УДК 629.11

© И. О. Черняев, канд. техн. наук, доцент

© И. С. Граевский, ассистент

© И. И. Воронцов, д-р техн. наук, профессор

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

E-mail: chernyaev@rambler.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-194-199

© I. O. Chernyaev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© I. S. Graevskiy, assistant lecturer

© I. I. Vorontsov, Dr. Sci. Tech., Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

E-mail: chernyaev@rambler.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

USING THE MODERN METHODS OF INFORMATION ANALYSIS FOR SOLVING THE PROBLEMS OF TECHNICAL OPERATION OF VEHICLES

Приведен анализ соответствия применяемых тактик технической эксплуатации транспортных средств современному состоянию автомобильного транспорта. Обоснованы предпосылки перехода на тактику технического обслуживания по фактическому техническому состоянию, основанную на непрерывном контроле технического состояния. Представлены обзор и классификация методов анализа информации, необходимых для реализации данной тактики, указаны источники и степень разработанности методов. Обоснованы направления дальнейших исследований в данной области.

Ключевые слова: техническая эксплуатация автомобилей, обслуживание по фактическому техническому состоянию, диагностирование автомобилей, анализ информации, data mining.

The article presents an analysis of the compliance of the applied techniques of vehicles operation to the current state of the road transport. Prerequisites for transition to the vehicle maintenance in accordance with the actual technical condition based on continuous monitoring are substantiated. The authors offer a review and classification of methods of information analysis that are necessary for implementation of this new method, the sources and the degree of development of the methods being identified. The directions of further studies in this field are substantiated.

Keywords: technical operation of vehicles, maintenance in accordance with the actual technical condition, diagnostics of vehicles, information analysis, data mining.

Техническое состояние любых технических объектов, в том числе и транспортных средств (ТС), подвержено изменению. В связи с этим существование систем технической эксплуатации (ТЭ), задача которых, в общем случае, состоит в обеспечении максимальной технической готовности при минимуме затрат, — необходимое условие для нормального функционирования ТС [1].

Существует понятие стратегий и тактик построения систем ТЭ. Общепринятой стратегией является комбинация таких видов воздействия на технический объект, как техническое обслуживание и ремонт [1].

Для организации системы ТЭ на практике необходим выбор тактики, ключевой признак

которой — алгоритм принятия решения о выполнении того или иного вида воздействия. Критерии принятия решений существуют в виде нормативов ТЭ. Их перечень зависит от выбранной тактики, а конкретные значения обосновываются для каждого ТС или группы ТС.

Применение конкретной тактики позволяет определить комплекс мероприятий ТЭ для конкретного ТС или парка ТС, а также параметры инфраструктуры, необходимой для реализации данного комплекса [2].

Можно говорить о том, что современное состояние системы ТЭ автомобильного транспорта характеризуется применением в подавляющем большинстве случаев исключительно плано-предупредительной тактики, разрабо-

танной и оформленной в 1970–1980 годах [Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта (утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984); ОНТП 01-91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта)].

В то же время в силу технических, организационных и даже политических обстоятельств состояние автомобильного транспорта практически за 40 лет существенно изменилось.

Основным изменением можно назвать переход к индивидуальной эксплуатации ТС или к эксплуатации в составе малых парков, сопровождающийся ростом разномарочности подвижного состава. Так, по данным исследований, средняя численность ТС, приходящихся на одно автотранспортное предприятие в России, не превышает 30 единиц [3], в то время как применяемая для их ТЭ тактика в качестве эталонных условий эксплуатации принимает эксплуатацию ТС в парке размером 200–300 единиц, которые составляют 2–3 технологически совместимые группы¹.

Большинство исходных данных, характеризующих эксплуатацию ТС и используемых для обоснования параметров инфраструктуры, имеют случайный характер [4, 5]. В связи с этим основанная на их усреднении планово-предупредительная тактика для малых парков может давать значительные погрешности в расчетах: при уменьшении количества подвижного состава со 100 до 10 единиц; абсолютная погрешность может возрасти на 15% [6]. Это приведет к соответствующим ошибкам при определении параметров инфраструктуры, тем самым — к недоиспользованию или дефициту ресурсов.

Таким образом, существует противоречие между преимущественно используемой тактикой ТЭ и современным характером эксплуатации автомобильного транспорта. Его позволяет устранить применение иной тактики ТЭ — обслуживание по фактическому техническому состоянию. Данная тактика предполагает использование алгоритма принятия решения о выполнении того или иного вида воздействия,

основанного на индивидуальном слежении за техническим состоянием каждого ТС.

В литературе встречается описание данной тактики [7], но, как правило, с указанием на сложность ее реализации для автомобильного транспорта из-за трудоемкой диагностики и продолжающей сохраняться необходимости периодического выведения ТС из эксплуатации с соответствующими простоями.

Данные выводы сделаны для варианта тактики ТЭ по фактическому техническому состоянию на основе периодического диагностирования и без учета второго существенного изменения, произошедшего в области автомобильного транспорта в течение последнего десятилетия. Это изменение связано с переходом от механического к электронному управлению компонентами ТС, следствием чего является возможность использования для организации и управления ТЭ всех инструментов современных информационных технологии и телематики [7, 8]. Такой подход позволяет устранить ранее технически непреодолимый недостаток тактики ТЭ по фактическому техническому состоянию и перейти от периодической диагностики к непрерывному дистанционному контролю технического состояния.

Следует также обратить внимание на то, что блоки управления агрегатами и системами современных ТС генерируют информационные потоки, обладающие всеми признаками так называемых «больших данных» (volume, velocity, variety = big data)² [12]. Так, например, около двух миллионов ТС, зарегистрированных в Санкт-Петербурге (признак «variety»), с учетом только общедоступных по стандартным протоколам параметров блоков управления двигателем (около 40 параметров) с шагом изменений 1-2 секунды (скорость работы простейших OBDII-адаптеров — признак «velocity») за один рабочий день могут сгенерировать массив данных, содержащих $\approx 1,152 \cdot 10^{12}$ значений (признак «volume»). В свою очередь, использование методов анализа «больших данных» и существующие сегодня технические возможности вычислительной техники позволяют повысить эффективность обработки

¹ Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта (утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984).

² Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. Большие данные и официальная статистика. [Электронный ресурс] – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/rosstat/smi/conf16/prez_Pushkin.pdf (Дата обращения: 10.12.2018).

данных и осуществлять поиск скрытых закономерностей, описание которых классическими аналитическими зависимостями невозможно.

Таким образом, современное состояние ТЭ автомобильного транспорта можно охарактеризовать действием трех основных факторов:

- несоответствие преимущественно применяемой планово-предупредительной тактики ТЭ современному характеру эксплуатации ТС;
- существование технических возможностей для непрерывного дистанционного контроля технического состояния;
- разработкой и наличием опыта реализации в смежных областях современных методов анализа информации.

Действие данных факторов обуславливает необходимость и создает предпосылки для перехода от планово-предупредительной тактики ТЭ на тактику ТЭ по фактическому техническому состоянию. Однако если для планово-предупредительной тактики алгоритмы принятия решений о выполнении того или иного вида воздействия разработаны и применяются долгое время³, то для тактики ТЭ по фактическому тех-

ническому состоянию с его непрерывным контролем их отсутствие является сдерживающим фактором, не позволяющим применять данную тактику на практике даже при наличии соответствующих технических возможностей.

В отдельных источниках содержатся сведения о разработке указанных алгоритмов для решения частных задач⁴ [10, 11]. Однако в итоге они оказываются не связанными между собой и не могут быть объединены в общую методологию, составляющую основу тактики ТЭ по фактическому техническому состоянию.

Следовательно, задача обобщения и систематизации современных методов анализа информации для решения задач ТЭ является актуальной. Ее решение позволит сформировать базу для разработки теоретических основ тактики ТЭ по фактическому техническому состоянию, выявить уже решенные частные задачи и те, которые требуют решения.

Примерная классификация возможных методов анализа информации о техническом состоянии, составленная на основе анализа источников, ссылки на которые приведены в данной статье, приведена на рисунке.

Классификация методов анализа информации для решения задач ТЭ

³ Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта (утв. Минавтотрансом РСФСР 20.09.1984); ОНТП 01-91. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта.

⁴ OBDII: Past, Present & Future [Электронный ресурс] URL: http://www.autotap.com/techlibrary/obdii_past_present_future.asp (дата обращения 11.07.2018).

В предложенной классификации методы сгруппированы по видам технических воздействий, для принятия решений о выполнении которых они применяются. Данная группировка иллюстрирует отличие алгоритмов принятия решений, реализация которых возможна с применением указанных методов, от используемых при реализации классической планово-предупредительной тактики.

Так, в классическом варианте принятия решения о выполнении работ по техническому обслуживанию осуществляется по наработке через фиксированные интервалы. Методы из предложенной классификации позволяют принимать данное решение на основе прогнозирования технического состояния индивидуально для каждого ТС.

Принятие решения о выполнении текущего ремонта в классическом варианте обусловлено необходимостью восстановления работоспособного состояния. Современные методы позволяют контролировать также переход в менее критичное неисправное состояние, вместе с этим предоставляя информацию о конкретных причинах нарушения исправности (работоспособности) или о локализации причин по системам ТС.

Также классический вариант выполнения текущего ремонта по потребности может быть дополнен выполнением «предупредительного ремонта», принятие решения о котором возможно на основе прогнозирования технического состояния индивидуально для каждого ТС, так же как и в случае с техническим обслуживанием. При этом предупредительный ремонт отличается от технического обслуживания, как и в классическом варианте, характером выполняемых работ. Техническое обслуживание предполагает уборочно-моечные, смазочно-заправочные, регулировочные работы, выполняемые в комплексе по всему ТС. Предупредительный ремонт — сборочно-разборочные, слесарно-механические работы, выполняемые «точечно» для определенной детали, агрегата, системы, для которых прогнозируется наступление предельного состояния.

В предложенной классификации методы сгруппированы по используемым механизмам обработки информации — выделены методы,

основанные на классических аналитических зависимостях, а также современные методы data mining. Последние подразумевают поиск неявных, скрытых закономерностей и связей в больших массивах информации, позволяющих без вывода аналитических зависимостей решать различные задачи в области принятия решений (классификация, прогнозирование, формулирование ассоциативных правил и последовательных шаблонов и пр.) [13].

Пересечение вариантов принятия решений с вариантами используемых механизмов обработки информации дает четыре блока методов.

В первом блоке находятся наиболее разработанные, применяемые и стандартизованные в настоящее время методы, реализация которых представляет собой кодирование информации о неисправностях и отказах в виде стандартных кодов ошибок (DTC)⁵. Ошибка фиксируется по определенному алгоритму на основе анализа данных о работе агрегата или системы. Однако при кажущейся простоте данный метод не дает полностью однозначных решений, в некоторых случаях не позволяет точно локализовать источник ошибки.

Во втором блоке представлены методы data mining, решающие задачи классификации, т. е. распознавания причины отказа (неисправности). Их суть можно описать как фиксацию массива параметров, характеризующих объект в момент возникновения отказа (неисправности), с последующим сопоставлением ему (однозначным или с некоторой вероятностью) конкретной причины. Правила, по которым происходит данное сопоставление, и являются результатами применения методов data mining. На основе анализа источников можно говорить о том, что наибольшее применение среди данных методов нашли искусственные нейронные сети (ИНС). Как пример можно привести принятие решения о назначении с помощью ИНС маршрута капитального ремонта двигателя внутреннего сгорания на основе анализа массива параметров, характеризующих его техническое состояние [11].

Третий блок составляют методы прогнозирования, использующие классические аналитиче-

⁵ SAE J2012-2016 Diagnostic Trouble Code Definitions; ISO 15031-6:2015 Road vehicles. Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics. Part 6: Diagnostic trouble code definitions.

ские зависимости. Представление прогнозируемой величины x в формате $x = f(l)$, где l — наработка, позволяет практически всегда однозначно определить l при заданном (допустимом, предельном) значении x . В качестве примера можно привести прогнозирование срока службы моторного масла по динамике изменения концентрации продуктов износа [13]. В более сложных моделях величина x представляется как функция нескольких переменных, например $x = f(t, n, M)$, где t — время работы двигателя при оборотах n и крутящем моменте M .

Данные модели позволяют учитывать эквивалентные действия различных нагрузок, решая в итоге задачу определения момента времени (наработки), при котором значение заданного параметра приблизится к допустимому (предельному) значению. Данные методы схожи как для принятия решения о выполнении «предупредительного ремонта», так и для принятия решения в выполнении технического обслуживания. Более того, универсальность учета при принятии решения «энергетического критерия», определяющего эквивалентные действия различных нагрузок, позволяет применять их для различных агрегатов и систем ТС.

Четвертый блок представлен методами data mining, обеспечивающими прогнозирование. Данные методы также сходны для текущего ремонта и технического обслуживания. Различие состоит только в анализируемых параметрах. Применение в данном блоке также нашли ИНС [10]. По сути, данные задачи являются задачами распознавания, только решаемыми не для статических наборов параметров, а на временном ряде [14]. Описаны также варианты применения аппарата нечеткой логики [15].

По результатам представленного обзора можно сделать следующие выводы:

- современное состояние автомобильного транспорта создает предпосылки для перехода на более эффективные тактики ТЭ;
- при существовании технических возможностей такого перехода сдерживающим фактором является недостаточная разработка алгоритмов принятия решений;
- применение современных методов анализа информации позволит сформировать указанные алгоритмы и решать новые задачи ТЭ с учетом

современного технического уровня и характера эксплуатации ТС;

- все рассмотренные методы из предложенной классификации находятся в той или иной степени проработки различными авторами, однако проработка касается решения частных задач;
- систематизация и объединение методов анализа информации в общую методологию, а также их совершенствование с целью применения для решения не частных, а общих задач позволит обеспечить возможность перехода на тактику ТЭ по фактическому техническому состоянию с использованием его непрерывного дистанционного контроля.

Библиографический список

1. Техническая эксплуатация автомобилей. 4-е изд., перераб. и доп. / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов и др. М.: Наука, 2004.
2. Напольский Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
3. Verevkin N., Lavrentyev E., Chernyaev I. & Gurin D. (2017). Method of providing safe technical condition of vehicles by technological design of enterprises. Paper presented at the Transportation Research Procedia, 20 665-670. doi:10.1016/j.trpro.2017.01.108
4. Тахтамышев Х. М. Основы технологического расчета автотранспортных предприятий. М.: Академия, 2011. 352 с.
5. Лукинский В. С. Модели и методы теории логистики. 2-е изд. СПб.: Питер, 2007. 448 с.
6. Венцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Физматгиз, 1962. 564 с.
7. Мороз С. М. Сервисы ИТС для технической эксплуатации автомобилей // Автомобильная промышленность. 2015. № 9. С. 21–23.
8. Знаемский С. Автопром 2.0. Как IT-индустрия изменит автомобили в 2016 году? // Авторевю. 2016. № 1. С. 2.
9. Шаль А. В. Технологии больших данных в статистике // Учет и статистика. 2017. № 2 (46). [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-bolshih-dannyh-v-statistike> (дата обращения: 10.12.2018).
10. Katsuba Yuri, Grigorieva Liudmila. Application of Artificial Neural Networks in Vehicles' Design Self-Diagnostic Systems for Safety Reasons. Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20. P. 283–287.

11. Корчагин В. А. Организация подсистемы пред-ремонтного диагностирования агрегатов автомобилей при их централизованном ремонте по техническому состоянию: дис. ... канд. техн. наук. Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. 149 с.

12. Григорий Пятецкий-Шаниро. Data Mining и перегрузка информацией // Вступительная статья к книге: Анализ данных и процессов / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод, М. Д. Тесс, С. И. Елизаров. 3-е изд. перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. С. 13.

13. Власов Ю. А. Методология диагностики агрегатов автомобилей электрофизическими методами контроля параметров работающего масла: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. Иркутск, 2015. 368 с.

14. Таранов Р. В., Маликов А. В. Прогнозирование энергопотребления при помощи искусственных нейронных сетей с применением технологии cuda // Вестник АГТУ. Сер.: «Управление, вычислительная техника и информатика» 2016. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognostirovanie-energopotrebleniya-pri-pomoschi-iskusstvennyh-neyronnyh-setey-s-primeneniem-tehnologii-cuda> (дата обращения: 12.12.2018).

15. Воробьев С. А. Методика оценки влияния условий эксплуатации на техническую готовность автотранспортных средств: дис. ... канд. техн. наук // СПб.: СПбГАСУ. 2013. 172 с.

References

1. Kuznetsov E. S, et al. *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya avtomobiley* [Technical operation of vehicles]. 4-th. ed., revised. Moscow, Nauka Publ., 2004.

2. Napol'skiy G. M. *Tekhnologicheskoe proektirovanie avtotransportnykh predpriyatiy i stantsiy tekhnicheskogo obsluzhivaniya* [Technological design of transport enterprises and service stations]. 2-nd. ed., revised. Moscow, Transport Publ., 1993, 271 p.

3. Verevkin N., Lavrentyev E., Chernyaev I. & Gurin D. Method of providing safe technical condition of vehicles by technological design of enterprises. *Transportation Research Procedia*, 2017, 20:665-670. doi:10.1016/j.trpro.2017.01.108.

4. Takhtamyshev Kh. M. *Osnovy tekhnologicheskogo rascheta avtotransportnykh predpriyatiy* [Fundamentals of the process design of the motor transportation enterprises]. Moscow, Akademiya Publ., 2011, 352 p.

5. Lukinskiy V. S. *Modeli i metody teorii logistiki. Ucheb. posobie* [Models and methods of logistics theory. Teaching manual]. 2-nd ed. St. Petersburg, Peter Publ., 2007, 448 p.

6. Venttsel' E. S. *Teoriya veroyatnostey* [Theory of probabilities]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962, 564 p.

7. Moroz S. M. *Servisy ITS dlya tekhnicheskoy ehkspluatatsii avtomobiley* [ITS services for technical operation of cars]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automotive industry*, 2015, no. 9, pp. 21–23.

8. Znaemskiy S. *Avtoprom 2.0. Kak IT-industriya izmenit avtomobili v 2016 godu?* [How will the IT industry change vehicles in 2016?]. *Avtorevyu – Auto-review*, 2016, no. 1, p. 2.

9. Shal' A. V. *Tekhnologii bol'shikh dannykh v statistike* [Big data technologies in statistics]. *Uchet i statistika – Accounting and statistics*, 2017, no. 2 (46). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-bolshih-dannykh-v-statistike> (accessed: 10.12.2018).

10. Katsuba Yuriy, Grigorieva Liudmila. Application of artificial neural networks in vehicles' design self-diagnostic systems for safety reasons. *Transportation Research Procedia*, 2017, vol. 20, pp. 283–287.

11. Korchagin V. A. *Organizatsiya podsystemy predremontnogo diagnostirovaniya agregatov avtomobiley pri ikh tseentralizovannom remonte po tekhnicheskomu sostoyaniyu. Diss. kand. tekhn. nauk* [Organization of the subsystem of pre-repair diagnostics of vehicles according to the technical condition at the centralized repair of vehicles. PhD in Sci. Tech. diss.]. Tyumen, TyumGNGU Publ., 2014, 149 p.

12. Pyatetskiy-Shapiro G. *Data mining i peregruzka informatsiy* [Data mining and information overload]. *Vstupitel'naya stat'ya k knige: Analiz dannykh i protsessov* [Introductory article. In: Analysis and processes]. 3-rd ed., revised. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2009, p. 13.

13. Vlasov Yu. A. *Metodologiya diagnostiki agregatov avtomobiley ehlektrofizicheskimi metodami kontrolya parametrov rabotayushchego masla. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Methodology of diagnostics of the vehicle units with electrophysical methods of controlling the parameters of the working oil. Dr. Sci. Tech. diss.]. Irkutsk, 2015, 368 p.

14. Taranov R. V., Malikov A. V. *Prognostirovanie ehnergopotrebleniya pri pomoshchi iskusstvennykh neyronnykh setey s primeneniem tekhnologii cuda* [Forecasting the energy consumption by means of artificial neural networks using the CUDA technology.] *Vestnik AGTU. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Bulletin of AGTU. Management, computer engineering and Informatics*, 2016, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognostirovanie-energopotrebleniya-pri-pomoschi-iskusstvennyh-neyronnyh-setey-s-primeneniem-tehnologii-cuda> (accessed: 12.12.2018).

15. Vorobev S. A. *Metodika otsenki vliyaniya usloviy ehkspluatatsii na tekhnicheskuyu gotovnost' avtotransportnykh sredstv. Diss. kand. tekhn. nauk* [Methodology for assessing the operating conditions impact on the technical readiness of vehicles. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2013, 172 p.