

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права

УДК 621.431.7-044.3:629.33

**СЕРЕБРЯКОВ**  
**Игорь Андреевич**

**СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БЕЗОТКАЗНОСТИ  
МЕТОДОМ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

Минск, 2023

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный  
руководитель

**ГУРСКИЙ Александр Станиславович,**  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
«Техническая эксплуатация автомобилей» Белорусского  
национального технического университета

Официальные  
оппоненты:

**ИВАНОВ Владимир Петрович,**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры  
автомобильного транспорта УО «Полоцкий государствен-  
ный университет имени Евфросинии Полоцкой»;

**ТАРАСЕНКО Виктор Евгеньевич,**  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
«Технологии и организация технического сервиса» УО  
«Белорусский государственный аграрный технический  
университет»

Оппонирующая  
организация

Республиканское унитарное предприятие «Белорусский  
научно-исследовательский институт транспорта  
«Транстехника»

Защита состоится 18 октября 2023 г. в 14<sup>00</sup> на заседании совета по защите диссертаций Белорусского национального технического университета Д 02.05.04 по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости 65, к. 1, ауд. 202, e-mail: msf@bntu.by, тел. +375 17 292 41 01.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «13» сентября 2023 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент



А. И. Сафонов

© Серебряков И. А., 2023  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Автомобильный транспорт играет важнейшую роль в транспортной отрасли и экономике как в целом в мире, так и в Республике Беларусь. Автомобильные перевозки в нашей стране занимают 40 % в общем объеме перевозок грузов и 59 % пассажирских перевозок (Белстат, 2021). По данным ГАИ МВД РБ в 2021 г. в республике насчитывалось более 3 млн автомобилей.

Неотъемлемой составляющей эксплуатации автомобильного транспорта является регулярное проведение технического обслуживания (ТО) и ремонта, а также сопряженных с ними операций диагностирования.

Каждый легковой автомобиль не реже одного раза в год подвергается техническим воздействиям, как правило, включающим в себя операции ТО, ремонта и диагностирования, средняя трудоемкость которых составляет от двух до четырех человеко-часов. По мере старения автомобиля доля операций ремонта и диагностирования в общем объеме трудозатрат на эксплуатацию возрастает. В составе работ организаций автосервиса доля трудозатрат на диагностирование варьируется в пределах 7–15 %.

Существующая практика технологии диагностирования включает в себя инструментальную и информационную составляющие. Инструментальная составляющая основана на использовании различного оборудования и технических средств, а информационная представляет собой набор знаний о технологии диагностирования.

Неотъемлемой частью технологии диагностирования являются алгоритмы диагностирования, определяющие последовательность операций, проводимых с целью выявления причины и локализации места отказа. В практическом смысле алгоритмы реализованы, как правило, в виде диагностических карт, не имеющих определенного глобального стандарта. Трудоемкость проведения отдельных операций в конечном счете складывается в значительные общие затраты труда, которые зависят от оптимальности отдельных алгоритмов и их соответствия условиям минимизации трудозатрат, и оказывают непосредственное влияние на себестоимость услуг. В работах Д. В. Ефанова, С. В. Бахвалова, А. М. Дунаева, X. Li показано, что применяющиеся в практике диагностирования различных технических устройств алгоритмы диагностирования не являются оптимальными.

В соответствии с вышеизложенным, очевидна значимость исследований практики диагностирования автомобилей и оценка степени соответствия ее условиям минимизации трудозатрат. Актуальна также разработка методов оптимизации диагностических алгоритмов и удобного графического формата представления алгоритмов диагностирования.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Тема диссертации соответствует перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, утвержденному Указом Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы» от 07.05.2020 г. № 156 (п. 4) и Стратегии инновационного развития транспорт-

ного комплекса Республики Беларусь до 2030 года, утвержденной Приказом Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 25.02.2015 № 57-Ц.

Диссертационное исследование проводилось в рамках:

– комплексной научно-исследовательской работы кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Белорусского национального технического университета по темам ГБ 16-206 «Совершенствование организации и технологии диагностирования, технического обслуживания и ремонта на предприятиях автосервиса» (2016–2020 гг.), ГБ 21-207 «Совершенствование организации и технологии технического обслуживания и ремонта в автобусных парках в условиях увеличивающегося объема электрического транспорта» (2021–2025 гг.);

– государственной программы научных исследований ГБ 21-07/7 «Разработка технологических основ экспресс-диагностики систем привода электромобилей»;

– гранта Министерства образования для аспирантов на 2019 год по теме «Разработка экспериментальной установки на базе двигателя и коробки передач» (ГБ 19-05, № ГР 20191236).

### **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

**Цель исследования** – снижение трудоемкости диагностирования автомобилей путем разработки метода структурной оптимизации алгоритмов диагностирования на основе анализа безотказности автомобилей.

#### **Задачи исследования:**

1. Определить характеристики безотказности и структуру распределения отказов исследуемых автомобилей.

2. Исследовать существующие алгоритмы диагностирования автомобилей, определить показатели их эффективности и оценить возможности ее повышения.

3. Разработать метод оптимизации алгоритмов диагностирования автомобилей, обеспечивающий снижение трудоемкости и себестоимости диагностирования.

4. Разработать средства для осуществления преобразований диагностических алгоритмов и для автоматической визуализации преобразованных алгоритмов.

5. Создать способ сравнения эффективности алгоритмов и провести анализ разработанного метода.

6. Разработать комплекс мероприятий для организаций автосервиса по обработке диагностической документации с целью снижения трудоемкости диагностирования.

**Объект исследования** – процессы диагностики автомобилей, их агрегатов, узлов и систем.

**Предмет исследования** – алгоритмы диагностирования автомобилей, их агрегатов, узлов и систем.

### **Научная новизна**

1. Экспериментально установлены закономерности распределения отказов и частоты возникновения неисправностей; продемонстрированы зависимости изменения трудоемкости диагностирования от пробега автомобилей, а также от иерархии проверочных операций в технологических картах, позволившие доказать, что трудозатраты на диагностирование могут быть снижены за счет реструктуризации алгоритмов.

2. Разработан метод оптимизации существующих диагностических алгоритмов, включающий преобразование диагностической карты к разработанному формату расширенного графа, дополненного данными о трудоемкости операций и вероятности исходов; перевод созданного графа в цифровой таксономический формат, адаптированный к компьютерной обработке; оптимизацию условного алгоритма диагностирования на основании разработанных принципов снижения трудоемкости; обратное преобразование оптимизированного алгоритма в графическую форму, позволяющий снизить среднюю трудоемкость диагностирования.

3. Разработан способ сравнительной оценки эффективности диагностических алгоритмов, основанный на моделировании потока отказов с использованием метода Монте-Карло, учитывающий эмпирическую структуру и закономерности изменения вероятностей возникновения отказов, обладающий адаптивностью за счет дополнения практическими данными в процессе проведения диагностирования, позволивший доказать, что использование разработанного метода оптимизации алгоритмов диагностирования обеспечивает снижение трудоемкости диагностических процессов.

#### **Положения, выносимые на защиту**

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований безотказности и существующей практики диагностирования автомобилей, позволившие установить эмпирические зависимости распределения отказов, оценить средние трудозатраты на диагностирование одного автомобиля, на момент исследования составлявшие 2,76 нормо-часа (для автомобилей Lada Vesta, Xray, Largus, по данным СОАО «Минск-Лада»), и доказать возможность снижения трудозатрат за счет реструктуризации алгоритма.

2. Метод оптимизации алгоритмов диагностирования автомобилей, включающий преобразование диагностической карты к разработанному формату расширенного графа, дополненного данными о трудоемкости операций и вероятности исходов; перевод созданного графа в цифровой таксономический формат, адаптированный к компьютерной обработке; оптимизацию условного алгоритма диагностирования на основании разработанных принципов снижения трудоемкости; обратное преобразование оптимизированного алгоритма в графическую форму, позволяющий снизить среднюю трудоемкость диагностирования.

3. Способ сравнительной оценки эффективности диагностических алгоритмов, основанный на моделировании потока отказов с использованием метода Монте-Карло, учитывающий эмпирическую структуру и закономерности изменения вероятностей возникновения отказов, дополняемый практическими данными в процессе проведения диагностирования, позволивший доказать, что использование разработанного метода оптимизации алгоритмов диагностирования обеспечивает снижение трудоемкости диагностических процессов в среднем на 27,7 %.

4. Комплекс мероприятий, основанный на использовании разработанного метода и оборудования и созданной компьютерной программе, предназначенный для снижения трудоемкости диагностирования и позволяющий повысить рентабельность диагностирования автомобилей на 5–10 %.

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Диссертация является самостоятельной научной работой автора. Совместно с научным руководителем сформулированы цель и задачи диссертационной работы, запланированы этапы ее выполнения.

Автором самостоятельно осуществлен сбор и анализ отечественной и зарубежной научной литературы, а также сбор данных по теме исследования. Сбор материала для исследования проводился автором на предприятиях автомобильного транспорта и автосервиса. Разработка предложенного метода оптимизации алгоритмов диагностирования велась автором самостоятельно. Оценка эффективности разработанного метода проводилась с использованием разработанного автором способа сравнительной оценки алгоритмов диагностирования.

Все выносимые на защиту положения получены соискателем лично, имеют научную, практическую, экономическую и социальную значимость, апробированы на производстве (в сфере автосервиса). Перспективы практического внедрения результатов исследования обсуждались на СОАО «Минск-Лада» и со специалистами дилерской сети Volkswagen в Беларуси.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные положения и результаты диссертации были представлены и обсуждены на следующих научных конференциях и форумах: 13-я Международная научно-техническая конференция: Наука – образованию, производству, экономике (Минск, 2015), Международная научно-практическая конференция: Современные исследования – 2018 (Нефтекамск, Российская Федерация, 2018), Международная научно-практическая конференция: автомобиле- и тракторостроение (Минск, 2018–2022), Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства (Минск, 2020–2022), Белорусско-Китайский молодежный инновационный форум (Минск, 2018). Результаты диссертационных исследований используются в учебном процессе, апробированы на СОАО «Минск-Лада» и СООО «Атлант-М Фарцойгхандель», их рекомендуется использовать для модернизации технологии диагностирования автомобилей на любых предприятиях автосервиса.

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 4 статьи общим объемом 1,7 авторских листа в рецензируемых научных изданиях, включенных в список научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 3 статьи в научно-технических журналах, 6 материалов конференций, 2 статьи в сборниках научных трудов, раздел в коллективной монографии. Новизна технических решений подтверждена 1 патентом на изобретение.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 101 странице, содержит 41 рисунок, 8 таблиц, список использованных источников, включающий библиографический список из 93 наименований на 8 страницах и список публикаций соискателя из 17 наименований на 3 страницах, 7 приложений на 9 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

**В первой главе** диссертации проведен обзор литературы по теме исследования, включающий в себя оценку масштаба рассматриваемой темы и ее проблем, информацию о развитии автомобильной диагностики по мере развития техники, а также описание проблемных вопросов диагностирования автомобилей, существующих в настоящее время.

**Во второй главе** описаны использованные при выполнении научного исследования материалы, методы исследования, а также программные средства и оборудование для реализации поставленных задач.

Материалом для анализа существующей практики диагностирования автомобилей и составления базы данных частот отказов послужили данные о 521 случае обращения в организацию автосервиса СОАО «Минск-Лада» в период с 16.08.2019 по 31.12.2021 по вопросам диагностирования автомобилей Lada Vesta, Xray, Largus.

Материалом для исследования алгоритмов диагностирования и разработки метода их оптимизации послужили 130 диагностических карт из официального руководства по устройству и диагностированию электронных систем управления автомобилями Lada, а также нормы времени АО «АвтоВАЗ» на весь перечень технологических операций диагностирования и ремонта.

При анализе практики диагностирования электронной системы управления двигателем использовался разработанный автором стенд модели электронной системы управления двигателем. Кроме того, методика оптимизации алгоритмов диагностирования обрабатывалась на стенде, моделирующем антиблокировочную тормозную систему, и предложенном автором алгоритме диагностирования данной системы. Для верификации практической части исследования диагностирования электронных систем управления был использован стенд на базе роботизированной коробки передач DSG7.

При формировании диагностических графов использовался программный продукт Microsoft Visio, а при их последующей оцифровке – Microsoft Excel. Оцифрованные условные алгоритмы были представлены в виде древовидного типа данных и подвержены преобразованиям на языке программирования JavaScript с использованием библиотек Vis.js, Node.js в программной среде Visual Studio Code. Преобразованные алгоритмы диагностирования доступны к отображению в виде веб-страниц.

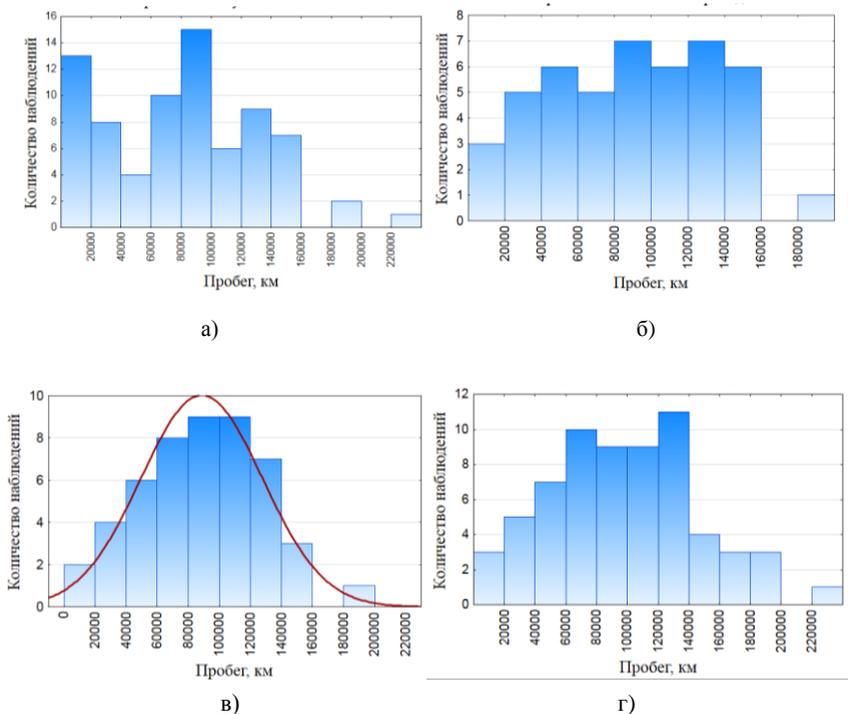
Для сравнительной оценки эффективности диагностических алгоритмов на основе моделирования потока отказов использовались методы Монте-Карло и «бутстрап».

**В третьей главе** проведено исследование практики процессов диагностирования автомобилей, анализ существующих алгоритмов диагностирования автомобилей и их эффективности.

Процесс поиска неисправности неразрывно связан с двумя параллельными его составляющими: методами и алгоритмами диагностирования. Методы диагностирования задают технологию выполнения каждой отдельной операции. Для поиска неисправной системы объекта диагностирования и отказавшего элемента этой системы могут быть задействованы разные методы: визуальное, компьютерное, стен-

двое диагностирование и другие. Алгоритм диагностирования, в свою очередь, определяет последовательность действий при осуществлении диагностирования. Данное исследование было посвящено изучению алгоритмов диагностирования.

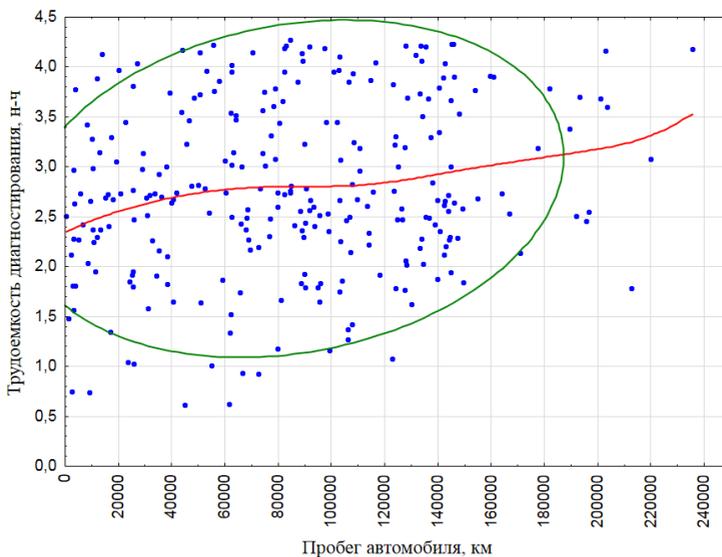
Исследование отдельных наиболее часто встречающихся отказов (рисунок 1) показало, что в большинстве случаев их возникновение было случайным и не подчинялось математическим законам распределения, однако в отдельных случаях, например, при рассмотрении отказов форсунки распределенного впрыска (рисунок 1, в), такие зависимости прослеживаются, и на дальнейших этапах исследования они учитывались.



**а** – отказ катушки зажигания; **б** – нарушение герметичности топливопроводов; **в** – отказ датчика кислорода; **г** – отказ форсунки распределенного впрыска

**Рисунок 1 – Частоты наблюдения различных отказов автомобилей Lada, ранжированные по пробегам автомобилей**

На рисунке 2 представлено экспериментальное распределение трудоемкости отдельных диагностических случаев (согласно анализу заказ-нарядов) в зависимости от пробегов автомобилей.



**Рисунок 2 – Экспериментальное распределение трудоемкости отдельных диагностических случаев по пробегам автомобиля**

Следует отметить что 85 % показаний попали в зону, обведенную эллипсом. Это указывает на равномерный характер распределения отказов. На графике показан тренд в виде регрессионной кривой с процедурой сглаживания методом взвешенных относительно расстояния наименьших квадратов, с некоторым ростом средней трудоемкости диагностирования по мере старения автомобилей. Наблюдаемое распределение подтверждает корректность использования фактических данных об отказах в основе разработанного метода.

*Виды представления диагностической информации:*

1. Таблица соответствия. Представляет собой перечень симптомов, в описании каждого из которых приводятся возможные для него неисправности.
2. Безусловный алгоритм. Представляет собой перечень действий, по завершению которого диагност должен обнаружить неисправность.
3. Условный алгоритм (алгоритм с выбором последующего действия). В условном алгоритме диагностирования результат каждого проверочного действия обуславливает выбор следующей проверочной операции.

Условные алгоритмы широко распространены в дилерской документации, а также обладают наибольшим потенциалом с точки зрения оптимизации их структуры. В документации условные алгоритмы, как правило, представляются в виде диагностических карт. Их содержание задает порядок операций и правила условных переходов между операциями в зависимости от результата, полученного на предыдущем шаге. Задачи исследования включают в себя определение реальных характеристик трудозатрат существующих диагностических карт и оценку возможности их оптимизации.



На примере представленной выше карты, в результате рациональной перестановки операций, было продемонстрировано, что заложенный в ее структуру алгоритм не является оптимальным, а структурная модернизация позволила снизить математическое ожидание трудоемкости диагностирования на 26 %.

**Четвертая глава** диссертации посвящена разработке метода оптимизации алгоритмов диагностирования автомобилей.

На первом этапе разработки (с учетом выявленных недостатков существующей практики диагностирования) научно обоснованы и сформулированы технические требования к разрабатываемому методу оптимизации условных алгоритмов и подходы к решению поставленной задачи:

- метод должен быть инвариантен в отношении марки и модели автомобиля;
- метод должен основываться на существующих и общепринятых диагностических картах;
- основным количественным показателем, характеризующим качество работы метода, должна быть минимизация затрат на диагностические работы;
- алгоритмы, разработанные методом, должны быть понятными и убедительными;
- эффективность разработанного метода должна быть доказана и оценена объективным способом.

Проблематика разработки метода оптимизации диагностических алгоритмов укрупненно включала три этапа. Имеющиеся исходные диагностические алгоритмы реализованы в виде графических диагностических карт в растровом формате. Следовательно, первый этап обработки должен обеспечить перевод материала в форматы, доступные для обработки компьютерными методами. Второй этап ориентирован на оптимизацию алгоритмов, которая понимается как достижение экстремумов соответствующих критериев, характеризующих трудоемкость и себестоимость. Третий этап метода должны составлять процедуры обратного преобразования оптимального алгоритма к графической форме.

#### *Критерий эффективности диагностического алгоритма*

Для оценки эффективности диагностического алгоритма в качестве критерия целесообразно использовать трудоемкость. Это обусловлено тем, что завод-изготовитель автомобиля предоставляет своей дилерской сети полный перечень нормативов трудоемкости на выполнение всех необходимых операций при техническом обслуживании, ремонте и диагностировании автомобиля. Стоимость диагностирования также является объективной величиной, характеризующей процесс диагностирования, однако она менее пригодна для оценки алгоритма по причине постоянного изменения как себестоимости диагностирования (в связи с постоянным изменением цен на широкий перечень ее составляющих), так и стоимости услуг для клиентов автосервиса.

В качестве показателя, характеризующего эффективность карты, принята средняя трудоемкость диагностирования (СТД), единицей измерения которой является норма-час (н-ч). Процесс появления неисправностей и обращения в организации автосервиса является стохастическим, поэтому оценкой величины является ее математическое ожидание, которое для дискретных случайных величин вычисляется как сумма математических ожиданий затрат по каждому исходу. Затраты на диагностирование исхода, в свою очередь, рассчитываются как произведение вероят-

ности наступления исхода и суммарной трудоемкости всех операций, принадлежащих к траектории, связывающей исход с началом алгоритма. STD рассчитывается по формуле:

$$\text{STD} = \sum_{i=1}^n (P_i \sum_{j=1}^i S_j), \quad (1)$$

где  $i$  – индексы, относящиеся к исходам;

$n$  – количество исходов;

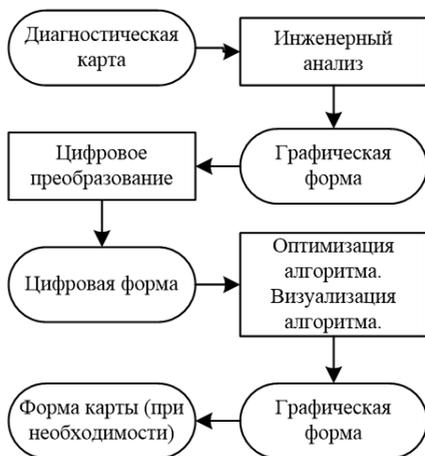
$P_i$  – вероятность  $i$ -го исхода;

$j$  – индексы всех родительских элементов  $i$ -го исхода;

$S_j$  – трудоемкость диагностирования  $j$ -й операции, н-ч.

*Формализация диагностической карты*

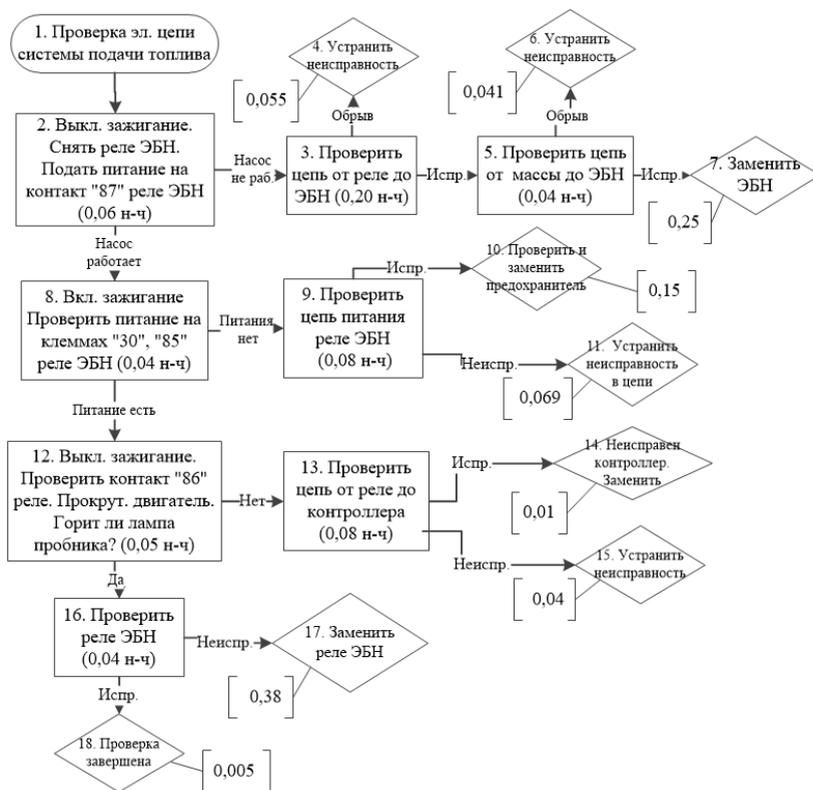
Преобразование алгоритма осуществлялось с использованием компьютерных технологий, поэтому исходные данные должны иметь вид, доступный для манипулирования средствами вычислительной техники. Для этого проведена формализация, состоящая из нескольких этапов, схема которых приведена далее (рисунок 4). В приведенной схеме в овальные рамки заключены формы представления алгоритма, а в прямоугольные – действия по преобразованию алгоритма.



**Рисунок 4 – Порядок действий для преобразования диагностической карты**

Предполагается, что разрабатываемый метод в качестве исходных данных использует существующие диагностические карты в их нативном формате (растровое изображение), поэтому начинается с операций преобразования формата. Имеющийся вид диагностической карты (см. рисунок 2) не позволяет объективно оценить ее эффективность в первую очередь по причине того, что в большинстве диа-

гностических карт проверочные операции не являются элементарными проверками. Это означает, что внутри элементов структуры карты (исходов, операций) содержатся проверочные действия, каждое из которых необходимо выделять как отдельное. Кроме того, целесообразно графическое разделение проверочных операций и исходов. С этой целью представлен разработанный расширенный граф (рисунок 5), отражающий формат, к которому были приведены проанализированные в исследовании диагностические карты.



**Рисунок 5 – Расширенный граф карты диагностирования электрической цепи системы топливоподачи**

Расширенный граф построен исходя из следующих принципов:

- 1) Начало алгоритма (соответствует наименованию неисправности, либо ее симптому) обозначено овалом.
- 2) Связи между элементами обозначены стрелками, на которых указывается условие, содержащее в себе логическую сущность (да/нет и т. п.).

3) Проверочные действия обозначены прямоугольниками. Они имеют логический выбор, т. е. две исходящих стрелки. В круглых скобках, после наименования проверки, указывается ее трудоемкость.

4) Исходы обозначены ромбами. Они характеризуются вероятностью, вынесенной рядом с ними в квадратных скобках.

5) Все действия проиндексированы и имеют уникальные номера для их идентификации.

На следующем этапе алгоритм преобразовывался в цифровой формат, пригодный для работы с алгоритмическим языком. Для адекватного описания информационной структуры древовидного графа разработан усовершенствованный формат, согласно которому граф записывается в виде набора (массива) объектов. Каждый объект отражает узел графа и содержит все необходимые атрибуты, такие как идентификация узла, наименование узла, идентификация родителя и другие. Данный формат позволяет полностью описать граф алгоритмическим языком.

Следующим этапом являлось преобразование структуры диагностического алгоритма с целью достижения минимальной трудоемкости диагностирования. Алгоритм преобразования основан на осуществлении элементарных операций по изменению структуры графа с учетом системы ограничений и теоремы об уменьшении трудоемкости. В общем случае алгоритм преобразования графа включает возможные действия, ограничения и теорему.

На расширенном графе были определены следующие действия:

- перестановка отдельной операции или совокупности операций (блоков);
- создание новой операции;
- удаление операции.

В расширенном графе могут встречаться фрагменты, преобразование которых с математической точки зрения не составляет препятствий, в то же время недопустимые с инженерной и практической точки зрения. С этой целью наложены следующие ограничения преобразований диагностических алгоритмов:

1) В процессе преобразования должны сохраняться логические условия структуры графа:

а) всеякими вершинами графа могут быть только исходы;

б) проверки не могут являться всеякими вершинами и всегда имеют исходящие связи.

2) Запрещается отделять исход от выявляющей его проверочной операции.

3) Запрещается помещать проверочные операции в иерархии выше операций, которые в силу инженерных причин должны им предшествовать.

Оптимизация графа (или улучшение целевого показателя) достигается за счет применения доказанной автором теоремы, которая сформулирована следующим образом: перестановка родительского и дочернего узлов приводит к снижению СТД алгоритма диагностирования в том случае, если отношение трудоемкости к интегральной вероятности у родительского элемента больше, чем у дочернего. Интегральная вероятность проверочной операции в нашем случае определяется как сумма вероятностей исходов, которые выявить без этой операции не представляется возможным. Таким образом, должно выполняться условие:

$$\frac{S_j}{\sum_{i=j}^k P_i} < \frac{S_{jPID}}{\sum_{i=jPID}^m P_i} \quad (2)$$

где  $k$  – заключительный исход выходящей из  $j$ -го узла ветви;

$S_{jPID}$  – трудоемкость выполнения родительской проверки для  $j$ -го узла, н-ч;

$m$  – заключительный исход выходящей из  $jPID$ -го узла ветви;

$jPID$  – индекс родительского узла для  $j$ -го узла.

Инструкция преобразования графа имеет следующий порядок:

1. Расчет STD по исходному графу.

2. Анализ иерархии ветвей графа, выделение линейных ветвей, содержащих исходы, и построение оптимальной структуры ветви, начиная с завершающих вершин, пузырьковым методом в соответствии с приведенной теоремой.

3. Выделение узлов, предшествующих в иерархии модифицированным участкам, расчет их интегральных показателей и очередной анализ иерархии ветвей преобразованного графа (см. п. 2), вплоть до достижения начала графа.

4. Расчет STD оптимизированного в результате преобразований алгоритма и его визуализация.

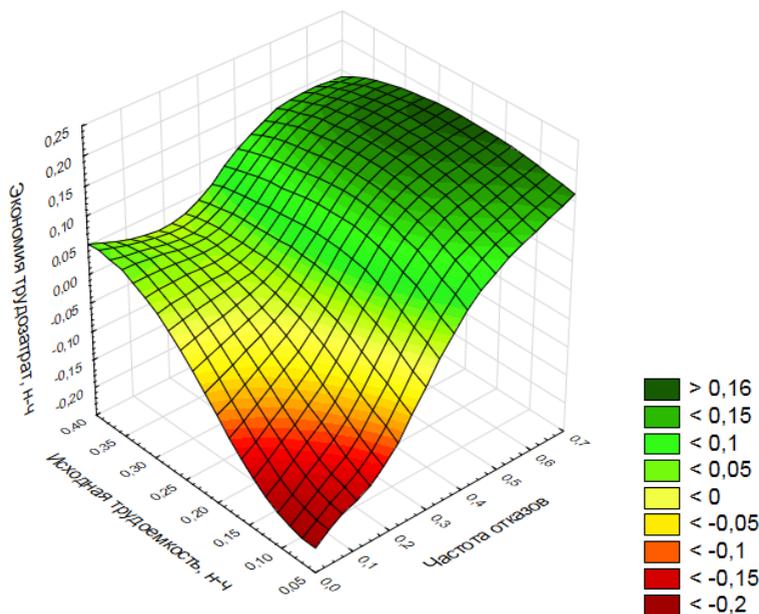
Практическая реализация инструментария для преобразования диагностических алгоритмов осуществлена в виде программного продукта AIGoPro, выполненного на языке JavaScript с использованием библиотек vis.js, node.js, обеспечивающих взаимодействие с электронными таблицами MS Excel и инструментами визуализации. Исходными данными для работы программы являются алгоритмы диагностирования в объектном виде в форме таблицы MS Excel. Программа производит структурную модернизацию алгоритма и выводит преобразованный алгоритм в объектном (математическом) виде и в графической форме. Результаты работы программы приведены ниже (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Фрагмент окна с элементами визуализации оптимизированного алгоритма**

Произведенные преобразования позволили снизить трудоемкость на 0,037 н-ч в абсолютном выражении, или на 16,1 % в относительном. Предварительная модернизация рассмотренной в автореферате диагностической карты (см. рисунок 3), лежащей в основе расширенного графа (см. рисунок 5), позволила достичь улучшения целевого показателя на 26 %. Для корректного анализа полученных результатов необходимо учитывать следующие особенности: преобразования над диагностической картой (см. рисунок 2) осуществлялись рационализаторски, а над графом алгоритма – с научно обоснованной точки зрения; алгоритм, лежащий в основе графа, прошел инженерный анализ и имеет структуру, объективно отражающую существующий процесс; относительно небольшая абсолютная величина снижения трудоемкости обусловлена, во-первых, жесткими и ограниченными нормами времени на выполнение операций, предусмотренными заводом-изготовителем, а, во-вторых, тем фактом, что выявление некоего отказа в автомобиле обычно включает в себя поиск неисправности с использованием нескольких диагностических карт.

В результате анализа оптимизированных диагностических карт получены расчетные данные снижения трудоемкости диагностирования. На рисунке 7 показана трехмерная диаграмма поверхности, отражающая экономию трудозатрат в зависимости от частоты возникновения отказов и трудоемкости их диагностирования по исходным алгоритмам.



**Рисунок 7 – Трехмерная диаграмма, характеризующая взаимозависимость экономии трудозатрат от частоты отказов и исходной трудоемкости**

**В пятой главе**, в соответствии с задачами исследования, была проведена сравнительная оценка эффективности разработанного метода. В качестве критерия эффективности рассматривалась средняя трудоемкость диагностирования, а при сравнительном анализе оценивались различия между параметрами трудоемкости в исследуемой группе, прошедшей диагностирование по модернизированным алгоритмам, и контрольной группе, диагностирование в которой осуществлялось по существующим алгоритмам.

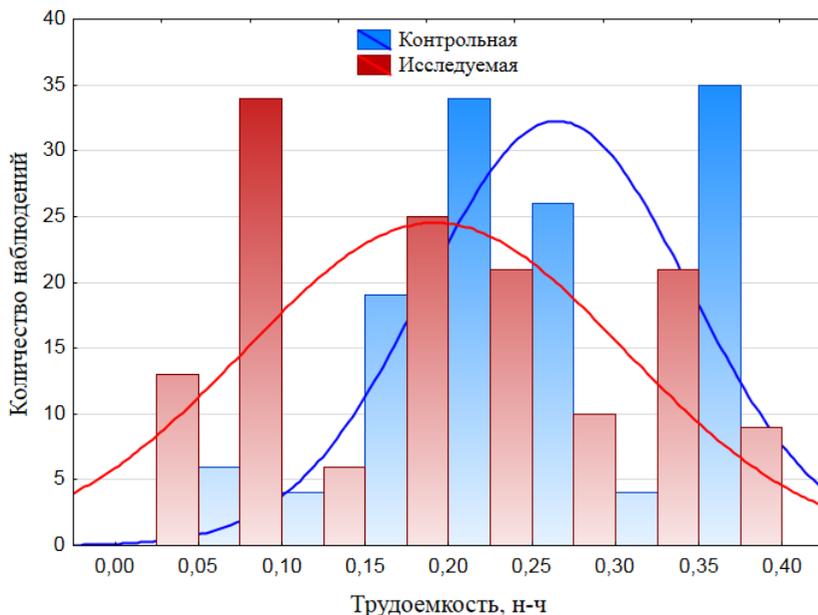
Проведенные оценки показали, что полномасштабный натурный эксперимент по ряду объективных причин для данной задачи неприменим. В то же время теоретический расчет математических ожиданий трудоемкости в исследуемой и контрольной группах не обеспечивает получение достоверного результата. Поэтому для проведения сравнительного анализа был разработан способ моделирования потока отказов, применяющийся для решения аналогичных задач.

Способ основан на моделировании случаев обращения клиентов в организацию автосервиса в соответствии с эмпирическими частотами неисправностей и прогнозными закономерностями их возникновения и формирует случайным образом исследуемую группу, в которой диагностирование проводится по модернизированному диагностическому алгоритму, а также контрольную группу, в которой диагностирование проводилось по существующим диагностическим картам. Затраченное на диагностирование время определялось посредством эмуляции прохождения алгоритма диагностирования.

На первом шаге была использована полученная в рамках исследования сложившейся практики диагностирования статистика отказов, на основе которых формировалась таблица относительных вероятностей исходов. После анализа информации неисправности заносились в базу данных вероятностей. На основе полученного статистического распределения, согласно разработанному методу, проводилась оптимизация алгоритмов диагностирования. В результате была получена база данных с двумя массивами трудоемкостей: для контрольной и исследуемой групп. Для проведения эксперимента было смоделировано 267 случаев обращения, которые в соответствии с рандомизацией наблюдений распределились следующим образом: 139 случаев попали в исследуемую группу, 128 – в контрольную.

По результатам статистического анализа установлено, что средняя трудоемкость диагностирования по алгоритмам, оптимизированным с использованием разработанного метода составила 0,191 (95 % доверительный интервал (ДИ) 0,16–0,22) н-ч, в то время как в контрольной группе по стандартному методу – 0,264 (95 % ДИ 0,24–0,28) н-ч. Различия статистически значимы ( $p < 0,001$ ). На графике (рисунок 8) показаны гистограммы распределения трудоемкости для исследуемой и контрольной групп. Из гистограмм видно, что средняя величина трудоемкости в исследуемой группе значительно ниже. Можно обратить внимание на то, что наряду с различиями в средних величинах наблюдается также значительная разница в форме распределения. В частности, в исследуемой группе мода сдвинута к малым значениям трудоемкости, а в контрольной, наоборот, – к максимальным значениям. Такое явление можно объяснить тем, что исследуемая группа соответствует оптимизированному алгоритму, следовательно, распределение трудоемкости соответствует объективно существующим соотношениям в реальности. В то же время в контрольной группе многие исходы имеют субъективно увеличенные це-

почки операций, в результате чего наблюдается большая доля неисправностей, требующих высокой трудоемкости при диагностировании.



**Рисунок 8 – Гистограммы распределения трудоемкости отдельных операций в исследуемой и контрольной группах**

В исследовании отмечено, что проблема оптимизации алгоритмов диагностирования имеет универсальный характер, а полученные результаты могут быть адаптированы к любым условным алгоритмам, имеющим количественные характеристики проверочных операций и вероятностные характеристики исходов, и, соответственно, могут применяться в других отраслях.

Экономическая эффективность внедрения разработанного метода в практику участка диагностирования автомобилей организации автосервиса СОАО «Минск-Лада», рассчитанная на основании усредненного объема выполненных за 2020–2021 гг. работ, выражается в годовом росте прибыли с 2360 рублей до 13 026 рублей и росте рентабельности с 1,5 % до 7,6 %.

Разработанная инструкция по оптимизации и программный продукт AIGoPro адаптированы для экспресс-корректировки существующей диагностической документации и готовы к использованию в организациях автосервиса и автомобильного транспорта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. На основе исследования существующей практики диагностирования автомобилей и анализа экспериментальных данных о 521 случае обращения по вопросам возникновения неисправностей автомобилей на СОАО «Минск-Лада», установлены закономерности распределения отказов и частоты возникновения неисправностей; продемонстрированы зависимости изменения трудоемкости диагностирования от пробега автомобилей, а также от иерархии проверочных операций в технологических картах. Оценка средних трудозатрат на диагностирование одного автомобиля составила 2,76 нормо-часа (для двигателей автомобилей Lada Vesta, Xray, Largus). Доказано, что средние трудозатраты на диагностирование одного автомобиля могут быть снижены за счет реструктуризации алгоритма. [1; 3; 5; 6; 13; 16; 17].

2. Разработан метод оптимизации диагностических алгоритмов, включающий:

- систему формализации диагностических карт, основанную на преобразовании их к виду расширенных графов, содержащих параметры трудоемкости операций и вероятности исходов;

- представление расширенных графов в цифровом виде, доступном для алгоритмической обработки;

- способ автоматизированного количественного определения качества алгоритмов диагностирования, в котором критерием эффективности алгоритма является средняя трудоемкость диагностирования;

- инструкцию, основанную на анализе иерархии ветвей графа и структурном преобразовании расширенного графа в соответствии с доказанной теоремой об уменьшении трудоемкости, вплоть до получения глобального минимума математического ожидания общей трудоемкости диагностирования по алгоритму.

Разработана компьютерная программа для автоматизации процесса оптимизации структуры алгоритма и преобразования оптимизированного алгоритма в графическую форму [2; 3; 10; 13; 15].

3. Разработан способ сравнения эффективности алгоритмов диагностирования, основанный на моделировании потока отказов методом Монте-Карло с учетом полученных экспериментально вероятностей неисправностей, включающий прогнозирование случайных событий на основе полученных зависимостей. В результате сравнительного анализа установлено, что применение разработанного метода обеспечило снижение трудозатрат на диагностирование на 27,7 %. Средняя трудоемкость технологических процессов диагностирования по разработанному методу составила 0,191 (95 % ДИ 0,16–0,22) н-ч, в то время как трудоемкость в контрольной группе по стандартному методу – 0,264 (95 % ДИ 0,24–0,28) н-ч [4; 7; 16].

4. Разработан комплекс мероприятий для организаций автосервиса, основанный на использовании разработанного метода и оборудования и созданной компьютерной программы, предназначенный для снижения трудоемкости диагностирования. Экономическая эффективность внедрения разработанного метода в практику участка диагностирования автомобилей организации автосервиса СОАО «Минск-Лада», рассчитанная на основании усредненного объема выполненных за 2020–2021 гг. работ, выражается в годовом росте прибыли с 2360 рублей до 13 026 рублей и росте рентабельности с 1,5 % до 7,6 % [8; 9; 11; 12; 14].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Результаты диссертационных исследований, включающие инструкцию структурной оптимизации алгоритмов, компьютерную программу для ее реализации и преобразования алгоритма в графическую форму (апробированные на СОАО «Минск-Лада» и СООО «Атлант-М Фарцойгхандель»), рекомендуется использовать для модернизации технологии диагностирования автомобилей на любых предприятиях автосервиса, предоставляющих услуги по диагностированию автомобилей.

2. Предложенный формат визуального отображения условных алгоритмов рекомендуется применять при формировании диагностических карт самого широкого назначения. Кроме того, разработанный метод может быть адаптирован к оптимизации различного рода процессов, основанных на условных алгоритмах.

3. Разработанные подходы к структурной оптимизации алгоритмов и предложенный формат визуального отображения условных алгоритмов возможно использовать для формирования системы технического обслуживания нового поколения автомобилей и автобусов МАЗ.

4. Результаты диссертационных исследований используются в учебном процессе кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Белорусского национального технического университета, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Разработанные и использованные в рамках диссертационного исследования стенд модели электронной системы управления двигателем, а также стенд, моделирующий роботизированную коробку передач DSG7, внедрены в учебный процесс кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» Белорусского национального технического университета.

5. Разработанная компьютерная программа для преобразования и графической визуализации диагностических алгоритмов зарегистрирована в реестре служебных программ Белорусского национального технического университета.



## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Статьи в изданиях, включенных в перечень ВАК

1. Серебряков, И. А. Исследование влияния программы управления двигателем на эксплуатационные свойства автомобиля = The investigation of influence of the engine control program on the performance of a car / А. С. Гурский, И. А. Серебряков // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. ст. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – Вып. 2. – С. 111–124.

2. Серебряков, И. А. Разработка метода оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей / И. А. Серебряков // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 331–339.

3. Серебряков, И. А. Анализ эффективности алгоритмов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей / И. А. Серебряков // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. В, Промышленность. Прикладные науки. – 2022. – Т. 46, № 10. – С. 80–85.

4. Серебряков, И. А. Анализ эффективности метода оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей = Analysis of the efficiency of the method for optimizing diagnosing algorithms for diagnosing internal combustion engines of cars / И. А. Серебряков, А. П. Мириленко // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии : сб. науч. ст. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: С. В. Харитончик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Вып. 4. – С. 6–12.

### Статьи в научных журналах

5. Серебряков, И. А. Метод диагностирования роботизированных коробок передач DSG / И. А. Серебряков, А. С. Гурский // Изобретатель. – 2016. – № 10 (202). – С. 43–45.

6. Серебряков, И. А. Анализ существующих алгоритмов диагностирования силовых установок и их эффективности / И. А. Серебряков // Изобретатель. – 2021. – № 1–2 (242–243). – С. 26–31.

7. Серебряков, И. А. Сравнительный анализ эффективности оптимизированных алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей/ И. А. Серебряков, А. П. Мириленко // Изобретатель. – 2022. – № 1–2 (246–247). – С. 25–30.

### Материалы международных конференций

8. Серебряков, И. А. Особенности диагностирования антиблокировочных систем / И. А. Серебряков, А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 23–26 апреля 2015 г. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калининченко. – Минск, 2015. – Т. 2. – С. 83–84.

9. Серебряков, И. А. Способ диагностирования электронного блока Mechatronic роботизированной коробки передач DSG / И. А. Серебряков, А. С. Гурский // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 23–26 апреля 2015 г. : в 2 т. / Белорус. нац.

техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталеv, Ф. А. Романюк, А. С. Калининченко. – Минск, 2015. – Т. 2. – С. 84–85.

10. Серебряков, И. А. Методология диагностирования и проблема выбора оптимального метода диагностирования технических устройств / И. А. Серебряков, С. В. Гуринович // Информационные технологии в технических, правовых, политических и социально-экономических системах : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 20 апр. 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: В. В. Цепкало [и др.]. – Минск : РИВШ, 2017. – С. 376–377.

11. Серебряков, И. А. Разработка стенда и способа для диагностирования роботизированных коробок передач DSG / И. А. Серебряков, Н. Г. Серебрякова, А. С. Гурский // Современные исследования 2018 : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Нефтекамск, 6 февр. 2018 г. / Научно-издательский центр «Мир науки»; под ред. А. И. Вострецова. – Нефтекамск, 2018. – С. 155–159.

12. Разработка модели электронной системы управления бензиновым атмосферным двигателем / И. А. Кулешков ; науч. рук. И. А. Серебряков // НИРС-2019 : материалы 75-й студ. науч.-техн. конф., Минск, 21–24 мая 2019 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: А. С. Поварехо (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2019. – С.78–79.

13. Серебряков, И. А. Совершенствование процесса диагностирования силовых установок автомобилей / И. А. Серебряков // IX форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства : материалы IX форума вузов инж.-техн. профиля Союз. гос-ва, Минск, 26–30 окт. 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; ред.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С.70–72.

#### **Статьи в сборниках**

14. Серебряков, И. А. Разработка стенда модели электронной системы управления роботизированной коробкой передач = Development of a stand for a model of an electronic control system for a robotic gearbox / А. С. Гурский, И. А. Серебряков // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. науч. тр. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – Т. 2. – С. 16–18.

15. Серебряков, И. А. Метод оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей = A method for optimization of diagnostic algorithms for car engines / А. С. Гурский, И. А. Серебряков // Автотракторостроение и автомобильный транспорт : сб. науч. тр. : в 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Т. 1. – С. 317–320.

#### **Монография**

16. Серебряков, И. А. Повышение качества технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств путем мониторинга технического состояния / А. А. Алешко [и др.] ; под общ. ред. Д. Н. Ковалея. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2018. – С. 238–244.

#### **Патент на изобретение**

17. Стенд для диагностирования антиблокировочной тормозной системы : пат. ЕА 037394 В1 / А. С. Гурский, И. А. Серебряков. – Оpubл. 24.03.2021.

## РЭЗІЮМЭ

Серабракоў Ігар Андрэвіч

### **Зніжэнне працаёмкасці дыягнаставання аўтамабіляў на падставе дадзеных безадмоўнасці метадам структурнай аптымізацыі алгарытмаў**

**Ключавыя словы:** дыягностыка, безадмоўнасць, дыягнаставанне аўтамабіляў, алгарытм дыягнаставання, граф алгарытму дыягнаставання, эфектыўнасць дыягнаставання

**Мэта даследавання:** зніжэнне працаёмкасці дыягнаставання аўтамабіляў шляхам распрацоўкі метаду структурнай аптымізацыі алгарытмаў дыягнаставання на аснове аналізу безадмоўнасці аўтамабіляў.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** у даследаванні выкарыстоўваліся матэматычныя метады: ацэнка матэматычных чаканняў, палажэнні тэорыі графаў, структурная аптымізацыя, а таксама метады статыстычнага аналізу пры апрацоўцы зыходных дадзеных, фарміраванні і апрацоўцы вынікаў эксперыменту. Для аблічбоўкі і пераўтварэння дадзеных, неабходных для аптымізацыі алгарытмаў, выкарыстоўваліся метады праграмавання на ПК. Пры даследаванні метадаў і алгарытмаў дыягнаставання выкарыстоўваліся спецыяльна распрацаваныя стэнды мадэлявання сістэм кіравання рухавіком, каробкай перадач і антыблакіровачнай тармазной сістэмай.

#### **Атрыманыя вынікі і іх навізны.**

На падставе даследавання існуючай практыкі дыягнаставання аўтамабіляў і аналізу эксперыментальных дадзеных ўстаноўлены заканамернасці размеркавання адмоў і частаты ўзнікнення няспраўнасцяў, даказана, што працазатраты на дыягнаставанне могуць быць зніжаны за кошт рэструктурызацыі алгарытму. Распрацаваны метады аптымізацыі дыягнастычных алгарытмаў і камп'ютарная праграма для аўтаматызацыі прымянення метаду. Распрацаваны спосаб параўнальнай ацэнкі эфектыўнасці дыягнастычных алгарытмаў, які дазволіў даказаць, што выкарыстанне распрацаванага метаду забяспечвае зніжэнне працаёмкасці ў сярэднім на 27,7 %. Прапанаваны комплекс мерапрыемстваў, прызначаны для зніжэння працаёмкасці і павышэння рэнтабельнасці дыягнаставання аўтамабіляў на 5–10 %.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні:** распрацаваны метады рэкамендуецца да выкарыстання на прадпрыемствах аўтасэрвісу і аўтамабільнага транспарту, у аўтамабілебудаванні пры распрацоўцы эксплуатацыйнай дакументацыі, а таксама ў навучальным працэсе пры падрыхтоўцы інжынераў у галінах тэхнічнай эксплуатацыі аўтамабіляў.

**Вобласць выкарыстання:** сфера абслугоўвання аўтамабіляў, прадпрыемствы аўтамабільнага транспарту і аўтасэрвісу; аўтамабілебудаванне.

## РЕЗЮМЕ

Серебряков Игорь Андреевич

### **Снижение трудоемкости диагностирования автомобилей на основе данных безотказности методом структурной оптимизации алгоритмов**

**Ключевые слова:** диагностика, безотказность, диагностирование автомобилей, алгоритм диагностирования, граф алгоритма диагностирования, эффективность диагностирования

**Цель исследования:** снижение трудоемкости диагностирования автомобилей путем разработки метода структурной оптимизации алгоритмов диагностирования на основе анализа безотказности автомобилей.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** в исследовании применялись математические методы: оценка математических ожиданий, положения теории графов, структурная оптимизация, а также методы статистического анализа при обработке исходных данных, формировании и обработке результатов эксперимента. Для оцифровки и преобразования данных, необходимых для оптимизации алгоритмов, использовались методы программирования на ПК. При исследовании методов и алгоритмов диагностирования использовались специально разработанные стенды моделирования систем управления двигателем, коробкой передач и антиблокировочной тормозной системой.

#### **Полученные результаты и их новизна.**

На основе исследования существующей практики диагностирования автомобилей и анализа экспериментальных данных установлены закономерности распределения отказов и частоты возникновения неисправностей, доказано, что трудозатраты на диагностирование могут быть снижены за счет реструктуризации алгоритма. Разработан метод оптимизации диагностических алгоритмов и компьютерная программа для автоматизации применения метода. Разработан способ сравнительной оценки эффективности диагностических алгоритмов, позволивший доказать, что использование разработанного метода обеспечивает снижение трудоемкости в среднем на 27,7 %. Предложенный комплекс мероприятий предназначен снизить трудоемкость и повысить рентабельность диагностирования автомобилей на 5–10 %.

**Рекомендации по использованию:** разработанный метод рекомендуется к использованию на предприятиях автосервиса и автомобильного транспорта, в автомобилестроении при разработке эксплуатационной документации, а также в учебном процессе при подготовке инженеров в областях технической эксплуатации автомобилей.

**Область применения:** сфера обслуживания автомобилей, предприятия автомобильного транспорта и автосервиса; автомобилестроение.

## ABSTRACT

Serebryakov Ihar Andreevich

### **Reducing the laboriousness of diagnosing cars based on reliability data by the method of structural optimization of algorithms**

**Key Words:** diagnostics, reliability, vehicle diagnostics, diagnostic algorithm, diagnostic algorithm graph, diagnostic efficiency

**The purpose of the research:** reducing the laboriousness of diagnosing cars by developing a method for structural optimization of diagnostic algorithms based on the analysis of the reliability of cars.

**Methods of research and equipment:** during the study used mathematical methods: evaluation of mathematical expectations, the provisions of graph theory, structural optimization, as well as methods of statistical analysis in the analysis of initial data, the formation and processing of experimental results. PC programming methods were used to digitize and transform the data needed to optimize the algorithms. In the study of methods and algorithms for diagnosing, specially designed stands for simulating engine control systems, gearbox and anti-lock braking system were used.

**The results and their novelty.**

Based on the study of the existing practice of diagnosing cars and the analysis of experimental data, the patterns of distribution of failures and the frequency of occurrence of malfunctions were established, it was proved that labor costs for diagnosing can be reduced by restructuring the algorithm. A method for optimizing diagnostic algorithms and a computer program for automating the application of the method have been developed. A method for comparative evaluation of the effectiveness of diagnostic algorithms has been developed, which made it possible to prove that the use of the developed method provides a reduction in labor intensity by an average of 27.7 %. A set of measures is proposed, designed to reduce the complexity of diagnosing and to increase the profitability of diagnosing cars by 5–10 %.

**Guidance for use:** the developed method is recommended for use at car service and road transport enterprises, in the automotive industry when developing operational documentation, as well as in the educational process when training engineers in the field of technical operation of vehicles.

**Application area:** car service industry, road transport enterprises and car service; automotive industry.

Научное издание

**СЕРЕБРЯКОВ**  
**Игорь Андреевич**

**СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
АВТОМОБИЛЕЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БЕЗОТКАЗНОСТИ  
МЕТОДОМ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.22.10 – эксплуатация автомобильного транспорта

Подписано в печать 12.09.2023. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Цифровая печать.  
Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,53. Тираж 60. Заказ 758.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск.