

*На правах рукописи*



БАКУЛОВ Петр Андреевич

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

Специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Орел-2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

Научный

руководитель:

**Власов Владимир Михайлович**

заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор.

Официальные  
оппоненты:

**Волков Владимир Сергеевич**

доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж

**Ломакин Денис Олегович**

кандидат технических наук, доцент кафедры сервиса и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел.

Ведущая

Организация:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», г. Белгород

Защита состоится **«23» марта 2021 г. в 11:00** часов на заседании объединенного диссертационного совета Д **999.111.03** по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «ТулГУ», ФГБОУ ВО «ЛГТУ» по адресу: 302030, г. Орёл, ул. Московская, д. 77, аудитория 426.

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и в фундаментальной библиотеке по адресу: 302028, г. Орёл, пл. Каменская д.1.

Автореферат разослан: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ **2021**г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева» (<http://oreluniver.ru>) и на официальном сайте Министерства науки и высшего образования Российской Федерации ([www.vak.minobrnauki.gov.ru](http://www.vak.minobrnauki.gov.ru)).

*Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации в двух экземплярах направлять в диссертационный совет по адресу:*

*302026, г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95.*

*Телефон для справок +7(960)647-66-60 E-mail: srmstu@mail.ru*

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 999.111.03



В.В. Васильева

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Исходя из анализа современной практики внедрения информационных технологий в автомобильной отрасли, можно сделать вывод о постоянном увеличении количества электронных устройств, которые облегчают процесс управления автомобилем, а также все более растущее количество информационно-телематических сервисов, превращающих автомобиль в точку доступа в сеть Internet.

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 системы обеспечения работоспособности автомобилей ставилась как задача перед наукой ещё в 80-ые годы прошлого столетия. В то время это было 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 пределах исключая мастера-приемщика.

Несмотря на наличие мобильных сервисов в различных отраслях сферы продаж и услуг, существующие популярные отечественные и зарубежные информационные сервисы взаимодействия автовладельца и СТО не имеют функциональности автоматического определения неисправностей по косвенным признакам, указанным водителем, без участия сотрудников СТО. Кроме того, важно подчеркнуть, что ни одна действующая система не работает с диагностикой, опираясь на информацию, полученную в результате ответов пользователя на сформулированные экспертной системой лексически корректные вопросы.

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 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из 4 глав, выводов, библиографического списка из 147 наименований. Объем работы: 134 стр. печатного текста, 35 рисунков, 10 таблиц.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обосновывается актуальность работы, излагаются цели исследования, научная новизна и практическая ценность, а также основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена анализу состояния вопроса исследования и его актуальности. 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 (рис. 1).

В результате было определено, что мастера-приемщики СТО мотивированы консультировать потенциального клиента таким образом, чтобы он обязательно приехал к ним в сервис. При этом не исключена ситуация, когда автовладельцу не будет рекомендовано воспользоваться эвакуатором для того, чтобы исключить переход из предотказного состояния в состояние полного выхода из строя проблемного узла или агрегата. Так же отмечено, что в процессе формирования заказ-наряда существует посредник между автовладельцем и диагностом СТО в лице мастера-приемщика, который потенциально искажает описание признаков неисправности, а также не склонен задавать уточняющих вопросов, позволяющих избежать лишних операций по поиску неисправности.

### Потеря информации в процессе формирования заявки на ремонт:

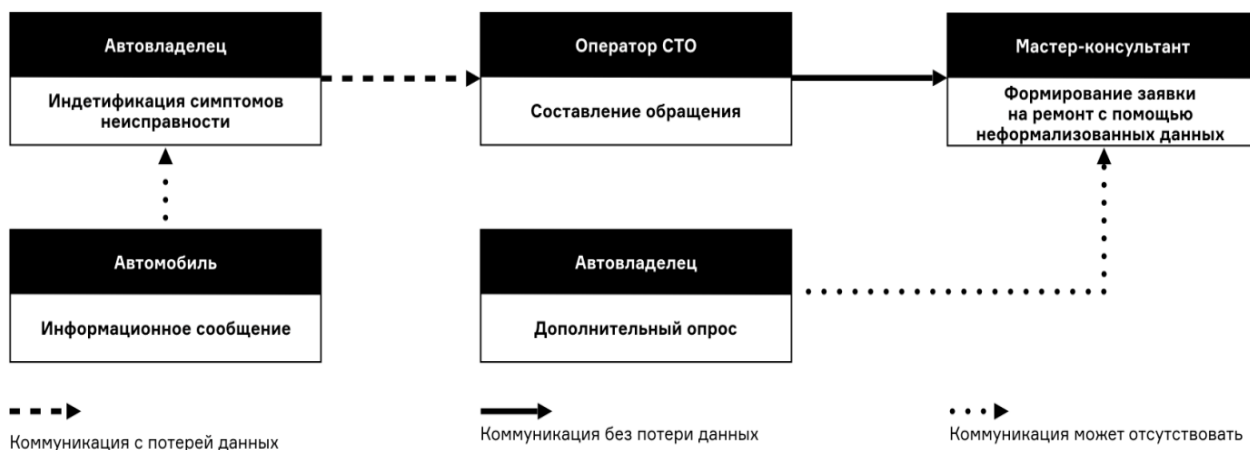


Рисунок 1 – Проблемные места в последовательности выявления и устранения неисправности частного автомобиля и пути её совершенствования

Проведён обзор существующих информационных систем диагностирования неисправностей автомобиля и современные тренды развития таких систем. Сделан вывод о том, что диагностирование неисправностей автомобиля автопроизводители включают в функции бортовой электроники. 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 мат. аппарата экспертных систем и исследованы реализации систем определения диагноза. Также проведён анализ экспертных систем как инструмента определения множества неисправностей по имеющемуся симптому. Определены классификационные признаки разработанной экспертной системы и основные направления её реализации. В частности, выбраны методы формализации знаний и решающие алгоритмы.

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

**Во второй главе** был произведён анализ и синтез исследуемой системы диагностирования неисправностей автомобиля по косвенным признакам, полученным от автовладельца/водителя.

Также составлена общая методика теоретического исследования (рис. 2)



Рисунок 2 – Общая методика теоретического исследования

В результате, теоретическое исследование производилось по следующим направлениям:

- 1) Анализ эффективности диагностики, обогащенной информационной базой знаний;
- 2) Гипотеза приведения диагностических информационных потоков к формализации понятия «единица диагностирования»;
- 3) Методика создания математической модели диагностирования. Оптимизационные алгоритмы расчёта апостериорной вероятности возникновения неисправности;
- 4) Методика формирования лексически корректных вопросов «закрытого» типа для автовладельца;
- 5) Методика принятия решения и обновления базы знаний с использованием накопления информации «больших данных» (Big Data).

**Первая часть** исследования закладывает основы экспертной системы. Исследуемая экспертная система по фасетной классификации является:

- по назначению: консультационной,
- по области применения: диагностическая,
- по виду используемых данных: с недетерминированными данными.

Обзор математических методов, применяющихся в экспертных системах, позволил выдвинуть гипотезу о возможности применения основного математического аппарата теории нечётких множеств для определения множества вероятных неисправностей, 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.

На основе знаний о связи симптомов неисправности и самой неисправности, формируемых экспертами-диагностами, возможно получение итогового коэффициента уверенности при использовании соотношений (1), (2):

$$КУ[h:e]=МД[h:e]-МНД[h:e], \quad (1)$$

где КУ  $[h:e]$  – уверенность в гипотезе  $h$  с учётом свидетельства  $e$ ; МД  $[h:e]$  – мера доверия к гипотезе  $h$  при заданном свидетельстве  $e$ ; МНД  $[h:e]$  – мера недоверия  $h$  при свидетельстве  $e$ .

$$МД[h:e_1,e_2]=МД[h:e_1]+МД[h:e_2](1-МД[h:e_1]), \quad (2)$$

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

В результате анализа структуры данных предметной области, была разработана модель данных «единица диагностирования», на которой базируются диагностические алгоритмы поиска множества вероятных неисправностей и значения данных вероятностей:

$$\text{DiagnElem}H,E,CM,ACM, \quad (3)$$

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;  $symp_i$  – 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»;  $dev_h$  – элемент множества дополнительного оборудования, устанавливающегося на автомобиль;  $dist_v$  – значение пробега указанного элемента множества  $DistT$ , для которого определена 95% вероятность возникновения соотв. неисправности;  $mrk_n$  – элемент множества марок, по которым содержатся знания в экспертной системе;  $mdl_c$  – элемент множества моделей;  $CMprob_i$  – множество мер доверия;  $ACMprob_p$  – множество мер недоверия.

Исходя из состава приведённой модели (3) следует, что функция принадлежности задана экспертами по знаниям детерминировано. Однако, итоговая вероятность возникновения неисправности для каждого конкретного случая по соотношению (2) будет своя, исходя из ответов пользователя.

Далее в главе описана стратегия прохода по дереву решений, минимизирующая количество вопросов пользователю в виде функционала:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n KY[h_i : e_j] \rightarrow \max_{n \rightarrow 0}, \quad (4)$$

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.

Результат работы оптимизационного алгоритма продемонстрирован на рис. 3.

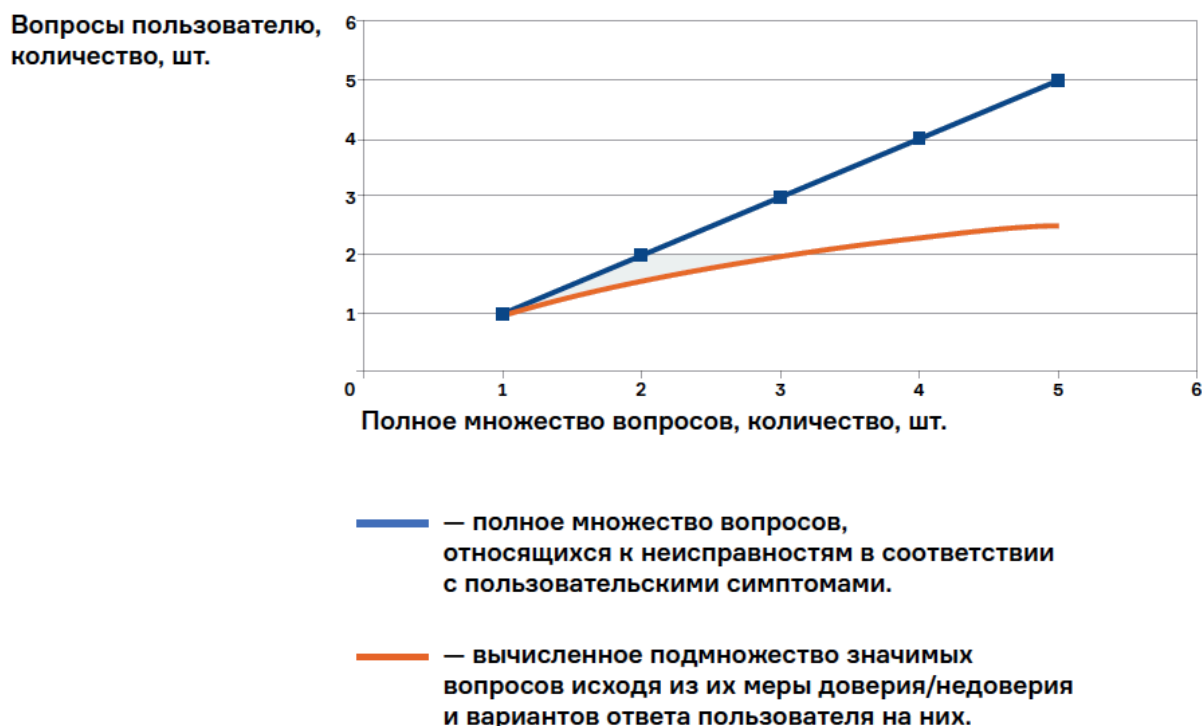


Рисунок 3 – Сравнение количества вопросов, задаваемых пользователю в варианте полного перебора и в варианте оптимизации

Сущность минимизации указанного функционала заключается в выборе на каждом шаге из множества пока ещё не верифицированных пользователем свидетельств  $\{e_i\}$  того, у которого итоговая мера доверия максимальная:

$$e_i : e_i = \sup_{CM} MD[h_k : e_{i-1}, e_i], k \in [1, N_i], \quad (5)$$

где  $h_k$  –  $k$ -я гипотеза, имеющая невалидированный ответ к  $i$ -му шагу взаимодействия с пользователем;  $MD[h_k : e_{i-1}, e_i]$  – 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 выполнено:

$$MND[h_k : e_i] > 0 \vee MD[h_k : e_i] > 0. \quad (6)$$

В главе показано, что такая стратегия реализует гарантированное нахождение гипотезы с максимальной вероятностью за минимальное количество шагов, конкретное значение которых зависит только от ответов пользователя. При этом сам алгоритм осуществляет полный перебор вопросов и рассчитываем итоговую меру доверия для каждого варианта вопросов/ответов.

Рассмотрено два варианта реализации алгоритма опроса пользователя экспертной системой: «жадный» и «умеренный». «Жадный» алгоритм производит пересчёт множества  $h_k$  на каждом шаге и поиск  $e_i$  на основании соотношения (5). «Умеренный» алгоритм производит расчёт множества  $h_k$  на нулевом шаге, когда пользователь (водитель) при помощи программного интерфейса формирует элемент множества  $E$  из (3).

Вторая часть второй главы посвящена разработке методики формирования знаний экспертной системы. Исходя из специфики предметной области, 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.

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 пробега автомобиля –  $dist_v$ . Для параметра  $dist_v$  необходимо осуществлять подбор функции вероятности. Была подтверждена S-образная зависимость плотности вероятности от пробега, описанная в современной литературе по диагностике автомобиля.

На основе данной зависимости была разработана методика расчета плотности вероятности от пробега автомобиля для случаев, когда данные по неисправности и её симптомам не описаны в явном виде на основе экспертных данных. В рамках разработанной методики был реализован алгоритм аппроксимации имеющихся фрагментарных статистических данных функцией вида:

$$F(H) = f(dist_v) = \frac{1}{1 + e^{-dist_v}}. \quad (7)$$

При получении расчётного значения ошибки аппроксимации предполагается, что результирующие данные могут быть занесены в базу знаний экспертной системы в виде коэффициентов полученной кривой. Таким образом, величина пробега позволяет увеличить достоверность результатов диагностирования неисправности по имеющимся симптомам.

В третьей главе приведены методики сбора и обработки экспертных данных в рамках формирования базы знаний экспертной системы (рис. 4). Были рассчитаны значения статистически достоверного пробега, для которого вероятна заданная неисправность для каждого элемента из множества «единица диагностирования» (3).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Исследование проводилось для каждой из 12-ти моделей марки Volvo на Российском рынке. Сбор данных проводился на сертифицированной СТО, занимающейся обслуживанием автомобилей марки Volvo, расположенной в городе Москва.

- 2 АРМ мастера-консультанта;
- 3 поста слесарного ремонта;
- 1 пост диагностики;

данные за 2016 год.

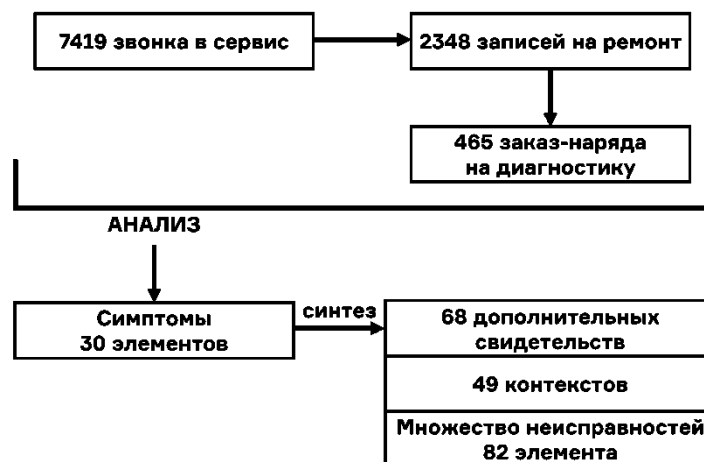


Рисунок 4 – Экспериментальное исследование

В течение 2016 года было прослушано 7419 звонков в сервис, которые сформировали 2348 записей на ремонт, из которых 465 заказ-нарядов было оформлено исключительно на диагностику. Проанализировав эти данные, удалось наполнить множество симптомов, которое в итоге насчитывает 30 элементов. Синтезируя экспертные знания (проводя, в том числе, опрос специалистов), 30 симптомов создают множества дополнительных свидетельств, контекстов и неисправностей, насчитывающих 68, 49 и 82 элемента соответственно.

В процессе обработки экспертных данных были рассчитаны вероятности возникновения указанной неисправности по её симптому исходя из наличия других неисправностей, соответствующих указанному симптому.

В результате было сформировано множество симптомов из 30 элементов, множество дополнительных свидетельств из 68 элементов и множество контекстов из 49 элементов, множество неисправностей из 82 элементов для каждой из 12 моделей марки Volvo. Несмотря на то, что симптомы, наблюдаемые автовладельцем, и дополнительные свидетельства имеют одинаковую структуру данных и были расположены в общем массиве, на практике оказалось, что симптомы неисправностей, заносимые в базу знаний как дополнительные свидетельства, не являются симптомами, которые заставляют автовладельца искать причину неисправности. При этом в некоторых случаях симптомы, имеющие общий диагноз с другими симптомами, могут выступать в качестве дополнительного вопроса (свидетельства) по другому симптому.

В таблицах 1, 2 ниже приведены связи между симптомами, свидетельствами и контекстами, симптомами и неисправностями (табл. 1, 2).

Таблица 1. 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
Двигатель. Свист	При движении спустя время
	После прогрева двигателя

Таблица 2. 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
Двигатель. 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
Двигатель. Свист после прогрева двигателя. 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 двигателю!

На основе сформированной базы знаний получена оценка среднего и максимального количества вопросов, которые Система задаёт автовладельцу при сборе данных, соответственно:

$$Q_m = 2,3;$$

$$Q_{\max} = 5.$$

В соответствии с разработанной методикой формирования базы знаний из массива фактических симптомов, был обработан массив данных, относящийся к 30 различным неисправностям. На рис. 5 отображены графики:

- условная вероятность при наличии симптома «вибрация/биение при торможении на педали тормоза» без учета ответа на дополнительные вопросы экспертной системы;
- условная вероятность при наличии симптома «вибрация/биение при торможении на педали тормоза» при дополнительных вопросах экспертной системы и положительных ответах, указывающих на данную неисправность с наибольшей вероятностью;
- промежуточными точками обозначены вероятность выхода из строя тормозных колодок при одном и более отрицательном ответе пользователя на дополнительные вопросы.

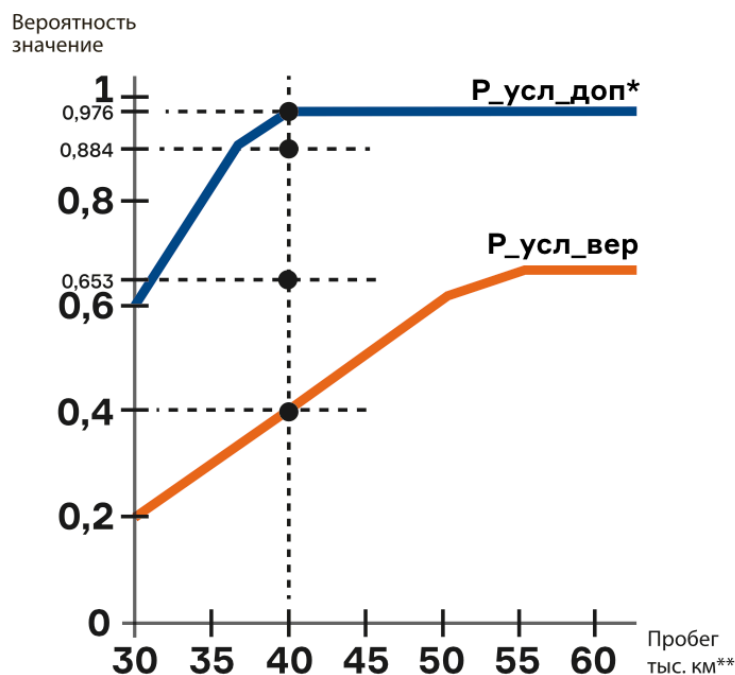


График функции принадлежности  $\mu A(x)$  износа передних тормозных колодок/дисков (A) от пробега (x)

\*-при наличии дополнительных вопросов

\*\*-передние тормозные диски

Рисунок 5 – Сравнение изменения вероятностей при наличии дополнительных вопросов и их отсутствии на примере симптома «Вибрация/биение при торможении на педали тормоза»

Исходя из детерминированного описания связи между симптомом, неисправностью и контекстом, вычисление значения коэффициента уверенности выполняется на каждом шаге с учетом заданного пробега автомобиля (7). При этом, для следующего уточняющего вопроса выбирается тот утвердительный или отрицательный ответ, который имеет наибольшую меру доверия или наименьшую меру недоверия (2).

**В четвертой главе** на основе теоретических разработок и практической реализации экспертной системы были разработаны две методики, содержащие порядок использования и администрирования разработанной экспертной системы в интересах автовладельца и СТО.

Первая методика описывает автоматизированное место администратора-эксперта, который формирует базу знаний и сопутствующую нормативно-справочную информацию, используемую Системой (рис. 6).

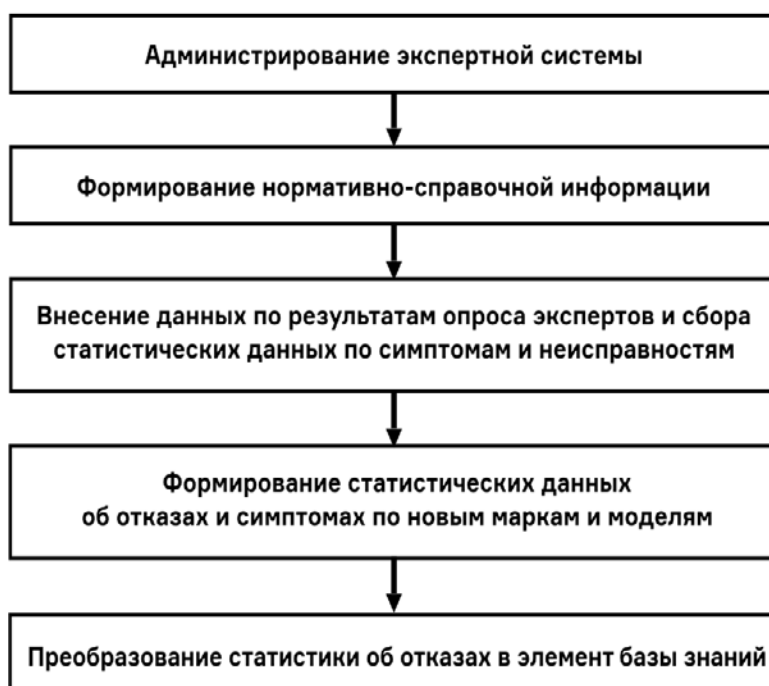


Рисунок 6 – Мероприятия по администрированию экспертной системы

Вторая методика описывает полный цикл информационного взаимодействия между автовладельцем и СТО на этапе первичного диагностирования неисправности и записи на осмотр, формирование заказ-наряда. В частности, диагностирование неисправности происходит по следующему алгоритму (рис. 7).

На первом этапе при обнаружении симптомов неисправности автовладелец использует экспертную систему для определения множества вероятных неисправностей и степени их «тяжести». Фрагмент опроса пользователя и вывод результатов диагностирования представлен на рис. 8.

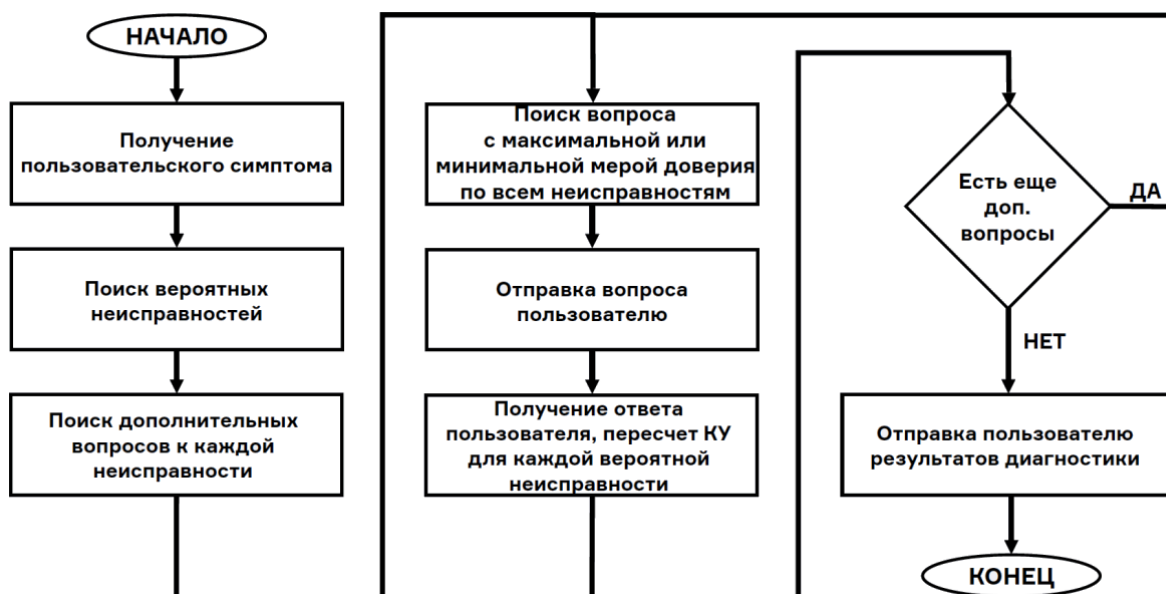


Рисунок 7 – Фрагмент опроса пользователя вывод результатов диагностирования

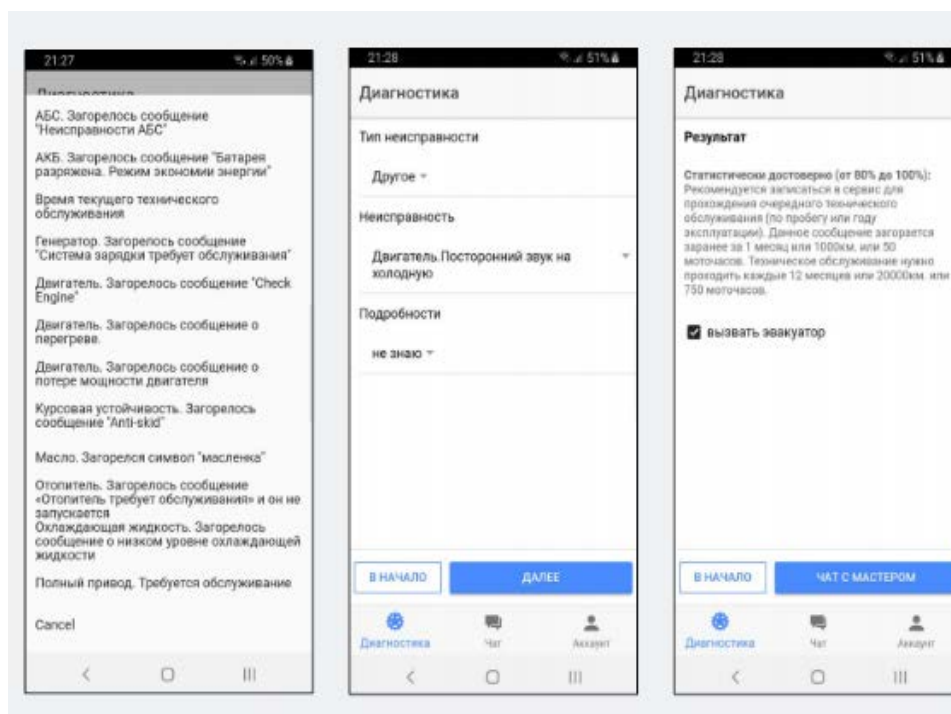


Рисунок 8 – Фрагмент опроса пользователя и вывод результатов диагностирования

На втором этапе (рис. 9) автовладелец имеет возможность послать сообщение в один или несколько автосервисов, подключенных к Системе через специализированное приложение, послав любое неформализованное сообщение на тему возникшей неисправности.

При получении сообщения от автовладельца сотруднику СТО параллельно отображается информация о диалоге пользователя с Системой. Таким образом, исключается дополнительный информационный обмен автовладельца с СТО.



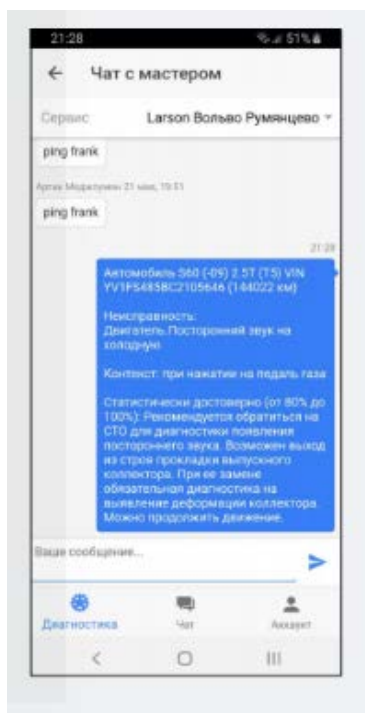


Рисунок 9 – Фрагмент интерфейса общения пользователя с мастером СТО через мобильное приложение

На третьем этапе, по приезде автовладельца на СТО, Система формирует обменный файл, загружаемый в АСУ СТО для формирования заказ-наряда. Таким образом, при формировании заказ-наряда роль мастера-приемщика может быть существенно нивелирована.

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 10).



Рисунок 10 – Направления внедрения

### 3. 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.

#### 4. ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бакулов, П.А. Автоматизация формирования заявки на ремонт частного легкового автотранспорта через удаленное взаимодействие клиента и СТО / П.А. Бакулов // Инновации и инвестиции. – 2014. – №4. – С. 135-138.

2. Бакулов, П.А. Исследование подходов к формированию лексически корректных вопросов в системе автоматического диагностирования неисправности автомобиля / П.А. Бакулов // Транспортное дело России. – 2015. – №5. – С. 171-173.

3. Бакулов, П.А. Нечеткая логика в задаче автоматизированного удаленного диагностирования неисправности автомобиля по имеющимся косвенным признакам / П.А. Бакулов, А.А. Кудрявцев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2018. – №7. – С. 49-51.

4. Бакулов, П.А. Использование алгоритма Мамдани для диагностирования неисправности автомобиля на основе пользовательских описаний симптомов неисправности / П.А. Бакулов, А.А. Кудрявцев // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – №3(70). – С. 9-14.

#### Авторские свидетельства, патенты, изобретения

1. Программный комплекс «Приложение для удалённого взаимодействия экспертов станции технического обслуживания (СТО) с автовладельцем в системе диагностирования неисправностей автомобиля по информации от автовладельца (СервисГуру.СТО)»; Свид. 2018611244; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Прагматика» (RU). – №2017662486; заявл. 01.12.17; опубл. 26.01.18.

2. Программный комплекс «Веб-клиент системы диагностирования неисправностей автомобиля по информации от автовладельца (СервисГуру.Веб)»; Свид. 2018611246; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Прагматика» (RU). – №2017662481; заявл. 01.12.17; опубл. 26.01.18.

3. Программный комплекс «Приложение для формирования экспертной базы знаний для их использования математическим аппаратом нечеткой логики в системе диагностирования неисправностей автомобиля по информации от автовладельца (СервисГуру.Гуру)»; Свид. 2018611247; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Прагматика» (RU). – №2017662478; заявл. 01.12.17; опубл. 26.01.18.

4. Веб-приложение для сотрудников автосервиса; Свид. 2018611245; заявитель и правообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Прагматика» (RU). – №2017662482; заявл. 01.12.17; опубл. 26.01.18.

**Бакулов Петр Андреевич**

Разработка экспертной системы поддержки пользователей в сфере технического  
сервиса легкового автотранспорта

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2021 г. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ \_\_\_\_.