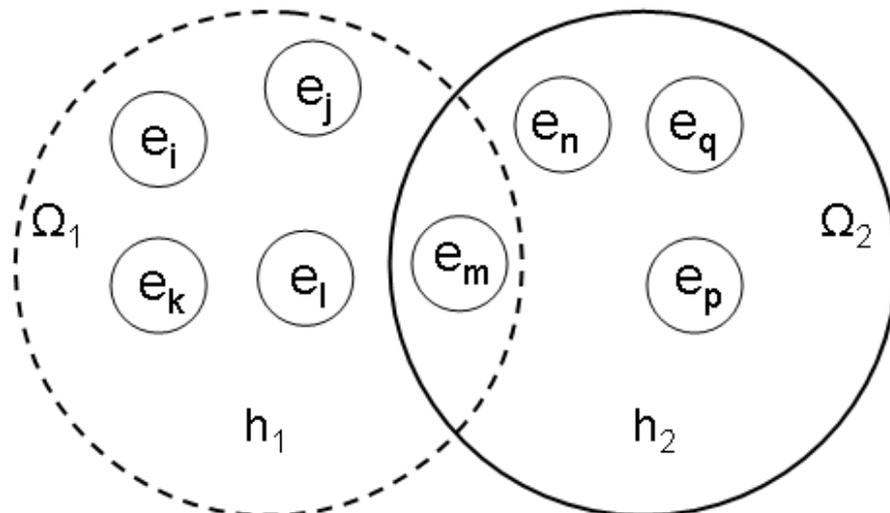


Рисунок 3.9 – Сферы рассеивания гипотез (диагнозов) в пространстве свидетельств

Как приведено на рис. 3.9, свидетельство e_m одновременно включено в комплексы свидетельств для гипотез (диагнозов) h_1 и h_2 , которые лежат в плоскости пересечения сфер рассеивания. Т.е. в сфере рассеивания условно выделяется область достоверного решения для гипотезы (диагноза) h_i , обозначенная как Ω_i и, которую определяют следующим образом:

$$\Omega_i = \sum_{e_k \in \frac{h_i}{h_j}} e_k F_k^i, \quad (3.6)$$

где $e_k F_k^i$ – экспертная оценка силы проявления k -го симптома e_k при установлении диагноза h_i .

Основной гипотезе (диагнозу) свойственна минимальная область (в пересекемой плоскости сфер) достоверного решения. Когда присутствует вариант, что для нескольких гипотез области достоверного решения равны, в этом случае необходимо выбрать гипотезу, которой характерна максимальная сумма экспертных оценок для силы проявления симптомов во всем комплексе симптомов.

Учет ответов на вопросы, которые задаются по имеющимся симптомам, необходимо производить умножением сравнительной и интегральной оценок наличия гипотезы.

Главному симптому гипотезы будет соответствовать симптом, который имеет наибольшую экспертную оценку его проявления.

На этапе генерации вопроса ЭС по главному симптому происходит формирование очередного вопроса, который направлен на запрос оценки силы проявления этого симптома.

3.3.3. Объяснение решения экспертной системой

Объяснение решения ЭС направлено на отслеживание поведения системы, которое строится на анализе протокола вывода. При этом каждая запись соответствует одной гипотезе (диагнозу) на основании имеющихся свидетельств (симптомов). В этом случае, пользователи-водители имеют

возможность понять, каким образом сформировано решение ЭС на каждом этапе.

Объяснение решения ЭС задается с помощью кортежей:

$$EM = \{GH_i\}, FE, \quad (3.7)$$

где $\{GH_i\}$ – протокол вывода, который включает набор записей в журнале; FE – формирование информации поведения ЭС на различных шагах работы.

Запись в протокол вывода задается следующим кортежем:

$$GH = NH, \{SE_i\}, \{SH_j\}, \{H_k\}, \quad (3.8)$$

где NH – номер записи в протокол вывода; $\{SE_i\}$ – список проявляющихся симптомов; $\{SH_j\}$ – список гипотез (диагнозов); $\{H_k\}$ – множество гипотез (диагнозов).

Далее приведен алгоритм формирования ЭС почему дано объяснение i -ой записи протокола вывода.

Шаг 1. Формирование вопроса: Почему был задан вопрос по i -ому предыдущему симптому из существующего списка?

Шаг 2. Выдается утверждение $[i.1]$: Информация необходима для установления того, что «первая гипотеза из существующего списка гипотез обнаружена».

Шаг 3. Выдается утверждение $[i.1]$: Установлено, что «предыдущие симптомы в $(i-1)$ -ой записи протокола вывода проявлены».

Шаг 4. Выдается утверждение $[i.2]$: Следует, что «если i -ый симптом проявился, то первая гипотеза из существующего списка гипотез обнаружена».

Шаг 5. Производится переход на шаг 1 с номером записи $(i-1)$.

Номер в квадратных скобках представляет следующий смысл:

- объяснение нумеруется первой цифрой;

- утверждения, о которых идет речь в каждом объяснении нумеруются второй цифрой.

Формирование ЭС каким образом дано объяснение в i -ой записи протокола вывода осуществляется следующим алгоритмом.

Шаг 1. Формирование вопроса: Каким образом получено утверждение $[i.0]$?

Шаг 2. Выдается ответ: Применяется комплекс симптомов, который обозначается $[i+1.1]$, для определения первой гипотезы из существующего списка гипотез в $(i-1)$ -ой записи протокола вывода.

Шаг 3. Формирование вопроса: Каким образом применен комплекс симптомов $[i+1.1]$.

Шаг 4. Выдается ответ: Было установлено, что симптомы, которые пересекаются между анализируемым комплексом симптомов и списком предыдущих симптомов $[i+2.1], \dots, [i+k.1]$, проявлены. Таким образом, рассматриваемая гипотеза (диагноз) обнаружена.

Каким образом получены утверждения $[i+2.1], \dots, [i+k.1]$, объяснительный компонент ЭС помнит об этом, поскольку были получены ответы на вопросы по симптомам относительно данных утверждений.

В таблицах 3.6, 3.7 ниже приведены связи между симптомами, свидетельствами и контекстами, симптомами и неисправностями (табл. 3.6, 3.7).

Таблица 3.6 – Примеры связи симптомов, свидетельств и контекстов

Симптом /Свидетельство	Контекст
АКП. Дергается	На месте при переключении из R в D/из D в R
	При трогании с места
	При переключении вверх или вниз
Ходовая. Хруст	При повороте руля
Силовая установка. Свист	При движении спустя время
	После прогрева силовой установки

Таблица 3.7 – Примеры связей симптомов и диагнозов

Симптом / Свидетельство	Диагноз
АКП. Дергается на месте при переключении из R в D/из D в R	Рекомендуется мойка радиаторов. По причине загрязнения радиаторов, происходит плохое охлаждения рабочей жидкости автоматической коробки переключения передач (масла АКП), что ведет к неправильной работе с характерными толчками. Кроме того, следует уделить внимание чистоте самого масла в АКП и наличию последней версии программного обеспечения в модуле управления АКП. Длительная езда с данным симптомом не рекомендуется, однако продолжать движение можно, избегая при этом высоких нагрузок (буксировка, горная местность, пробуксовка, резкие ускорения). Требуется обратиться в сервис
АКП. Дергается на месте при трогании с места	
АКП. Дергается на месте при переключении вверх или вниз	
Ходовая. Хруст при повороте руля	Рекомендуется обратиться на сервис для диагностики подвески. Одна из причин – выход из строя опорного подшипника переднего амортизатора. Возможно продолжить движение с особой осторожностью.
Силовая установка. Свист при движении спустя время	Рекомендуется незамедлительно обратиться в сервис для диагностики. Одна из причин появления «свиста» – выход из строя системы вентиляции картерных газов. Возможно продолжить движение с особой осторожностью, со скоростью не более 80км/ч и на расстояние не более 200км. (но чем меньше, тем лучше). Если продолжить эксплуатацию с неисправностью системы вентиляции картерных газов может «выдавить» сальники распределительных валов что повлечет за собой их замену и замену ремня ГРМ.
Силовая установка. Свист после прогрева силовой установки. При повышении оборотов исчезает	Рекомендуется незамедлительно обратиться в сервис для диагностики. Одна из причин появления «свиста» – износ приводного ремня или выход из строя натяжителя приводного ремня. Возможно продолжить движение с особой осторожностью, со скоростью не более 60км/ч и на расстояние не более 50км. (но чем меньше, тем лучше). Если продолжить эксплуатацию с сильным износом приводного ремня он может оборваться и даже нанести необратимые повреждения силовой установке!

На основе вышеизложенного, было оценено среднее и максимальное количество вопросов при постановке диагноза, которые ЭС задаёт автовладельцу при сборе данных, при условии, что в ЭС имеется соответствующий признак гипотезы. Количество вопросов соответственно равно:

$$Q = 2.3, Q_{max} = 5.$$

3.3.4. Пользовательский интерфейс

Пользовательский интерфейс ЭС представлен в формате ограниченного естественного языка. Кроме того, происходит распределение по ролям в диалоге между пользователями-водителями и ЭС, а также производится организация взаимодействия участников в процессе постановки гипотезы (диагноза) и в случае приобретения знаний.

Пользовательский интерфейс ЭС задается следующим кортежем:

$$PI = CIU, CSOU, \{DU_i, RU_i, \{MUF_j^i\}\}, \quad (3.9)$$

где CIU – преобразовывает входную информацию пользователей-водителей в сообщения ЭС; $CSOU$ – преобразовывает сообщения ЭС в выходную информацию пользователей-водителей; DU_i – диалог между ЭС и i -м пользователем-водителем; RU_i – роль в ЭС i -го пользователя-водителя; $\{MUF_j^i\}$ – множество различных функций i -го пользователя-водителя.

3.4. Выводы по главе 3

В результате проведённых в главе исследований сделано следующее:

- в рамках формирования базы знаний исследуемой экспертной системы разработана технология сбора и обработки данных о симптомах и предварительных диагнозах;
- построены статистические зависимости вероятностей неисправностей автомобиля марки «Volvo» от пробега для различных систем, узлов и деталей;
- для извлечения знаний из статистических данных по неисправностям автомобилей была разработана методика формирования вопросов для автовладельца, на основе которых рассчитывается прогнозный перечень вероятных неисправностей его автомобиля.

ГЛАВА 4.

АДМИНИСТРИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ АВТОВЛАДЕЛЬЦЕМ И СТО. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ РЕШЕНИЙ

4.1. Порядок использования экспертной системы

Разработанная ЭС обеспечивает:

- объединение нечётких правил по свидетельствам (симптомам) снисходящих по дереву знаний для выделения гипотез (нечеткие знания), которое позволяет отображать множество знаний при диагностировании неисправностей автомобиля;
- возможность для расширения БЗ, учитывая полноту и непротиворечивость знаний, с использованием знаний экспертов и извлечение таковых знаний из вновь поступивших статистических данных;
- вывод диагностического решения (гипотезы) при неопределенности информации по свидетельствам (симптомам) выявленных неисправностей определенной марки и модели автомобиля. В этом случае ЭС не останавливается из-за отсутствия необходимой статистической информации по неисправностям;
- в режиме настоящего времени выполняет работу и уточняет диагноз (гипотезу) после каждого очередного вопроса автовладельцу по проявляющимся свидетельствам (симптомам);
- позволяет получить объяснение поставленного диагноза (гипотезы) с уточнением предложенного варианта, каким образом появилось решение;
- удаленный доступ для пользователей-автовладельцев и экспертов (администраторов) с помощью Web-ориентированных технологий, позволяющих связываться с ЭС через Интернет;

- выполнение распределения участников диалога: администратора (экспертов), автовладельцев-пользователей, а также организовать их необходимое взаимодействие.

4.1.1. Формирование лексически корректных вопросов

Один лишь способ, существующий для решения приведённого вопроса – это формирование таблицы, содержащей исчерпывающий набор из различных пар свидетельств и гипотез, с указанием какому из двух свидетельств характерен данный отказ.

В работе [66] даётся определение представлению знаний в ИИ, которое позволяет описать предмет с помощью множества синтаксических и семантических соглашений. В работе [89] также указывается про необходимость использования такого термина как «описание» с целью использования соглашений из представлений знаний для последующего описания рассматриваемых предметов (неисправности автомобиля).

При формальном логическом выводе «Если – то», множество утверждений, входящих в «Если» – называется <предикатом>. В общем случае предикат можно представить, как набора аргументов, которые необходимо вычленив из общего описания (<фразы>), расположенного слева. С помощью синтаксиса представлений набирается набор правил, которые регламентируют объединение символов по формированию выражений на предопределённом языке. Назначенное выражение может быть, как плохо, так и хорошо сформулировано в зависимости от того, насколько формулировка будет соответствовать принятым правилам. Хорошо сформулированные выражения будут иметь смысл. В ИИ принято использование синтаксиса, представленного в виде предиката-аргумента, который имеет следующую форму:

$$\langle \text{фраза} \rangle ::= \langle \text{предикат} \rangle (\langle \text{аргумент} \rangle, \dots, \langle \text{аргумент} \rangle).$$

Приведённая схема показывает, что за определённым количеством предикатов следуют такое же количество аргументов.

Отметим, что на сегодняшний день при поломке владелец транспортного средства может обратиться в сервисный центр по телефону с целью понять приблизительные причины неисправности и варианты выхода из создавшейся ситуации («Как срочно требуется обратиться в сервис?», «Реально ли устранить проблему самостоятельно?», «Требуется ли эвакуатор или движение можно продолжать?») [12]. Система автоматизированной поддержки автовладельцев легкового автотранспорта при корректной ее реализации позволяет получить оперативную и достоверную консультацию с ответами на часто задаваемые вопросы [12]. Эта функция реализована в мобильном приложении, которое связывается с сервером через Интернет и предлагает выбрать неисправность из списка [12]. Далее система задает пользователю не более четырех вопросов и выдает консультационную информацию [12].

От правильного вопроса зависит как уровень достоверности консультации, так и то, насколько хорошо эта консультация удовлетворила запрос пользователя [12]. В итоге клиент сможет получить более подробное (а главное – верное) представление о характере неисправности (или вариантах случившегося), а также рекомендации по принятию правильного решения о дальнейших действиях, начиная с «долить жидкость», заканчивая «немедленно остановиться» [12].

Следует отметить, что в системе автоматизированной поддержки автовладельцев легкового автотранспорта возникают сложности при формулировке лексически корректных вопросов по неисправностям к автовладельцам [12].

Процесс генерации вопросов рассмотрен в параграфе 3.3.1 [12].

Вопросы делятся на [3, 8, 10]: логически корректные (правильно поставленные) и некорректные [12]. Корректные вопросы в качестве предпосылки имеют истинное суждение, некорректные имеют в качестве предпосылки ложное или неопределенное суждение [12].

При формулировке вопросов необходима чёткая формулировка, краткая и понятная автовладельцу [12]. Вопросы должны быть непротиворечивыми [12].

Пример противоречивого вопроса: «Если ни ходовая часть, ни тормозная система не отказали в данный момент, то какая из них вышла из строя?» [12]. Если вопрос сложный, то его следует разбить на несколько [12]. В сложных разделительных вопросах следует перечислять все возможные альтернативы [12].

Во время формирования вопросов, соответствующим всем приведённым требованиям, в системе возникают основные проблемы, связанные со степенью знаний конструкции автомобиля его владельцем, а также с одинаковым внешним проявлением различных неисправностей [12]. Вопрос по симптомам неисправности должен быть сформирован так, чтобы не вызвать негативную реакцию у автовладельца, не провоцировать ложный ответ [12].

Бывает, что корректные вопросы воспринимаются автовладельцем как некорректные из-за непонимания их смысла [12]. Кроме того, существует проблема неправильного понимания вопроса в неявной форме, когда владелец думает, что понял правильно [12]. В обоих случаях необходимо пояснять неизвестные или неверно понимаемые выражения вопросов, или заменять известными (доступными) [12].

Следующей важной проблемой формирования вопросов в системе автоматизированной поддержки автовладельцев легкового автотранспорта является двойственность значений [12]. Например, если автомобиль не заводится, то вариантов неисправностей, связанных с таким отказом, существует множество: отказ систем зажигания и/или электроники (разрядился аккумулятор, отсутствует контакт, повреждена проводка и т.д.), отказ топливной системы (неисправность топливного насоса, проблемы с топливной магистралью и т.д.), неисправность в системе газораспределения (оборван ремень ГРМ, ремень ГРМ перескочил на несколько зубьев, провисание цепи и т.д.) [12]. В зависимости от диагноза о неисправности силовой установки, в одном случае необходим эвакуатор, а в другом неисправность можно устранить самостоятельно (или неспешно, в порядке текущего ремонта) [12].

При формировании вопросов необходимо учесть доступность практически всех понятий и выражений для автовладельца, минимизировать количество используемых терминов[12]. Тогда будет налажен контакт между системой и автовладельцем, что в ряде случаев позволит исключить ложные ответы на задаваемые вопросы [12].

4.1.2. Программная реализация экспертной системы

Программная реализация ЭС заключается в создании Web-приложения с использованием языков программирования. В случае организации системы Web-приложение – клиент – сервер, в роли клиента, выступает браузер, который предназначен для сбора информации для последующей обработки, а также для отображения пользователю-автовладельцу результирующей информации ЭС. В качестве терминала для пользователя-автовладельца служат как мобильные телефоны и планшеты, так и стационарные или портативные компьютеры.

Реализация такого приложения возможна с помощью протокола передачи данных (HTTP), стандартов описания интерфейса (HTML/CSS) и принципов работы, связанный с запросом и ответом.

В настоящее время существует много технологий для создания Web-приложений применяются такие технологии, как JSP, AJAX и др.

Приведённый программный продукт может поддерживать работу с PostgreSQL (система управления БД), являющейся системой управления реляционными базами данных. В этой системе реляционные модели данных базируются на жесткой математической теории [94].

Обеспечение работы Web-приложений базируется на развернутом REST-API на сервере приложений на платформе JEE 7. При этом основным компонентом выступает Web-сервер, который предоставляет пользователям доступ к Web-страницам [120].

Разработка ЭС основывалась на языке программирования java, с использованием интегрированной среды разработки и сервера базы данных.

4.1.3. Работа администратора-эксперта

В разработке любого программного обеспечения, как правило, есть такие роли: заказчик, постановщик задачи, аналитик, проектировщик, программист-кодировщик, тестировщик и др [24, 25, 26]. В реальной жизни один человек нередко играет несколько ролей, так что данное разделение носит теоретический характер. Однако осознание коллективом разработчиков своих функций и задач представляется целесообразным [24, 25, 26]. В сложном проекте совмещение ролей нежелательно. В простом проекте опытный специалист может реализовать всё в одиночку.

Специфика создания ЭС вводит своё разделение ролей. Инициатором создания новой ЭС всё так же является заказчик. И он же является основным пользователем. Мероприятия по администрированию экспертной системы представлены на рис. 4.1.

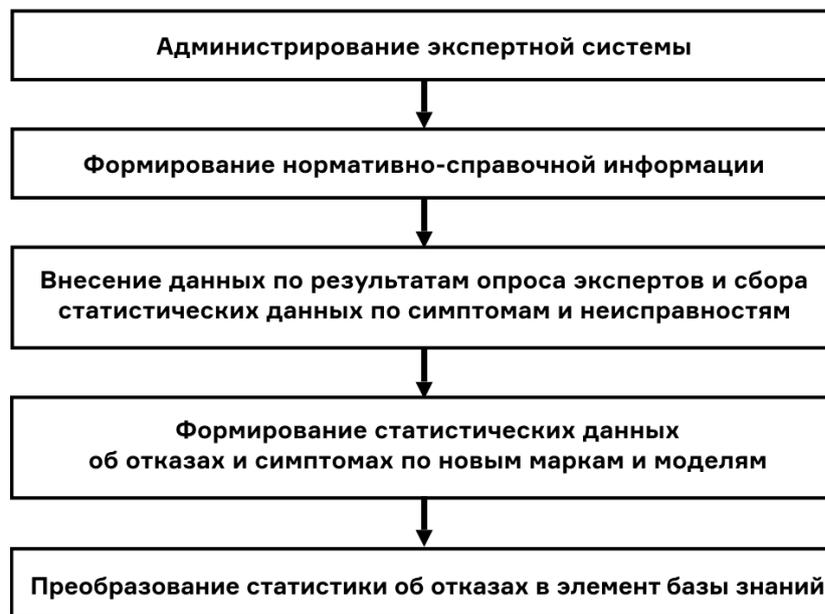


Рис. 4.1 – Мероприятия по администрированию экспертной системы

Для работы администратора-эксперта в ЭС заложена архитектура в виде комбинации, которая состоит из таких шаблонов:

- архитектура, содержащая компоненты в виде пользовательского приложения, сервера приложений, сервера БД;

- архитектура, распределяющая ответственность ЭС между объектами и классами, которые содержат, как определённые данные, так и их поведение;
- архитектура, обеспечивающая независимость в создании и тестировании отдельных компонент, с последующим объединением этих компонент в одну.

Сервер приложений, спроектированный на основе web-технологий, позволяет произвести чёткое разграничение следующих уровней: представления; логики; доступа к данным.

Реализация ЭС произведена на уровне логики, при этом ядро сервера приложений, представлено как программные модули с компонентной технологией, а ядро ЭС включает следующие библиотеки для динамической компоновки:

- отвечающая за представление и преобразование знаний из имеющихся данных;
- заполняющая таблицы БЗ и отвечающая за организацию во время экспертного опроса;
- извлекающая знания из поступающих статистических данных по неисправностям различных марок и моделей автомобилей;
- обучающая БЗ с помощью НС модели с целью настройки входных и выходных параметров, а также весовых коэффициентов;
- проверяющая БЗ на наличие противоречий для дальнейшего их исключения;
- генерирующая дополнительные вопросы, с дальнейшим формированием гипотезы (диагноза) по неисправности, а также, отвечающая за порядок хранения информации в памяти БД и за объяснение, связанное с выводом диагноза;
- отвечающая за выдачу электронной справки и рекомендаций по проведённому диагностическому исследованию;

- отвечающая за сведения про пользователей-автовладельцев и администраторов-экспертов.

Уровень доступа к данным в ЭС реализован через сервер базы данных, т.е. предусмотрено использование единственного источника данных.

Уровень представления ЭС, как отмечалось ранее, осуществляется генерацией страницы в Web-приложении, а содержимое поступает на клиентский браузер или мобильное приложение пользователя.

Сервер БД использует компоненты приложения, указанного выше, для дальнейшего создания самих БД ЭС.

Как отмечалось в предыдущих главах, БД ЭС состоит из ряда таблиц, которые включают в себя экспертные данные; данные статистики; ассоциативные правила; данные по обучению; данные пользователей.

Таблицы перечисленных категорий во взаимодействующей схеме БД имеют связь одна с другой. Для администратора-эксперта, существующая структура БД позволяет повысить производительность и защиту данных, производить модульное проектирование и локализацию поступающих изменений, кроме того, она отличается простотой доступа к данным и реализацией логики размышлений.

Преобразование статистики об отказах различных деталей и узлов автомобилей в элемент БЗ производится в соответствии с алгоритмом, который изображен на рис. 4.2.

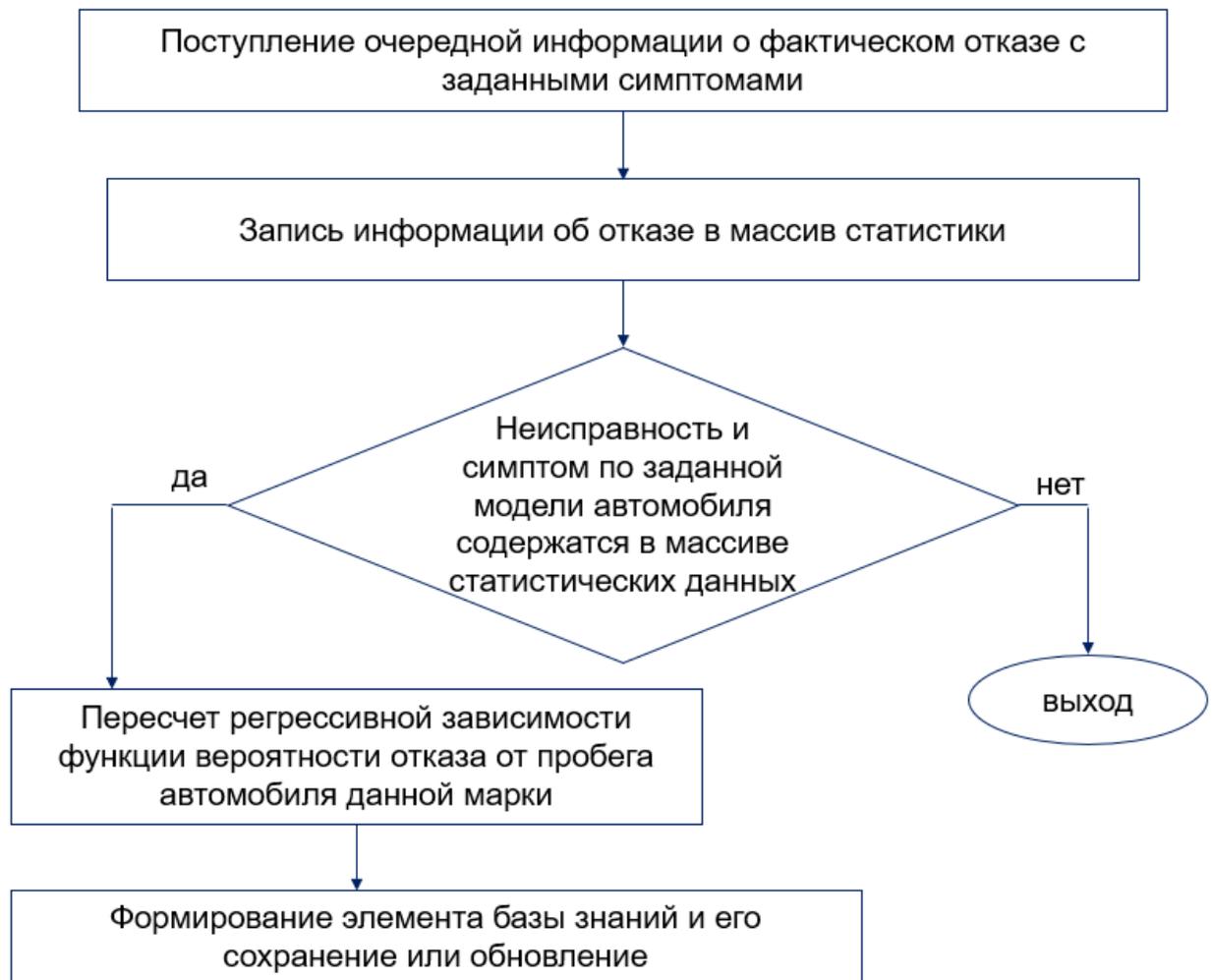


Рисунок 4.2 – Алгоритм формирования / уточнения базы знаний на основе поступающих данных о фактических неисправностях автомобилей и их симптомах

Для пересчёта регрессионной зависимости ЭС функции вероятности отказа автомобиля от пробега необходимо её наличие.

На основе графического отображения статистического облака собранных данных были определены виды зависимости вероятности выхода из строя узлов и агрегатов автомобиля в зависимости от пробега. Далее, с использованием стандартного пакета MS Excel были подобраны виды зависимостей с наибольшим коэффициентом детерминации. Построенные регрессионные зависимости вероятности отказа от пробега автомобиля марки «Volvo» представлены ниже.

Так, регрессионная зависимость вероятности отказа сцепления автомобиля марки «Volvo» в зависимости от пробега с величиной достоверности $R^2 = 0.81$, будет выглядеть следующим образом:

$$P = -7E - 08x^3 + 3E - 05x^2 + 0,0002x + 0,0261, \quad (4.1)$$

где L – пробег автомобиля, тыс. км.

Регрессионные зависимости вероятности отказа автомобиля марки «Volvo» в зависимости от пробега для:

- электронных систем автомобиля с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,79$:

$$P = 5E - 11L^5 - 3E - 08L^4 + 6E - 06L^3 - 0,0004L^2 + 0,0109L - 0,0283 \quad (4.2)$$

- автоматической коробки передач с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,76$:

$$P = 0,0025L \quad (4.3)$$

- элементов подвески с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,73$:

$$P = -3E - 07L^3 + 9E - 05L^2 - 0,002L + 0,0341 \quad (4.4)$$

- системы рулевого управления (включая механическую часть) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,71$:

$$P = -3E - 08x^3 + 2E - 05x^2 - 0,0004x + 0,0278 \quad (4.5)$$

- сообщения «Check Engine» с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,86$:

$$P = 3E - 09L^4 - 1E - 06L^3 + 0,000L^2 + 0,0056L - 0,0194 \quad (4.6)$$

Для каждой марки и модели автомобиля необходимо иметь массив регрессионных зависимостей вероятности отказа автомобиля для уточнения и постановки гипотезы (диагноза) по неисправностям.

4.2. Информационное взаимодействие между автовладельцем и СТО

Полный цикл информационного взаимодействия между автовладельцем и СТО с помощью инструментария ЭС, точнее, web-приложения, на этапе первичного диагностирования неисправности автомобиля, а также запись на технический осмотр с последующим формированием заказ-наряда представлен на схеме, приведённой ниже на рис. 4.3.

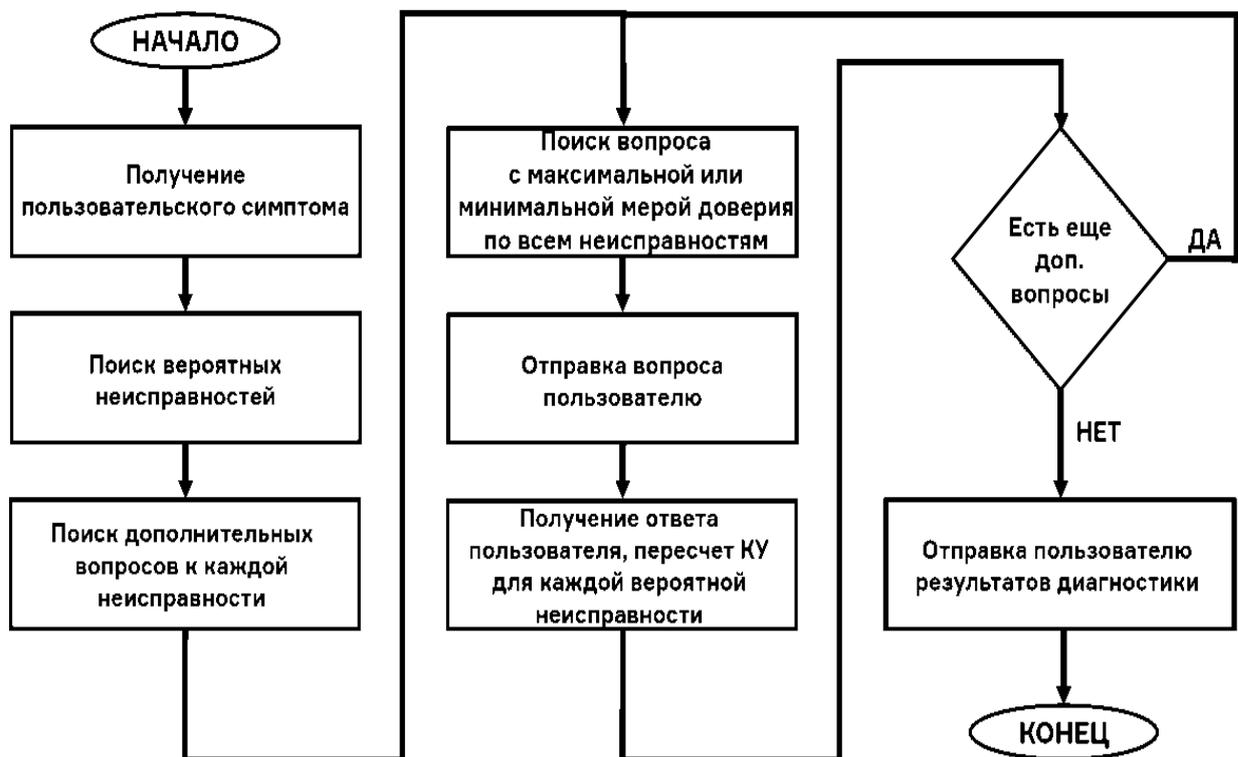


Рисунок 4.3 – Хронология информационного взаимодействия ЭС

На первом этапе при обнаружении симптомов (свидетельств) неисправности автовладелец обращается к ЭС для определения множества вероятных неисправностей и степени их «тяжести». Пример вывода промежуточных результатов диагностирования ЭС в браузерной версии пользовательского интерфейса приведён на рис. 4.4.

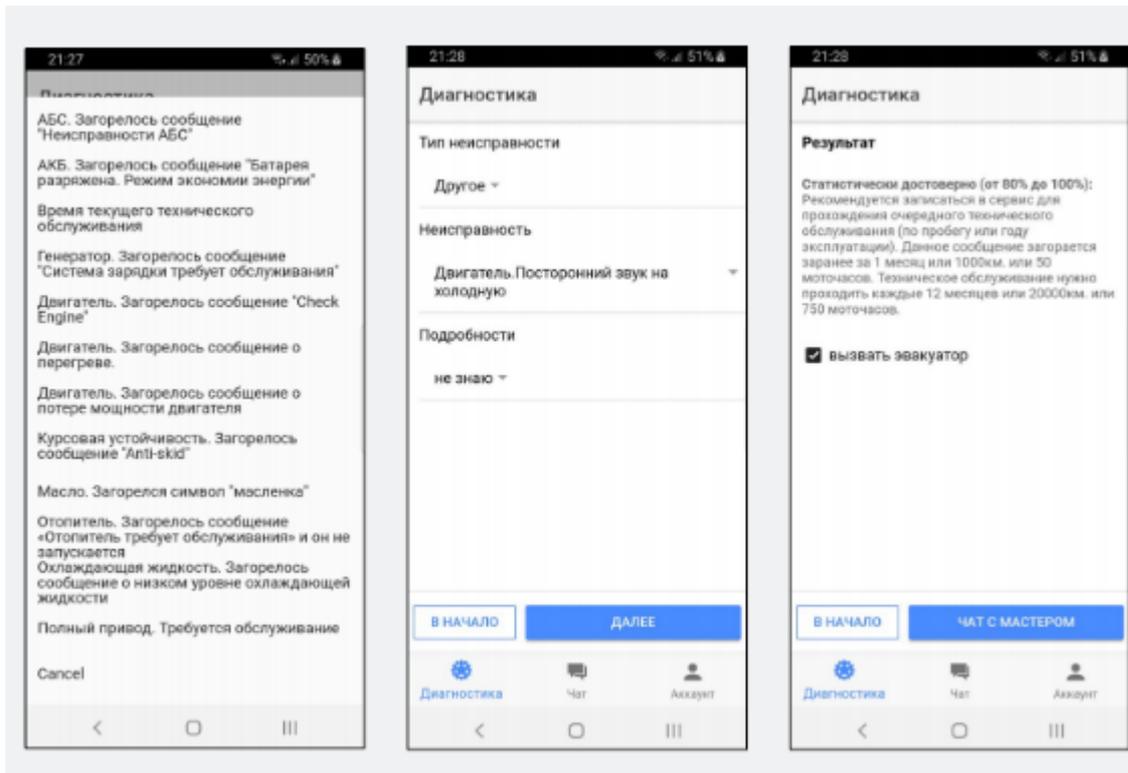


Рисунок 4.4 – Вывод экранных интерфейсов мобильного приложения автовладельца промежуточных результатов диагностирования ЭС

Как видим из рисунка, ЭС выдаёт возможные решения (гипотезы). В случае неудовлетворённости решением, автовладелец продолжает работу с ЭС до установления наиболее вероятного диагноза.

По каждой возможной неисправности ЭС выдает рекомендации автовладельцу, – что необходимо предпринять и какую дистанцию можно проехать на автомобиле без ущерба для безопасности и для узлов автомобиля, чтобы не спровоцировать дальнейшим движением выход из строя дорогостоящих деталей.

На следующем этапе (рис. 4.5) автовладелец имеет возможность послать сообщение в один или несколько автосервисов, подключенных к ЭС через специализированное Web-приложение, послав любое неформализованное сообщение на тему возникшей неисправности. При получении сообщения от автовладельца, сотруднику СТО параллельно отображается информация о диалоге пользователя с самой ЭС. Таким образом, исключается дополнительный информационный обмен автовладельца с СТО.

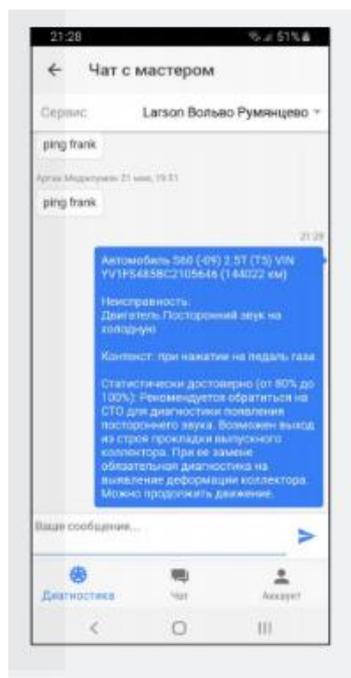


Рисунок 4.5 – Пример отправления сообщения в несколько автосервисов, которые подключены к ЭС через мобильное приложение

На последнем этапе по приезду автовладельца на СТО, ЭС образует обменный файл, загружаемый в АСУ СТО для формирования заказ-наряда. Таким образом, роль мастера-приёмщика существенно нивелирована при формировании заказ-наряда.

4.3. Направления повышения эффективности при внедрении разработанных решений

Исходя из описанного режима эксплуатации ЭС, было выполнено технико-экономическое обоснование разработанных решений от внедрения указанной системы.

Оценку эффективности от внедрения указанной системы можно произвести в двух направлениях:

- для автовладельца – как экономия от потенциальной поломки, которую удалось предотвратить благодаря своевременно предпринятым действиям;

- для автосервисов, у которых формирование заказ-наряда может быть выполнено практически без участия квалифицированного мастера-приемщика.

Внедрение разработанной системы поддержки способствует оптимизации рабочего процесса станции технического обслуживания, уменьшению фонда оплаты труда, общему повышению качества предоставляемых услуг СТО. Неизменно это приведет к повышению удовлетворенности клиентов, для которых произойдет сокращение временных потерь и снижение затрат на владение (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Направления внедрения

4.4. Выводы по главе 4

В результате рассмотрения процесса администрирования экспертной системы и информационного взаимодействия между автовладельцем и СТО сделаны следующие выводы.

1. Во время использования экспертной системы возникает проблема формирования лексически корректных вопросов по неисправностям (симптомам) автомобилей. Для пользователей-автовладельцев и, даже, экспертов может возникать ситуация, когда фраза, выдаваемая экспертной системой, будет носить некоторую многозначность и, соответственно, будет

некорректно воспринята. Поэтому необходима чёткость в построении вопросов по неисправностям и определение соответствующих им диагнозов.

2. В порядке использования экспертной системы приведена программная реализация, а также описана работа администратора-эксперта. При этом построен алгоритм формирования / уточнения базы знаний на основе поступающих данных о фактических неисправностях автомобилей и их симптомах. Кроме того, для пересчёта ЭС функции вероятности отказа автомобиля от пробега были построены регрессионные зависимости для автомобиля марки «Volvo».

3. Информационное взаимодействие между автовладельцем и СТО осуществляется с помощью мобильного приложения, как на этапе первичного, так и заключительного диагностирования неисправности автомобиля, а также производится запись на технический осмотр определённого автомобиля с последующим формированием заказ-наряда.

4. Внедрение разработанной системы поддержки способствует оптимизации рабочего процесса станции технического обслуживания, уменьшению фонда оплаты труда, общему повышению качества предоставляемых услуг СТО. Неизменно это приведет к повышению удовлетворенности клиентов, для которых произойдет сокращение временных потерь и снижение затрат на владение.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате исследования были решены следующие задачи:

1. Выполненный анализ современных тенденций развития информационных технологий показал необходимость использования мобильных приложений для массового использования, в том числе для автовладельцев и автосервисов, в целях решения задач по улучшению качества их взаимодействия (оптимизация процесса формирования заявки на ремонт, первичное обращение в сервис, сбор симптомов неисправностей).

2. Решена задача по научному обоснованию применения современных методов телематики (в том числе мобильного приложения) для создания эффективной экспертной системы по сбору и аналитике внешних проявлений неисправности и автоматизированного формирования заявки на ремонт.

3. Определено, что предложенное теоретическое понятие «единица диагностирования», представляет собой информационную модель, на которой базируются диагностические алгоритмы поиска множества вероятных неисправностей автомобиля и значения данных вероятностей. Информационная модель позволяет получить закономерность проявления свойств объекта диагностики за счет использования информационных множеств, позволившую определить резервы повышения достоверности наполнения заявки на ремонт (результата первичной диагностики) в среднем на 25-30%

4. Доказано, что с помощью разработанной на базе впервые примененного в данной тематике алгоритма Мамдани, оптимизации расчёта апостериорных вероятностей возникновения неисправностей удалось сократить количество диагностических вопросов более чем в 2 раза.

5. Разработан прототип экспертной системы, в виде мобильного приложения, улучшающего достоверность диагностики и повышающего качество услуг станции технического обслуживания.

6. Апробирована методика наполнения экспертной системы данными о неисправностях автомобилей и их симптомах, с использованием накопления

информации «Больших данных», позволяющая расширить применимость мобильного приложения для различных марок автомобилей и широкого спектра станций технического обслуживания.

7. Осуществлено внедрение экспертной системы на СТО «Larson» (ООО «Ларсон В», справка об использовании результатов работы прилагается). В результате использования клиентами автосервиса мобильного приложения экспертной системы были достигнуты существенные улучшения показателей работы предприятия. Оптимизация записи на сервис и сокращение временных потерь в процессе формирования заявки на ремонт привели к увеличению загрузки каждого поста слесарного цеха в среднем на 1.9н/ч в смену. Кроме того, показатель лояльности клиентов (по системе NPS) в среднем вырос с 8.24 до 9.92.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абт К.Ч. Методика составления сценариев / К.Ч. Абт, Р.Н. Фостер, Р.Г. Ри // Руководство по научно-техническому прогнозированию. – М.: Прогресс, 1977. – 287 с.
2. Аверин А.Н., и др. Нечеткие множества в моделях управления искусственного интеллекта / Под ред. Д.А Пospelова. – М.: Наука, 1986. – 305 с.
3. Аверкин А.Л., Клещев А.С. Работа с экспертами и формализация качественных описаний // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. – М.: ВИНТИ, 1984. – 252-281 с.
4. Аверченков В.И. Системы организационного управления: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.В. Ерохин – 3-е изд., стереотип. – М.: ФЛИНТА, 2011. – 208 с.
5. Агуреев И.Е. Области применения нелинейных моделей механизмов преобразования движения в тепловых силовых установках. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016 №12-2 С.305-310.
6. Агуреев И. Е., Хмелев Р. Н. Радько А. Е. Разработка и исследование математической модели системы управления силовой установкой ЗМЗ // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015 Т.1 С 14-17.
7. Адаменко А.Н., Кучуков А.М. Логическое программирование и Visual Prolog. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 295 с.
8. Алексеева Е.Ф. и др. Общие вопросы проектирования экспертных систем / Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. – М.: ВИНТИ, 1984. – 226-254 с.
9. Андерсон Д. Дискретная математика и комбинаторика / Пер. с англ. М.М. Беловой. – М.: Издательский дом Вильямс, 2004. – 384 с.

10. Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы: Учебник для вузов / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 423 с.
11. Бакулов П. А. Автоматизация формирования заявки на ремонт частного легкового автотранспорта через удаленное взаимодействие клиента и СТО / Бакулов П. А. // Инновации и инвестиции. – 2014. – №4. – 135-138 с.
12. Бакулов П.А. Исследование подходов к формированию лексически корректных вопросов в системе автоматического диагностирования неисправности автомобиля / Бакулов П. А. // Транспортное дело России. – 2015. – №5. – 171-173 с.
13. Бакулов П.А. Нечеткая логика в задаче автоматизированного удаленного диагностирования неисправности автомобиля по имеющимся косвенным признакам / Бакулов П. А. / Кудрявцев А. А. // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – №7. – 49-51 с.
14. Балдин К.В., Уткин В.Б. Информационные системы в экономике: Учебник. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2006. – 395 с.
15. Бармин И.В., Юсупов Р.М., Прохорович В.Е. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации // Информационные технологии. – 2000. – №5. – 7-12 с.
16. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.
17. Бонохова А.О. Исследование данных опросов экспертов для заполнения базы знаний информационной экспертной системы вида распространения оперативной рекламы // Инженерный Вестник Дона, 2012. – №2. – 45-52 с.

18. Боровских Ю.И., Буралев Ю.В., Морозов К.А., Никифоров В.М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. – М.: Высшая школа, 1988. – 259 с.
19. Борц А.Д., Закин Я.Х., Иванов Ю.В. Диагностика технического состояния автомобиля. – М.: Транспорт, 2008. – 159 с.
20. Братко И. Программирование на языке Пролог для искусственного интеллекта. – М.: Мир, 1990. – 201 с.
21. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Высшая школа, 2001. – 412 с.
22. Вилкас Э.И., Майминас Е.З. Решения: теория, информация, моделирование. – М.: Радио и связь, 1981. – 245 с.
23. Власов В. М., Иванова Е.В. Методика диагностирования бортового оборудования АСМ-ПП. – М.: Автотранспортное предприятие. 2012. № 3. С. 10-13
24. Власов В. М., Техническое обслуживание и ремонт автомобилей (8-е изд.). В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М. Круглов, под ред. В. М. Власова. Москва, 2012.
25. Власов В. М., Богумил В.Н., Ефименко Д. Б., Конин И. В. Основы организации научно-исследовательской работы в области телематики на автомобильном транспорте. Москва, 2015.
26. Власов В. М., Богумил В.Н., Ефименко Д. Б., Конин И. В. Отраслевые требования к проектированию и внедрению систем телематики на автомобильном транспорте. Москва, 2016.
27. Гаврилова Т., Хорошевский В. Базы знаний интеллектуальных систем: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2001. – 312 с.
28. Галицкий И.И., Чугуев В.Л., Щербинин Ю.Ф. Безопасность движения на автомобильном транспорте: Справочник. – М.: Транспорт, 1988. – 345 с.
29. Гилев С.Е., Горбань А.Н., Миркес Е.М. Малые эксперты и внутренние конфликты в обучаемых нейронных сетях // Доклады Академии Наук СССР. – 1991. – Т.320. – №1. – 220-223 с.

30. Горбань А.Н., Миркес Е.М. Логически прозрачные нейронные сети // Изв. ВУЗов. Приборостроение, 1996. – Т. 39. – № 1. – 64-67 с.
31. Горбань А.Н., Миркес Е.М. Оценки и интерпретаторы ответа для нейронных сетей двойственного функционирования // Изв. ВУЗов. Приборостроение, 1996. – Т. 39. – № 1. – 5-14 с.
32. Горбань А.Н., Россиев Д.А. Нейронные сети на персональном компьютере. – Новосибирск: Наука, 1996. – 275 с.
33. Горбатов В.А. Фундаментальные основы дискретной математики. – М.: Наука, 2000. – 234 с.
34. Горбатов В.А., Смирнов М.И., Хлытчиев И.С. Логическое управление распределенными системами. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 241 с.
35. ГОСТ 25478-82. Автомобили грузовые и легковые, автобусы, автопоезда. Требования безопасности к техническому состоянию. методы проверки. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 28 с.
36. Гребенников А.С. Концепция индивидуального управления техническим состоянием автомобилей в процессе эксплуатации. / А.С. Гребенников, С. А. Гребенников, Ш. К. Гусенов, А. А. Кузьмичев, А. С. Обельцев // Техническое регулирование в транспортном строительстве – 2018. – № 1 (27). – С. 103-108.
37. Гребенников, А.С. Методы поддержания технико-экономических показателей автомобиля в эксплуатации. / А. С. Гребенников, С. А. Гребенников, А. С. Обельцев // Материалы 6-ой Международной научно-практической конференции "Агроинфо-2015". В сборнике: Информационные технологии, системы и приборы в АПК – 2015. – С. 296-301.
38. Гурин Л.С, Дымарский Я.С, Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. – М.: Советское радио, 1968. – 198 с.
39. Гуцин А.Н., Радченко И.А. Экспертные системы: учебное пособие. Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2007. – 402 с.

40. Денисов А. С., Данилов И. К. Исследование режима диагностирования кривошипно-шатунной группы дизельных силовой установкой по толщине масляного слоя. //Вестник СГТУ (Надежность машин). – 2003 №1 С. 71-75
41. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.
42. Джексон П. Введение в экспертные системы. 3-е издание. Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 984 с.
43. Диагностика электронной системы управления силовой установки автомобиля. – Астрель: АСТ, 2003. – 59 с.
44. Диагностика электронных систем автомобилей приборами НПП НТС / Новые технологические системы. – Самара, 2008. – 178 с.
45. Дли М.И. Локально-аппроксимационные модели сложных объектов. – М.: Наука, Физматлит, 1999. – 112 с.
46. Добров В.В. Диагностика неисправностей легкового автомобиля. – Астрель: АСТ, 2006. – 60 с.
47. Долин Г. Что такое ЭС. – М.: Компьютер Пресс, 1992. – 20 с.
48. Жуков Б.М. Исследование систем управления. – М.: Дашков и К, 2011. – 208 с.
49. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
50. Змитрович А. И. Интеллектуальные информационные системы. – Минск: НТООО «ТетраСистемс», 1997. – 367 с.
51. Искусственный интеллект: в 3-х кн. Кн.1. Системы общения и экспертные системы. Справочник / Под ред. Э.В. Попова – М.: Радио и связь, 1990. – 380 с.
52. Искусственный интеллект: Применение в интегрированных производственных системах / Под ред. Э. Кьюсиака; Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1991. – 278 с.

53. Исследование операций (методологические аспекты). – М.: Наука, 1972. – 214 с.
54. Кабанов Е.И., Пищук В.Я. Техническое обслуживание автомобилей. – М.: Транспорт, 1989. – 157 с.
55. Калинина А.Э., Калинина В.В., Петрова Е.А. Экспертные системы: учебно-методическое пособие. – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2009. – 196 с.
56. Канышев С.Л. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей «Тойота Королла», «Карина», «Терцел», «Скарлет». – М.: Арго-книга, 1996. – 300 с.
57. Киселева Н.Е, Панкова Л.А., Шнейдерман М.В. Структурный подход к анализу и обработке экспертного опроса. – Автоматика и телемеханика, 1975. – №4. – 156-162 с.
58. Корнеев В.В., Греев А.Ф., Васютин СВ. Базы: Интеллектуальная обработка информации. – М.: Нолидж, 2000. – 352 с.
59. Корнилов Ю.Н. Технология обработки парных сравнений при проведении экспертной оценки / Записки Горного института. Современные проблемы освоения территорий. – СПб, 2013. – Т. 204. – 171-174 с.
60. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов» / Социология. – 2005. – №20. – 12-20 с.
61. Кофман А. Методы и модели исследования операций. – М.: Мир, 1966. – 307 с.
62. Кофман А., Алуха Х. Хил. Введение теории нечетких множеств: управление предприятием. – Минск: Высшая школа, 1992. – 223 с.
63. Красношеков П.С, Петров А.А. Принципы построения моделей. – М. : Изд-во МГУ, 1983. – 242 с.
64. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 382 с.
65. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М., 2001. – 644 с.

66. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей. – М.: Транспорт, 2008. – 272 с.
67. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979. – 301 с.
68. Ларичев О.И. Объективные модели и субъективные решения. – М.: Наука, 1987. – 185 с.
69. Литвак Б.Г. Управленческие решения. – М.: Изд-во «ЭКМОС», 1998. – 215 с.
70. Лозовский В.С. Семантические сети // Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. – М.: ВИНТИ, 1984. – Т. 6. – 84-120 с.
71. Ломакин Д.О. Комплексная оценка уровня качества услуг предприятий автосервиса. Диссертация на соискание кандидата технических наук., 2010.
72. Лукичева Л.И., Егорычев Д.Н. Управленческие решения. – М.: Омега Л, 2009. – 383 с.
73. Льюс Р.Д., Райфа Х. Игры и решения. – М.: Иностранная литература, 1961. – 405 с.
74. Марселлус Д. Н. Программирование экспертных систем на Турбо Прологе. – М.: Финансы и статистика, 1994. – 322 с.
75. Махлуп Ф. Производство и распространение знаний в США / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1966. – 462 с.
76. Мильнер Б.З. Концепция управления знаниями в современных организациях / Российский журнал менеджмента. – 2003. – № 1. – 45-52 с.
77. Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. – М.: Транспорт, 2008. – 267 с.
78. Мулен Э. Теория игр с примерами из математической экономики. – М.: Мир, 1985. – 247 с.

79. Мыльник В.В., Титаренко Б.П., Волочиенко В.А. Исследование систем управления: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Академический Проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2003. – 352 с.
80. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему / Пер. с англ. Н.Н. Слепова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 365 с.
81. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. – М.: Мир, 1978. – 352 с.
82. Нейроинформатика / А.Н.Горбань, В.Л.Дунин-Барковский, А.Н.Кирдин, Е.М.Миркес, А.Ю.Новоходько, Д.А.Россиев, С.А.Терехов, М.Ю.Сенашова, В.Г.Царегородцев. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998. – 296 с.
83. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 168 с.
84. Основы искусственного интеллекта / Б.В. Костров, В.Н. Ручкин, В.А.Фулин. – М.: «ДЕСС», «ТехБук», 2007. – 192 с.
85. Осуга С. Обработка знаний: Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 321 с.
86. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Методы обработки экспертной информации: учебно-метод. пособие / ГУАП. – СПб, 2005. – 42 с.
87. Пархоменко И.А. Техническое обслуживание автомобилей японского производства. – Новосибирск, 1996. – 196 с.
88. Питер Джексон. Введение в экспертные системы (3-е издание). – М.: Диалектика, 2001. – 645 с.
89. Плеханов И.П., Сабинин А.А., Черняйкин В.Л. Учебное пособие водителя автомобиля 2-го класса. – М.: ДОСААФ, 1973. – 214 с.
90. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1988. – 78 с.
91. Попов Э.В. Экспертные системы реального времени / Открытые системы. – 1995. – 2(10). – С. 18-23.
92. Попов Э.В. Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1987. – 265 с.

93. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б. Статические и динамические экспертные системы. Учеб. Пособие. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 384 с.
94. Поспелов Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. – М.: Наука, 1998. – 231 с.
95. Представление и использование знаний: Пер. с япон. / Под ред. Х.Уэно, М. Исидзука. – М.: Мир, 1989. – 247 с.
96. Прикладные нечеткие системы / Под ред. Т. Тэрано, К. Асаи. М.: Мир, 1993. – 368 с.
97. Принятие решений и анализ экспертной информации / Вопросы кибернетики. – М., 1989. – №151. – 33-38 с.
98. Приобретение знаний: Пер. с япон. / Под ред. С. Осуги, Ю. Саэки. – М.: Мир, 1990. – 234 с.
99. Реальность и прогнозы искусственного интеллекта: Сб. статей; Пер. с англ. / Под ред. и с предисл. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1987. – 497 с.
100. Ремонт машин / Под ред. Тельнова Н.Ф. – М.: Агропромиздат, 2007. – 560 с.
101. Романов В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике. – М.: Экзамен, 2003. – 321 с.
102. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: НИИАТ, 1982. – 86 с.
103. Ручкин В.Н. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы / В.Н. Ручкин, В.А.Фулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 240 с.
104. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. – М.: Советское радио, 1977. – 189 с.
105. Саати Т. Принятие решений, Методы анализа иерархий. – М.: Радио и связь. 1993. – 188 с.
106. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и Связь, 1991. – 164 с.

107. Саати Т.Л. Математические методы исследования операций. – М.: Воениздат, 1963. – 211 с.
108. Сафонов В.О. Экспертные системы – интеллектуальные помощники специалистов. – СПб: Санкт-Петербургская организация общества «Знания» России, 1992. – 245 с.
109. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы. – М.: Мир, 1984. – 232 с.
110. Спичкин Г.В. Диагностирование технического состояния автомобилей. – М.: Высшая школа, 2007. – 254 с.
111. Таунсенд К., Фоxt Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ: Пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 342 с.
112. Таунсенд К., Фоxt Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 211 с.
113. Теория выбора и принятия решений. – М.: Наука, 1982. – 243 с.
114. Техническая эксплуатация автомобилей / Под ред. Г.В. Крамаренко. – М.: Транспорт, 2007. – 365 с.
115. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Под ред. Е.С. Кузнецова. – М.: Транспорт, 2007. – 413 с.
116. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / С.И. Румянцев и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.
117. Убейко В.Н. Экспертные системы. – М.: МАИ, 1992. – 243 с.
118. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 355 с.
119. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: пер. с англ. / Под ред. В.Л. Стефанюка. – М.: Мир, 1989. – 369 с.
120. Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учеб. пособие / Ю.И. Боровских, Ю.В. Буравлев, К.А. Морозов и др. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 1997. – 518 с.

121. Харазов А.М, Кривенко Е.И. Диагностирование легковых автомобилей на станциях технического обслуживания. – М.: Высш. шк., 1982. – 270 с.
122. Хопкрофт Дж.Э., Ульман Дж.Д. Структуры данных и алгоритмы. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. – 301 с.
123. Филиппова Н. А., Власов В. М. Методология повышения эффективности и надежности транспортно-технологической системы севера России. Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2019 Т. 22 №6 С. 55-65.
124. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – Спб.: БХВ-Петербург, 2010. – 608 с.
125. Эндрю А. Искусственный интеллект: Пер. с англ. / Под ред. Поспелова Д.А. – М.: Мир, 1985. – 402 с.
126. Юдин Д.Б. Математические методы управления в условиях неполной информации. – М.: Советское радио, 1974. – 297 с.
127. Ahuja R., Magnati T., Orlin J. Network Flows: Theory, Algorithms and Applications, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 1993.
128. Aleksander I., Morton H. The logic of neural cognition // Adv. Neural Comput. – Amsterdam etc., 1990. – pp. 97-102.
129. Baba N. New Topics in Learning Automate Theory and Applications. Springer, 1985. – N71. – 131 p.
130. Bartsev S.I., Okhonin V.A. Optimization and Monitoring Needs: Possible Mechanisms of Control of Ecological Systems. Nanobiology, 1993, v.2, p.165-172.
131. Bazaraa M., Jarvis J., Sherali M. Linear Programming and Network Flows, 2nd ed., Wiley, New York, 1990.
132. Betti, G., Cheli B. and Cambini R. A statistical model for the dynamics between two fuzzy states: theory and an application to poverty analysis, Metron, 2004, 62, pp. 391-411.

133. Cerioli A., Zani S. “A Fuzzy Approach to the Measurement of Poverty”, in Dagum C. and Zenga M. (eds.), *Income and Wealth Distribution, Inequality and Poverty*, Springer Verlag, Berlin, 1990, pp. 272-284.
134. Cheli B., Betti G.: “Totally Fuzzy and Relative Measures of Poverty Dynamics in an Italian Pseudo Panel”. 1985-1994. *Metron* 57(1-2), 1999, pp.83-104.
135. Cheli B., Ghellini G., Lemmi A., Pannuzi N. “Measuring Poverty in the Countries in Transition via TFR Method: the Case of Poland in 1990-1991”, *Statistics in Transition*, 1(5), 1994, pp. 585- 636.
136. Cheli B., Lemmi A. “A ‘Totally’ Fuzzy and Relative Approach to the Multidimensional Analysis of Poverty”, *Economic Notes*, 24, 1995, pp. 115-134.
137. Chen S. and Hwang C. *Fuzzy Multiple Decision Making*, Springer-Verlag, Berlin, 1992.
138. Clark, S., Hemming R., Ulph D. “On Indices for the Measurement of Poverty”, *The Economic Journal*, 91, 1981, pp. 515-526.
139. Dagum C. “Income Inequality Measures and Social Welfare Functions: A Unified Approach”, in Dagum C. and Lemmi A. (eds.), *Income Distribution, Inequality and Poverty, Research on Income Inequality*, vol. 6, JAI Press, CN, USA., 1995, pp. 177-199.
140. Dagum C., Gambassi R., Lemmi A. “New Approaches to the Measurement of Poverty”, *Poverty Measurement for Economies in Transition in Eastern European Countries*, Polish Statistical Association and Central Statistical Office, Warsaw, 1992, pp. 201-225.
141. *Engine Diagnosis. Service Training Textbook. C710*. Honda Motor Co LTD, Tokyo, 1993. – p. 75.
142. Evans J.R., Mineka E. *Optimization Algorithms for Networks and Graphs*, 2nd ed., Marcel kker. New York, 1992.
143. Foster J., Greer J., Thorbecke E. “A Class of Decomposable Poverty Measures”, *Econometrica*, 52, 1984, pp. 761-767.

144. Fu H.C., Shann J.J. A fuzzy neural network for knowledge learning // *Int. J. Neural Syst.* – 1994. – V.5, N.1. – pp. 13-22.
145. Fukushima K. Neocognitron: A self-organizing Neural Network model for a Mechanism of Pattern Recognition uneffected by shift in position // *Biological Cybernetics.* – 1980. – V. 36, № 4. – pp. 193-202.
146. Fulcher J. Neural networks: promise for the future? // *Future Generat. Comput. Syst.* – 1990-1991. – 6, № 4. – pp. 351-354.
147. Gass S. Model World: Danger, Beware the User as a Modeler, *Interfaces*, Vol. 20, No. 3, pp. 60-64, 1990.
148. Gemignani M. C. Liability for malfunction of an expert system // *IEEE Conf. Manag. Expert Syst. Program and Proj.*, Bethesda, Md. Sept. 10-12, 1990: *Proc.- Los Alamitos (Calif.) etc.*, 1990. – pp. 8-15.
149. Genis C. T. Relaxation and neural learning: points of convergence and divergence // *J. Parallel and Distrib. Comput.* – 1989. – 6, № 2. – pp. 217-244.
150. Gileva L.V., Gilev S.E. Neural Networks for binary classification // *AMSE Transaction, Scientific Siberian, A*, 1993, Vol. 6. Neurocomputing, pp. 135-167.
151. Gorban A.N., Waxman C. Neural networks for political forecast. *Proceedings of the WCNN'95 (World Congress on Neural Networks'95, Washington DC, July 1995).* – pp. 179-184.
152. Gordienko P. Construction of efficient neural networks // *Proceedings of the International Conference on Neural Information Processing (Oct. 17-20, 1994, Seoul, Korea) V.1.* – pp. 366-371.
153. In Jae Myung, Sridhar Ramamoorti, Andrew D. Bailey, Jr. Maximum Entropy Aggregation of Expert Predictions. *Manag. Sci.*, 1996. – 42. – № 10. – P.P 46-55.
154. Martinetti E.C. “A New Approach to Evaluation of Well-Being and Poverty by Fuzzy Set Theory”, *Giornale degli economisti e annali di economia*, 53, 1994. – pp. 367-388.

155. Noghin V.D. What is the relative importance of criteria and how to use it in MCDM // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, v.507 ("Multiple Criteria Decision Making in the New Millennium", eds.Koksalan, S. Zionts), Springer, 2001, pp. 59-68.
156. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process [text] // Int. J. Services Sciences, 2008. – Vol.1, N 1. – pp. 83-98.
157. Sen A.K. "Capability and Well-Being", in Nussbaum M.C. and Sen A.K. (eds), The Quality of Life, Clarendon Press, Oxford, 1993, – pp. 30-53.
158. Sen A.K. Poverty: An Ordinal Approach to Measurement, *Econometrica*, 44, 1976. – pp. 219-231.
159. SHOP MANUAL. Honda Civic 92. Maintenance, repair and construction. Honda Motor. Co., LTD., Tokyo, 1992.
160. Willemain T.R. Insights on Modeling from a Dozen Experts, *Operations Research*, Vol. 42, No. 2, pp. 213-222, 1994.
161. Zadeh L.A. "Fuzzy Sets", *Information and Control*, 8, 1965. – pp. 338-353.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Симптомы неисправностей автомобилей Вольво

Таблица А1. Платформа Р1.

№ п/п	Симптом
1.	Автомобиль не запускается
2.	Автомобиль не открывается/не закрывается брелоком с первого раза
3.	Автомобиль плохо прогревается
4.	Вибрация на холостом ходу
5.	Вибрация по кузову на холостом ходе
6.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)
7.	Вибрация при торможении
8.	Вибрация при ускорении
9.	Гул при движении (сзади)
10.	Гул при движении (спереди)
11.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
12.	Загорелось сообщение SRS
13.	Загорелось сообщение о негорящей лампе
14.	Загорелось сообщение о низком уровне охлаждающей жидкости
15.	Загорелось сообщение о прохождении ТО
16.	Запах топлива в салоне
17.	Кнопки центральной консоли плохо реагируют
18.	Металлический стук под капотом
19.	Не открывается багажник
20.	Не работает кондиционер
21.	Не работает омыватель фар
22.	Не работает розетка 12V / "прикуриватель"
23.	Не работает щетка заднего стекла
24.	Неисправность подсветки панели приборов
25.	Неоднородное ускорение, провалы
26.	Плохо работают форсунки омывателя ветрового стекла
27.	Повышенный расход моторного масла
28.	Посторонний звук при торможении
29.	Свист в салоне
30.	Свист под капотом
31.	Следы масла под капотом

№ п/п	Симптом
32.	Следы под машиной в задней части
33.	Следы под машиной в передней части
34.	Стояночный тормоз не работает
35.	Стук при езде (спереди)
36.	Стук при прохождении неровностей
37.	Толчки при переключении АКПП
38.	Хруст (щелчки) при вращении рулевого колеса
39.	Циклические "чиркающие" звуки при движении

Таблица А2. Платформа Р2.

№ п/п	Симптом
1.	Автомобиль не запускается
2.	Автомобиль не открывается/не закрывается брелоком с первого раза
3.	Автомобиль плохо прогревается
4.	Болтается лючок бензобака
5.	Вибрация на холостом ходу
6.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)
7.	Вибрация при торможении
8.	Вибрация при ускорении
9.	Гул при движении (сзади)
10.	Гул при движении (спереди)
11.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
12.	Загорелось сообщение ANTI-SKID
13.	Загорелось сообщение SRS
14.	Загорелось сообщение о негорящей лампе
15.	Загорелось сообщение о низком уровне охлаждающей жидкости
16.	Загорелось сообщение о прохождении ТО
17.	Запах топлива в салоне
18.	Запуск автомобиля происходит не с первого раза
19.	Затруднение вращения задних колёс
20.	Металлический стук под капотом
21.	Не открывается багажник
22.	Не работает кондиционер
23.	Не работает омыватель фар
24.	Не работает очиститель ветрового стекла
25.	Не работает полный привод
26.	Не работает розетка 12V / "прикуриватель"

№ п/п	Симптом
27.	Не работает щетка заднего стекла
28.	Неисправность подсветки панели приборов
29.	Неоднородное ускорение, провалы (и/или загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания")
30.	Парковочные датчики постоянно сигнализируют
31.	Плохо работают форсунки омывателя ветрового стекла
32.	Повышенный расход моторного масла
33.	Посторонний звук при работе дополнительного отопителя
34.	Посторонний звук при торможении
35.	Рулевое колесо вращается с затруднением
36.	Свист в салоне
37.	Свист под капотом
38.	Следы жидкости в салоне спереди справа
39.	Следы масла под капотом
40.	Следы под машиной в задней части
41.	Следы под машиной в передней части
42.	Стояночный тормоз не работает
43.	Стук при вращении рулевого колеса
44.	Стук при езде (спереди)
45.	Стук при прохождении неровностей
46.	Толчки при переключении АКПП
47.	Хлюпающий звук при прохождении неровностей
48.	Циклические "чиркающие" звуки при движении
49.	Щелчки при переключении АКПП из положения "R" в "D" и наоборот
50.	Щелчки при проезде неровностей

Таблица А3. Платформа Р3.

№ п/п	Симптом
1.	Автомобиль "уводит" в сторону во время движения
2.	Автомобиль не запускается
3.	Автомобиль не открывается/не закрывается брелоком с первого раза
4.	Автомобиль плохо прогревается
5.	Вентилятор двигателя работает непрерывно (после выключения а/м)
6.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)
7.	Вибрация при торможении
8.	Вибрация при ускорении
9.	Горит индикация "пристегнуть ремень" и соответствующее звуковое предупреждение
10.	Гул при движении (сзади)

№ п/п	Симптом
11.	Гул при движении (спереди)
12.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
13.	Загорелось сообщение о негорящей лампе
14.	Загорелось сообщение о неисправности ближнего света фар
15.	Загорелось сообщение о неисправности дополнительного отопителя
16.	Загорелось сообщение о неисправности зарядки
17.	Загорелось сообщение о неисправности парковочного ассистента
18.	Загорелось сообщение о неисправности сажевого фильтра
19.	Загорелось сообщение о неисправности системы полного привода
20.	Загорелось сообщение о неисправности трансмиссии
21.	Загорелось сообщение о низком уровне охлаждающей жидкости
22.	Загорелось сообщение о перегреве двигателя
23.	Загорелось сообщение о прохождении ТО
24.	Загорелось сообщение об открытом капоте
25.	Запотевание окон в салоне автомобиля
26.	Запуск автомобиля происходит не с первого раза
27.	Затруднение заправки ("отстреливает" заправочный пистолет)
28.	Зеркало заднего вида раскладывается дальше штатного положения
29.	Не запускается дополнительный отопитель
30.	Не работает замок двери (любой)
31.	Не работает кондиционер
32.	Не работает омыватель фар
33.	Не работает очиститель ветрового стекла
34.	Не работает розетка 12V / "прикуриватель"
35.	Неоднородное ускорение, провалы (и/или загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания")
36.	Неправильно работает электропривод 5ой двери (крышки багажника)
37.	Плохо работают форсунки омывателя ветрового стекла
38.	Повышенный расход моторного масла
39.	Посторонний звук при открытии/закрытии 5ой двери (крышки багажника)
40.	Посторонний звук при торможении
41.	Рулевое колесо вращается с затруднением
42.	Свист в салоне
43.	Свист под капотом
44.	Скрип пластиковых панелей интерьера
45.	Следы масла под капотом
46.	Следы под машиной в передней части
47.	Стук при вращении рулевого колеса
48.	Стук при езде (спереди)

№ п/п	Симптом
49.	Стук при прохождении неровностей
50.	Толчки при начале движения (АКПП в положении "D")
51.	Толчки при переключении АКПП
52.	Хруст (щелчки) при вращении рулевого колеса

Таблица А4. Платформа Р4

№ п/п	Симптом
1.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)
2.	Вибрация при торможении
3.	Загорелось сообщение о прохождении ТО
4.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
5.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
6.	Загорелось сообщение о негорящей лампе
7.	Загорелось сообщение о низком уровне охлаждающей жидкости
8.	Не работает кондиционер
9.	Не работает розетка 12V / "прикуриватель"
10.	Повышенный расход моторного масла
11.	Свист под капотом
12.	Следы под машиной в передней части
13.	Стук при прохождении неровностей
14.	Хруст (щелчки) при вращении рулевого колеса

Таблица А5. Платформа SPA.

№ п/п	Симптом
1.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)
2.	Вибрация при торможении
3.	Загорелось сообщение о прохождении ТО
4.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
5.	Загорелось сообщение о неисправности стояночного тормоза
6.	Загорелось сообщение о низком уровне охлаждающей жидкости
7.	Не открываются/закрываются задние двери
8.	Не работает кондиционер
9.	Не работает розетка 12V / "прикуриватель"

№ п/п	Симптом
10.	Свист под капотом
11.	Следы под машиной в передней части
12.	Стук при прохождении неровностей

Таблица А6. Платформа SМА.

№ п/п	Симптом
1.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)
2.	Вибрация при торможении
3.	Загорелось сообщение о прохождении ТО
4.	Загорелось сообщение "система двиг. треб. обслуживания" и/или лампа "Check engine"
5.	Загорелось сообщение о низком уровне охлаждающей жидкости
6.	Не работает кондиционер
7.	Не работает розетка 12V / "прикуриватель"
8.	Свист под капотом
9.	Следы под машиной в передней части
10.	Вибрация при движении (на скорости свыше 60 км/ч и нарастет с увеличением скорости)

Приложение Б



Рисунок Б.1 – Методы диагностирования



Рисунок Б.2 – Развитие систем и методов технического диагностирования

Приложение В

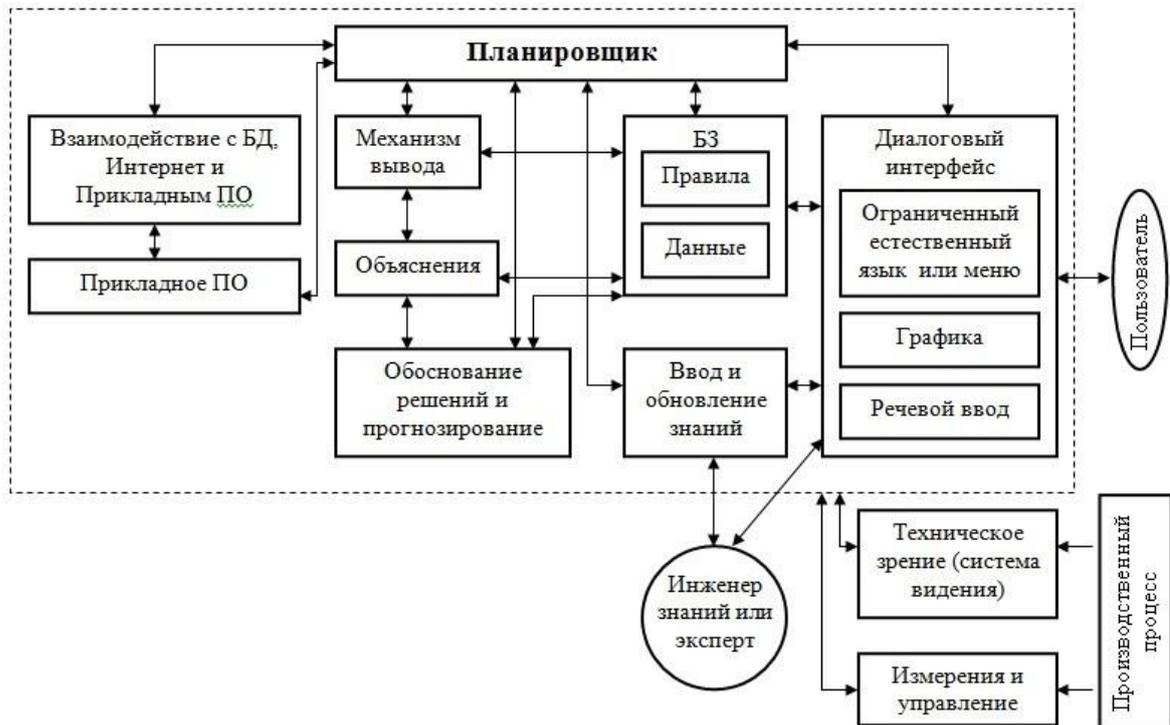


Рисунок В.1 – Структура интеллектуальных систем

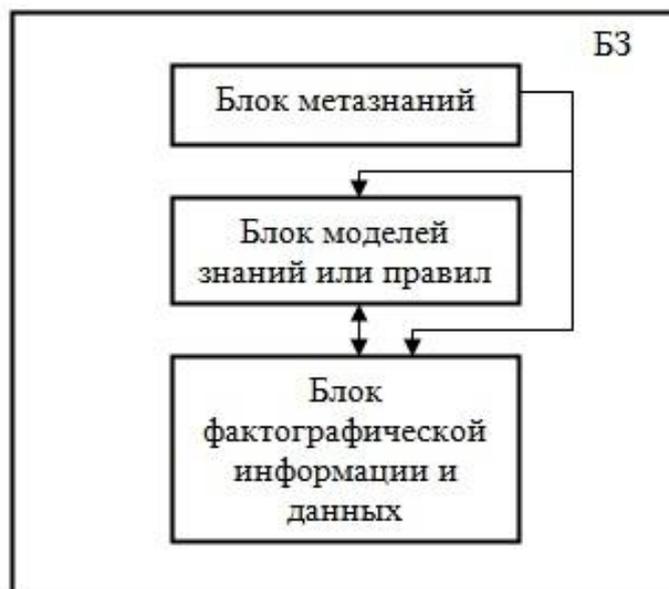


Рисунок В.2 – Обобщенная структура базы знаний



Рисунок В.3 – Структура взаимодействия БЗ с основными компонентами ИИС для продукционных систем



Рисунок В.4 – Структура взаимодействия БЗ с основными компонентами ИИС для продукционных систем

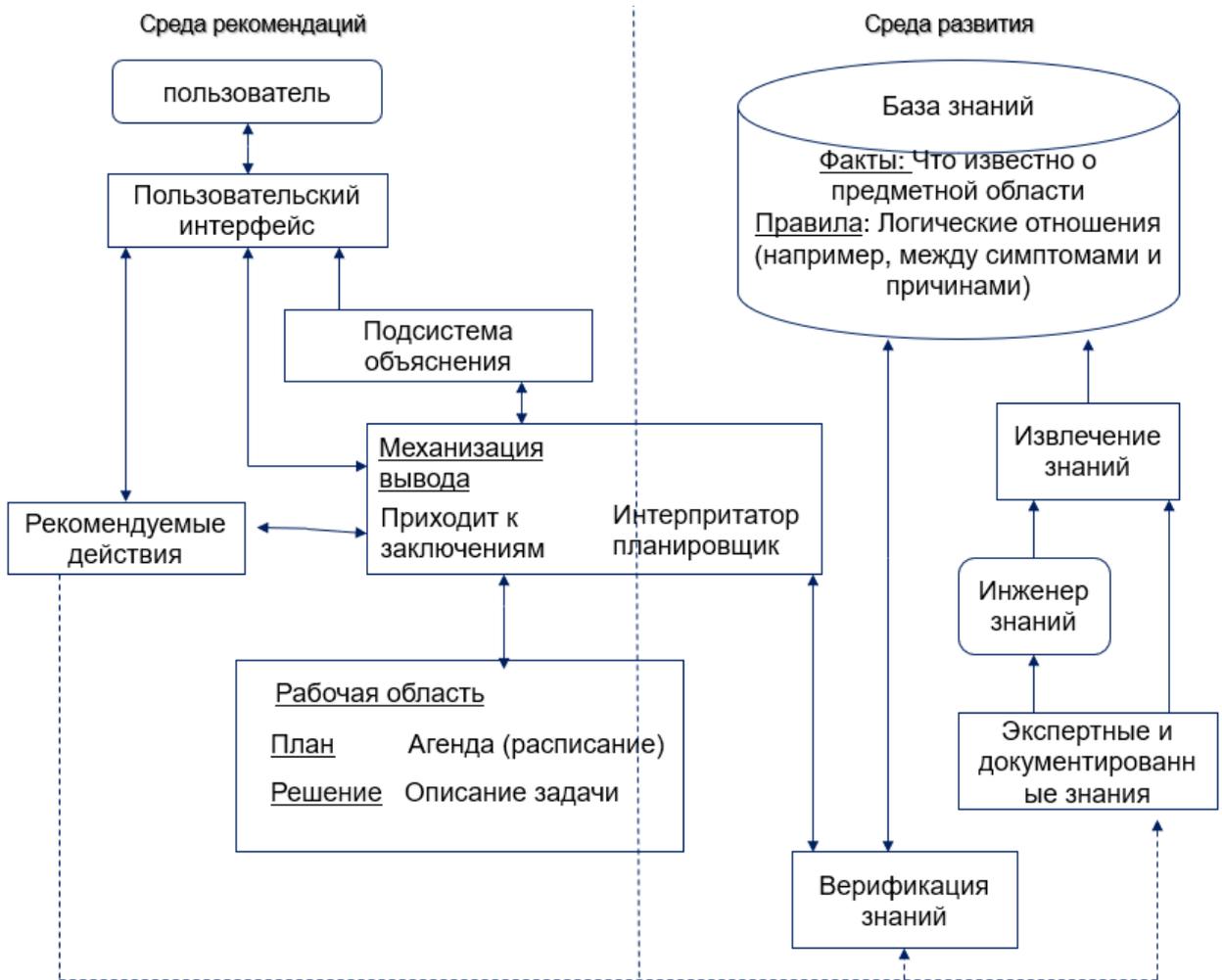


Рисунок В.5 – Экспертная система

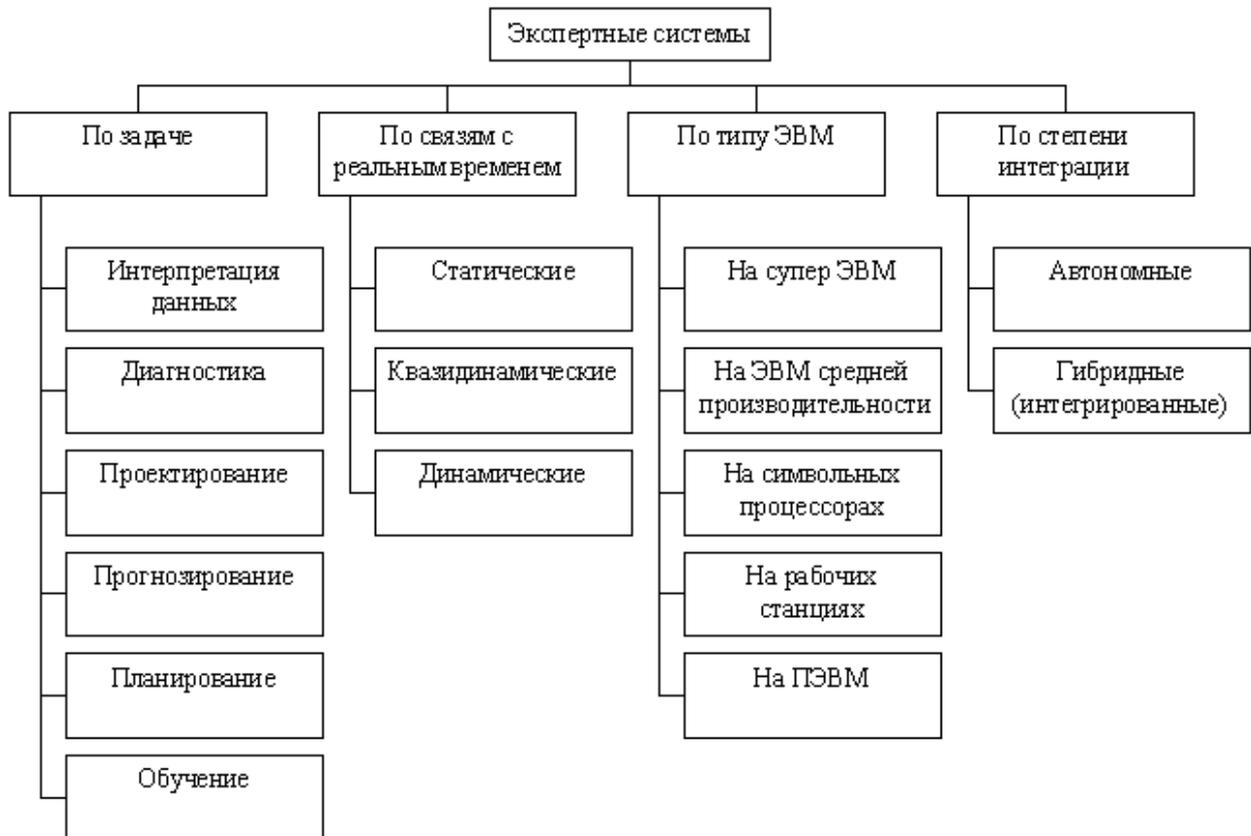


Рисунок В.6 – Классификация экспертных систем



Рисунок В.7 – Процесс построения ЭС

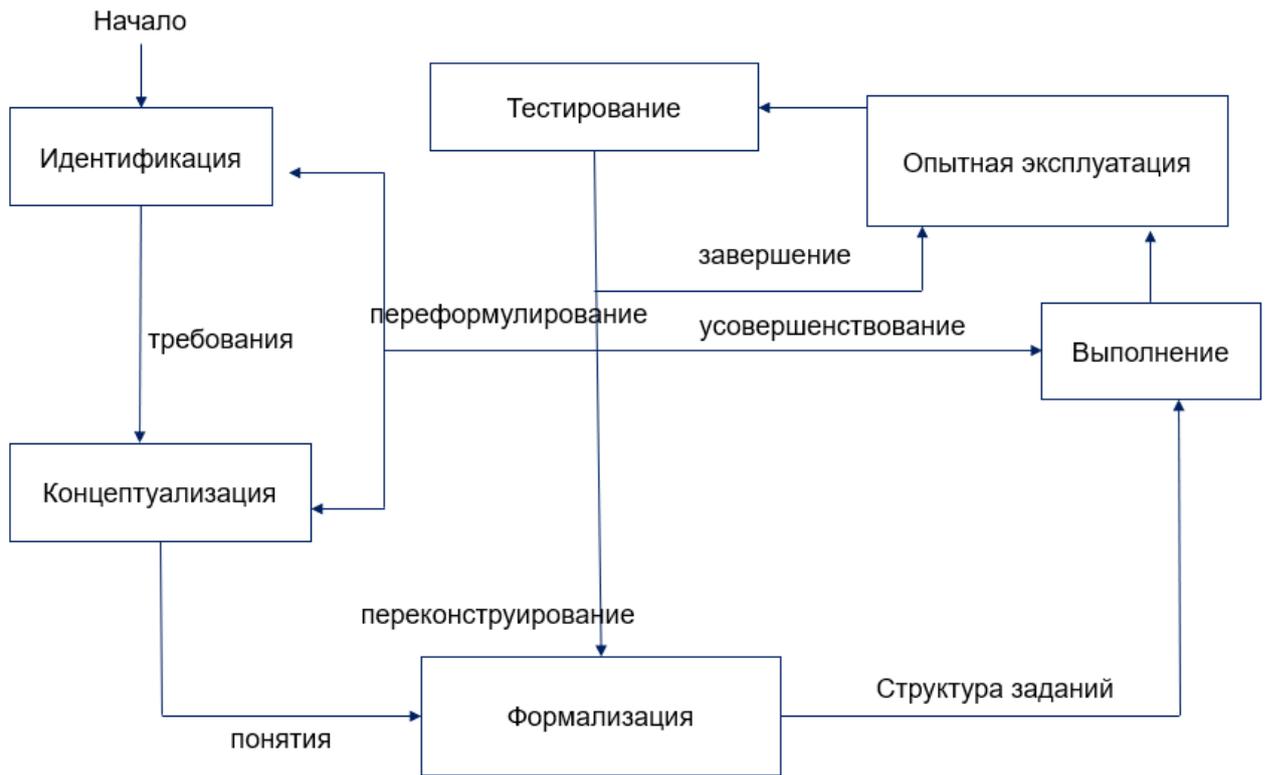


Рисунок В.8 – Технология разработки