

СЕРЕБРЯКОВ И. А.,
старший преподаватель¹
E-mail: serabakovtea@bntu.by

МИРИЛЕНКО А. П., канд. техн. наук, доц.,
доцент²
E-mail: Mirilen@bsatu.by

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.05.2022

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В современной практике диагностирования сложных технических устройств, наряду с постоянно развивающимися методами диагностирования и диагностическим оборудованием, актуальным по-прежнему является поиск неисправности, основанный на логических закономерностях. Поиск неисправностей двигателей внутреннего сгорания автомобилей в организациях автомобильного транспорта и автосервиса обычно выполняется с помощью диагностических карт, представляющих собой алгоритмы осуществления диагностических операций (алгоритмы диагностирования). Рассмотрение реальной практики показало, что используемые алгоритмы диагностирования не всегда обладают оптимальной структурой и не ориентированы на получение наименьших трудозатрат. Ранее нами был разработан метод модификации диагностических алгоритмов, направленный на достижение максимальной экономической эффективности и минимальных трудозатрат на диагностирование. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу модифицированных разработанным методом диагностических алгоритмов и существующих реальных диагностических карт. Анализ проведен с помощью специально разработанного способа виртуального эксперимента, основанного на методе Монте-Карло и технологии «бутстрэп». В результате проведенного сравнения показано, что на примере типовых неисправностей автомобилей Лада применение разработанного метода статистически значимо обеспечило снижение трудозатрат на 27 %, что следует также признать экономически значимым.

Ключевые слова: диагностирование двигателей, диагностическая карта, граф, логический алгоритм диагностирования с выбором последующего действия, критерий оценки эффективности диагностирования.

Введение

Большинство современных автомобилей, без которых сложно представить жизнь человека, было оснащено и продолжает оснащаться двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В 2021 году 91 % выпущенных в мире автомобилей имел силовую установку на базе ДВС [1]. В автопарке стран СНГ доля эксплуатируемых автомобилей с ДВС составляет более 99 %. Этим фактом обоснован выбор объекта исследования. Тем не менее, учитывая экспоненциальный рост продаж электромобилей, следует

отметить, что предложенная методика может применяться и для автомобилей, оснащенных электродвигателями.

На протяжении всего срока службы автомобиль подвергается техническому обслуживанию и ремонту. Неотъемлемой составляющей ремонта автомобиля являются операции диагностирования. В данном исследовании рассматривается диагностирование ДВС, которые относятся к сложным техническим устройствам. Для выявления точной причины отказа

двигателя целесообразно придерживаться определенной последовательности действий – алгоритма диагностирования [2].

Анализ существующей практики диагностирования бензиновых двигателей легковых автомобилей на примере марки Lada показал [3], что при разработке документов, регламентирующих порядок технического обслуживания (диагностических карт) не учитываются показатели трудоемкости отдельных элементов алгоритмов диагностирования, в результате чего экономика диагностирования не является достаточно эффективной.

Был разработан метод оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей, позволяющий минимизировать стоимостные характеристики диагностических карт [4]. В качестве показателя, характеризующего эффективность карты, в данном исследовании была принята средняя трудоемкость диагностирования (далее – СТД), единицей измерения которой является норма-час (н-ч).

Для формирования полноценного заключения о перспективах применения и результативности разработанного метода следует провести сравнительный анализ его эффективности.

Способы сравнительного анализа эффективности диагностических алгоритмов

В соответствии с изложенным пониманием эффективности, сравнение диагностических карт должно оценивать различия в эмпирических величинах средней трудоемкости диагностики. При этом частоты наблюдений различных неисправностей должны соответствовать их реальным вероятностям. Цель сравнительного анализа эффективности разработанного метода оптимизации может достигаться разными способами, сопряженными с различными временными и трудовыми затратами. Анализ публикаций [5, 6, 7] по данной проблематике показал, что существует 3 основных подхода, существенно различающихся методологически.

1. Прямой математический способ. Данный подход предполагает теоретический расчет математического ожидания стоимости диагностирования по конкретному алгоритму в соответствии с эмпирически полученными значениями весов для вероятностей отказов. Такая методология соответствует минимальной трудоемкости, но в то же время недостаточно учитывает вариабельность реальных данных и, в конечном счете, принципиально не позволяет оценить статистическую значимость различий. Можно сделать вывод, что такой способ проверки недостаточно объективен.

2. Натурный эксперимент. Данный способ сравнения предполагает внедрение разработанного метода в практику предприятий автосервиса. Его практическая реализация включает измерение трудозатрат выполнения операций диагностирования и создание соответствующей базы данных. Причем каждый новый поступивший заказ должен случайным образом распределяться по исследуемому и контрольному алгоритмам диагностики. После набора необходимого для достижения заданной мощности эксперимента объема данных производится оценка средней стоимости диагностирования в каждой из групп и статистической значимости их различий. Этот способ сопряжен с рядом практических препятствий. Во-первых, он требует существенных временных затрат, ведь необходимо будет наработать статистически значимый массив данных по каждому событию (диагностическому исходу), учитывая ширину возможного диапазона отказов. Во-вторых, значительное влияние будет иметь человеческий фактор. Один и тот же слесарь-диагност на диагностирование одной и той же неисправности может затратить различное время, т. к. в конкретный момент времени его эмоциональное, физическое и психическое состояние будут оказывать существенное влияние на процесс диагностики. В связи с вышеперечисленным, натурный эксперимент представляется крайне затруднительным и малореальным в исполнении.

3. Виртуальный эксперимент. В этом случае осуществляется эмуляция реальных процессов с помощью математических методов. Поскольку в нашем случае распределение отказов двигателей внутреннего сгорания имеет стохастический характер, его моделирование может основываться на т. н. методе Монте-Карло [8], предполагающем многократную генерацию виртуальных случаев наблюдения и дальнейшую оценку генеральной совокупности по полученному массиву данных. Подробнее реализация метода в данном исследовании будет описана далее. Данный способ будет являться объективным, в то же время он будет сопряжен с невысокими затратами на реализацию и отсутствием влияния человеческого фактора.

Анализ рассмотренных подходов показывает, что наиболее осуществимым и в то же время достаточно объективным в нашем случае будет являться виртуальный эксперимент. Далее будет рассмотрена его практическая реализация.

Пошаговая схема виртуального эксперимента сравнительной оценки эффективности

алгоритмов диагностирования показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурное преобразование алгоритма диагностирования

На первом шаге была получена статистика отказов, на основе которых формировалась таблица относительных вероятностей исходов. Для этого были проанализированы отказы электронной системы управления двигателем автомобилей Lada Vesta, Lada XRay, Lada Largus, оснащенных одинаковыми двигателями ВАЗ 21129 и одинаковой электронной системой управления соответственно. С этой целью было обработано 513 заказ-нарядов на диагностирование вышеупомянутых автомобилей. Полученные результаты были сопоставлены с общеизвестной практикой [9]. По результатам сопоставления была подтверждена адекватность структуры множества отказов.

В исследование были включены следующие разделы неисправностей: неисправности системы зажигания, электрической цепи и механической части системы топливоподдачи; общее диагностирование запуска двигателя; неисправности главного реле и силовой цепи.

После анализа информации неисправности были занесены в базу данных вероятностей (шаг 2 на рисунке 2), фрагмент которой продемонстрирован в таблице 1. Таблица 1 включает в себя неисправности электрической цепи системы топливоподдачи. На следующем шаге осуществлялся подбор диагностических карт, позволяющих своей полнотой покрыть неисправности из полученной базы данных. Для примера рассмотрим соответствующую неисправностям электрической цепи системы топливоподдачи диагностическую карту «А-5. Проверка электрической цепи системы подачи топлива» [10]. Возможные отказы, диагностируемые этой картой, были занесены в таблицу 1, и каждому из них было присвоено удельное значение вероятности. Для удобства анализа, суммарная вероятность неисправностей в таблице приведена к 100 %, однако следует понимать, что в общем списке рассматриваемых неисправностей ее вероятность будет умножаться на вероятность наличия неисправности по соответствующей карте. Таблица содержит в себе следующую информацию: наименование диагностического исхода, которое в диагностической карте формулируется в виде действия, которое необходимо совершить для устранения той или иной неисправности, и соответствующий этой конкретной неисправности уникальный идентификатор. Также таблица включает столбец с количеством наблюдаемых случаев каждой неисправности, и удельной вероятностью каждого случая.

На основе полученного статистического распределения, согласно разработанному методу, оптимизируются алгоритмы диагностирования [4].

На следующем шаге осуществлялась генерация виртуальной выборки неисправностей методом Монте-Карло. Была получена рандомизированная выборка диагностических случаев в соответствии с изначально заданным вероятностным распределением, фрагмент которой представлен в таблице 2. В базе данных виртуального эксперимента, помимо текстового описания, каждая неисправность имеет свой уникальный идентификатор, который отражен в таблице. Для наибольшей реалистичности, каждый случай записан или в контрольную группу, соответствующую стандартному алгоритму поиска неисправности, или в исследуемую, соответствующую оптимизированному алгоритму.

Таблица 1 – Фрагмент базы данных распределения неисправностей

| № п/п | Наименование диагностического исхода | ID неисправ. | Кол-во наблюд. | Вероятность неисправ., % |
|-------|---|--------------|----------------|--------------------------|
| 1 | Устранить неисправность эл. цепи питания электробензонасоса | 504 | 4 | 5,48 |
| 2 | Устранить неисправность эл. цепи массы электробензонасоса | 506 | 3 | 4,11 |
| 3 | Заменить электробензонасос | 507 | 18 | 24,66 |
| 4 | Заменить предохранитель электробензонасоса | 510 | 11 | 15,07 |
| 5 | Устранить неисправность эл. цепи питания реле электробензонасоса | 511 | 5 | 6,85 |
| 6 | Неисправен ЭБУ. Заменить | 514 | 1 | 1,37 |
| 7 | Устранить неисправность эл. цепи управления от реле электробензонасоса до ЭБУ | 515 | 3 | 4,11 |
| 8 | Заменить реле электробензонасоса. | 517 | 28 | 38,36 |
| | | Итого | 73 | 100,00 |

Таблица 2 – Фрагмент базы данных виртуального эксперимента

| № п/п | Наименование неисправности | ID неисправ. | Группа | Трудоемкость выявления, н-ч |
|-------|--|--------------|--------|-----------------------------|
| 1 | Негерметичность соединений топливопроводов | 615 | контр. | 0,31 |
| 2 | Неисправна катушка зажигания | 356 | иссл. | 0,06 |
| 3 | Неисправность цепи питания ЭБН | 504 | контр | 0,22 |
| 4 | Неисправно реле электробензонасоса | 517 | контр | 0,04 |
| 5 | Неисправно главное реле | 346 | иссл. | 0,26 |
| 6 | Неисправен датчик температуры | 1109 | контр | 0,14 |
| 7 | Неисправен электробензонасос | 507 | иссл. | 0,34 |

Поскольку при выявлении неисправности диагност проходит определенный путь по алгоритму диагностирования, в виртуальном эксперименте каждой неисправности была присвоена соответствующая трудоемкость, соответствующую реальной величине, выраженную в нормо-часах.

В контрольной и исследуемой группе трудоемкости выявления одних и тех же неисправностей различаются, поскольку достигаются разными путями.

Таким образом были получены 2 массива трудоемкостей: для контрольной и исследуемой групп. Средняя величина стоимости для каждой группы, полученная таким образом, и будет являться экспериментально полученной STD соответствующей группы. Таблица 2 отражает небольшой фрагмент виртуального эксперимента, для проведения которого было сгенерировано 267 виртуальных случаев обращения на СТО, которые в соответствии с рандомизацией распределились следующим образом: 139 случаев попали в исследуемую группу, 128 в контрольную группу. По результатам исследования установлено, что средняя стоимость диагностирования по алгоритмам, оптимизированным с использованием разработанного методу составила 0,191 (95 % ДИ 0,16-0,22) н-ч в то время как стоимость в контрольной группе по

стандартному методу – 0,264 (95 % ДИ 0,24-0,28) н-ч, различия статистически значимы ($p < 0,001$). На рисунке 2 визуализированы данные виртуального эксперимента с использованием программы Statistica. Показаны гистограммы распределения трудоемкости отдельных операций в исследуемой и контрольной группах, и соответствующие функции для нормального распределения со средними величинами дисперсии, равными эмпирическим.

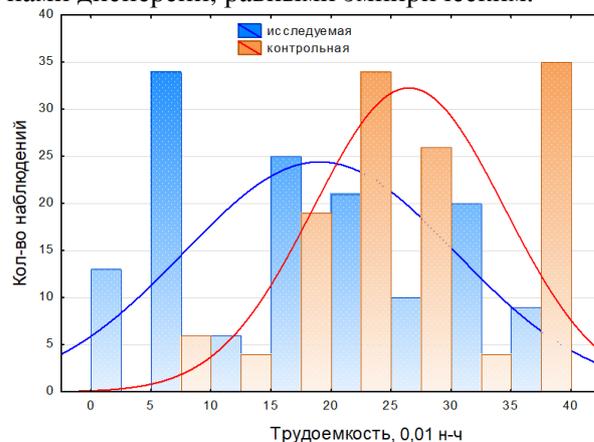


Рисунок 2 – Гистограммы распределения трудоемкости отдельных операций в исследуемой и контрольной группах

Хорошо видно, что средняя величина трудоемкости в исследуемой группе значительно

ниже. Можно обратить внимание на то, что кроме различий 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 следующими предположениями: 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 цепочки операций, в результате чего наблюдается большая доля неисправностей, требующих высокой трудоемкости при диагностировании.

Заключение

1. Разработан способ оценки эффективности нового метода оптимизации алгоритмов диагностирования, включающий формирование виртуального эксперимента и создание базы данных наблюдений с использованием метода Монте-Карло, обеспечивающего генерирование случаев неисправности в соответствии с эмпирическим распределением вероятности их возникновения.

2. На основе разработанного способа создана рандомизированная база данных наблюдений, включающая 139 случаев обращения в организацию автосервиса и проведения диагностирования с использованием оптимизированных алгоритмов диагностирования, а также 128 случаев обращения, в которых диагностированию осуществлялось стандартными алгоритмами.

3. В результате сравнительного анализа установлено, что применение разработанного метода обеспечивает снижение затрат на диагностирование на 27 %. Средняя стоимость диагностирования по алгоритмам, оптимизированным с использованием разработанного метода составила 0,191 (95 % ДИ 0,16-0,22) н-ч в то время как стоимость в контрольной группе по стандартному методу – 0,264 (95 % ДИ 0,24-0,28) н-ч, различия статистически значимы ($p < 0,001$).

Литература

1. Motorization Rate 2015 – Worldwide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/>. – Дата доступа: 17.10.2021.
2. Техническая диагностика. Термины и определения: ГОСТ 20911-89. – Взамен ГОСТ 20911-75; введ. РБ 01.01.91. – Москва: Гос. комитетом по управлению качеством продукции и стандартам, 1989. – 10 с.
3. Серебряков, И. А. Анализ существующих алгоритмов диагностирования силовых установок и их эффективности / И. А. Серебряков // Изобретатель. – 2021. – № 1–2 (242–243). – С. 26–31.
4. Серебряков, И. А. Разработка метода оптимизации алгоритмов диагностирования двигателей автомобилей / И. А. Серебряков // Наука и техника. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 331–339.
5. Пархоменко, П. П. Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М.: Энергия, 1981. – Кн. 2. Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства. – 320 с.
6. Дунаев, А. М. Процедура построения оптимального логического алгоритма диагностирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22, № 9. – С. 82–90.
7. Танкович, В. С. Разработка оптимального алгоритма диагностирования дизельного двигателя в условиях автотранспортных предприятий: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.22.10 / В. С. Танкович; Харьковский автомоб.-дорожный ин-т. – Харьков, 1987. – 18 с.
8. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1968. – 64 с.
9. Хлебушкин, И. В. Лада Веста. Итоги ресурсного теста Авторевю / И. В. Хлебушкин // Авторевю. – 2016. – № 22. – С. 47–51.
10. Электронная система управления двигателем 21129 автомобилей семейства Lada Vesta с контроллером М86 ЕВРО-5 – устройство и диагностика [Электронный ресурс] / АО «Автоваз». – Режим доступа: https://zinref.ru/avtomobili/VAZ/001_00_lada_vesta_rukovodstvo/138.htm. – Дата доступа: 30.05.2022.

SEREBRYAKOV Ihar A.,
Senior Lecturer¹
E-mail: serabryakovtea@bntu.by

MIRYLENKA Andrei P., Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor²
E-mail: Mirilen@bsatu.by

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 05 May 2022

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE METHOD FOR OPTIMIZING DIAGNOSING ALGORITHMS FOR DIAGNOSING INTERNAL COMBUSTION ENGINES OF CARS

In modern practice of diagnosing complex technical devices different diagnosing methods and equipment, are developing fast. Nonetheless troubleshooting based on logical patterns is still relevant. Troubleshooting of internal combustion engines of cars in car service organizations is usually performed using diagnostic maps, which use algorithms for performing diagnostic operations (diagnosing algorithms). Consideration of real practice showed that the diagnostic algorithms used do not always have an optimal structure and are not focused on obtaining the least labor costs. Previously, we developed a method for modifying diagnostic algorithms aimed at achieving maximum economic efficiency and minimum labor costs for diagnosis. This work is devoted to a comparative analysis of diagnostic algorithms modified by the developed method and existing real diagnostic maps. The analysis was carried out using a specially developed method of virtual experiment based on the Monte Carlo method and bootstrap technology. As a result of the comparison, it was shown that, using the example of typical malfunctions of Lada cars, the application of the developed method statistically significantly reduced labor costs by 27%, which should also be recognized as economically significant.

Keywords: engine diagnostics, diagnostic map, graph, logical diagnostic algorithm with a choice of subsequent action, criterion for evaluating the effectiveness of diagnostics.

References

1. *Motorization Rate 2015 – Worldwide*. Available at: <https://www.oica.net/category/vehicles-in-use/> (Accessed 17 October 2021).

2. State Standard 20911–89. *Technical Diagnostics. Terms and Definitions*. Moscow, USSR State Committee on Quality Management of Products and Standards, 1989.10 (in Russian).

3. Serebryakov I. A. (2021) *Analysis of Existing Algorithms for Diagnosing Power Plants and their Effectiveness*. Izobretatel [Inventor], (1–2), 26–31 (in Russian).

4. Serebryakov I. A. (2022) *Development of Method for Optimization of Diagnostic Algorithms for Car Engines*. *Science and Technique*. 21 (4), 331–339. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-4-331-339> (in Russian)

5. Parkhomenko P. P., Sogomonyan E. S. (1981) *Fundamentals of Technical Diagnostics. Book 2. Optimization of Diagnostic Algorithms, Hardware*. Moscow, Energiya. Publ. 320 (in Russian).

6. Dunaev A. M. (2018) *The Procedure for Constructing an Optimal Logical Algorithm for Diagnosing*. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 22 (9), 82–90 (in Russian).

7. Tankovich, V. S. (1987) *The development of an optimal algorithm for a diagnosing of a diesel engine in the conditions of automotive enterprises*. *Cand. diss. abst.* Kharkiv, Publ 18 (in Russian).

8. Sobol, I. M. (1968) *The Monte-Carlo method*. Moscow, Nauka Publ 64 (in Russian).

9. Khlebushkin I. V. (2016) *Lada Vesta. The Results of the Resource Test Autoreview*. Autoreview, (22), 47–51 (in Russian).

10. *Electronic Engine Control System for 21129 Cars of the Lada Vesta Family with the M86 EBPO [EURO]-5 – Design and Diagnostics*. Available at:

https://chiptuner.ru/wp-content/docs/m86_vesta.pdf (Accessed 30 May 2022) (in Russian).

УДК 53.097,629.1.07

ГУРСКИЙ А. С., канд. техн. наук., доцент,
зав. каф. «Техническая эксплуатация автомобилей»
E-mail: asgurski@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 05.07.2022

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОБУСОВ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ АЛГОРИТМОВ ИХ ОБЩЕГО И ПОЭЛЕМЕНТНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕЛЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Внедрение в качестве городского транспорта электробусов и троллейбусов с увеличенным запасом хода требует корректирования приемов по обслуживанию и ремонту подвижного состава, а также переоснащения предприятий, эксплуатирующих данный тип транспортных средств. Самым сложным компонентом с точки зрения технической эксплуатации является накопитель энергии. Применяемые в электробусах литий-железо-фосфатные аккумуляторы обладают рядом достоинств. Основными параметрами аккумуляторов и аккумуляторных батарей являются: напряжение аккумуляторной батареи, емкость аккумуляторов, энергозапас аккумуляторной батареи, запас хода, средний и мгновенный расход электроэнергии, сила тока разряда, уровень заряда аккумуляторных батарей, температурный режим работы аккумуляторов. После анализа перечня параметров электронный блок управления указывает степень работоспособности системы накопления энергии. Анализ параметров и сравнение характеристик подтверждает высокую стабильность работы, отличные показатели надежности аккумуляторных батарей данного типа. Однако требуется постоянный контроль за отдельными аккумуляторами, модулями и в целом за аккумуляторной батареей с целью сохранения их срока службы. Наиболее рациональным способом контроля является постоянный дистанционный мониторинг технического состояния и параметров эксплуатации. Проведенные расчеты основных энергетических показателей высоковольтной аккумуляторной батареи подтверждают возможность создания алгоритмов общего и поэлементного диагностирования.

Ключевые слова: электробус, техническое обслуживание, ремонт, накопитель, параметры, характеристики, мониторинг, диагностирование.

Введение

В Республике Беларусь активно продвигается идея использования экологичного транспорта. Одним из направлений является внедрение в качестве городского транспорта электробусов и троллейбусов с увеличенным запасом

хода. Эти нововведения требуют корректирования приемов по обслуживанию и ремонту подвижного состава, а также переоснащения предприятий, эксплуатирующих данный тип транспортных средств [1].