

## Применение информационных и коммуникационных технологий для контроля технического состояния машин в транспортном потоке

**Н. С. Янкевич**, к. т. н., заведующий отделом

ГНУ «Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси», ул. Академическая, д. 1, 220072, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассматриваются особенности применения информационных технологий в транспортной сфере: степень применения, виды применяемых технологий, проблемы, связанные с их использованием. Обосновывается важность повышения безопасности эксплуатации транспортного средства, а также представлены возможные пути решения этого вопроса. Приводится последовательность анализа надежности двигателя внутреннего сгорания, который рассматривается как сложная многоуровневая система. Представлен алгоритм действий при разработке математического аппарата для системы диагностики, являющейся частью «интеллектуальной» транспортной системы. Разработан модельный образец диагностической системы двигателя.

**Ключевые слова:** интеллектуальная транспортная система; надежность транспортного средства; информационные и коммуникационные технологии

**Для цитирования:** Янкевич, Н. С. Применение информационных и коммуникационных технологий для контроля технического состояния машин в транспортном потоке / Н. С. Янкевич // Цифровая трансформация. – 2018. – № 1 (2). – С. 66–71.

© Цифровая трансформация, 2018

## Application of Information and Communication Technologies for the Control of the Technical State of Vehicles in a Transport Stream

**N. S. Jankevich**, Candidate of Sciences (Technology), head of department

State Scientific Institution "Center for System Analysis and Strategic Studies of the National Academy of Sciences of Belarus", 1 Akademicheskaja, 220072 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The article deals with the specifics of the application of information technologies in the transport sphere. The importance of improving the safety of the vehicle operation is substantiated, and possible ways of solving this issue are presented. The article contains a sequence of analysis of the reliability of an internal combustion engine, which is considered as a complex multi-level system. As a methodological basis for constructing computational algorithms of the system of preventive diagnostics, a systematic approach was chosen. An algorithm for the development of a mathematical apparatus for a diagnostic system that is part of an "intelligent" transport system is presented. A model of the engine diagnostic system was developed. The data obtained with its help were used as the basis for the functioning of the vehicle failure prediction system.

**Key words:** intelligent transport system; vehicle reliability; information and communication technologies

**For citation:** Jankevich N. S. Application of Information and Communication Technologies for the Control of the Technical State of Vehicles in a Transport Stream. *Cifrovaja transformacija [Digital transformation]*, 2018, 1 (2), pp. 66–71 (in Russian).

© Digital Transformation, 2018

**Введение.** Степень Применения информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в транспортной сфере сильно возросла.

По разным оценкам затраты на автоматизацию процессов вождения увеличиваются на 8–10% каждый год. Независимые оценки показывают, что

динамическая информация о движении и навигационные услуги (в процентах) для всех дорожных транспортных средств возрастут с 1,5% в 2005 году (около 9% в 2010 году) до 43% в 2020 году [1].

Основными технологическими составляющими «интеллектуальных» автомобильных транспортных систем (ИАТС) являются:

– различные формы беспроводной связи (UHF, VHF, WiMAX, GSM и т. д.);

– информационные технологии, которые развиваются с учетом нынешней тенденции к сокращению количества и стоимости микропроцессоров, что позволяет разрабатывать более сложные конкурентоспособные приложения, например, на основе искусственного интеллекта и модели управления технологическим процессом;

– сенсорные технологии, которые основаны на использовании данных, снимаемых с датчиков, в целях получения первичной информации для различных систем контроля транспортных средств (радаров, камер различного типа и т. д.) и данных инфраструктуры, полученных с аналогичных устройств (индуктивных датчиков и датчиков давления, установленных или встроенных внутри или около дороги).

Тем не менее, основная проблема заключается в том, что все эти компоненты и методологии не интегрированы и, следовательно, не могут предоставить информацию для пользователя в режиме реального времени. Централизованная база данных для «интеллектуальной» системы управления движением в больших масштабах оказывается слишком медленной, чтобы обеспечить результат в режиме реального времени. Кроме того, GPS-навигаторы (Tom-Tom, Garmin) имеют в основном однонаправленные каналы связи. Транспортные средства, которые оснащены технологиями передачи данных автомобиля в транспортном потоке встречаются редко, и они не могут обеспечить базу данных центральной коммуникационной станции в достаточных масштабах. При этом легко предсказать ситуацию, при которой интенсивность движения возрастет до такого уровня, когда любой барьер на пути (например, небольшое повреждение или отказ транспортного средства) может быть причиной больших пробок. Все это приведет к потере времени и средств, снизит эффективность грузоперевозок и ухудшит экологическую ситуацию. Последнее особенно важно для больших городов, поскольку в местах пробок концентрация выхлопных газов увеличивается в несколько раз.

Дополнительной проблемой при этом является необходимость обеспечения непрерывности транспортного потока. Это может быть

реализовано в коммуникационной системе с качественным и надежным оповещением водителя о состоянии автомобиля с целью предупреждения о возникающих потенциально опасных ситуациях на дороге. Очевидно, что решение может быть получено на основе разработки сервисной платформы, включающей систему помощи водителям (мониторинг условий вождения — внешних и технических характеристик транспортного средства) в режиме реального времени. Вместе с тем, этот вопрос, будучи актуальным, но очень сложным для анализа, до сих пор не решен.

Именно поэтому повышение безопасности эксплуатации транспортного средства является одной из задач, приоритетных не только сегодня, но и в ближайшем будущем. Несмотря на то, что уровень безопасности эксплуатации транспортных средств повышается с каждым днем, проблемы принятия во внимание внешних условий (включая человеческий фактор) и надежности систем транспортных средств (подсистем, деталей), влияющие на возникновение опасных ситуаций, не решены полностью до сих пор.

**Основная часть.** Трудно слишком высоко оценить целевое значение параметров настройки безопасности транспортного средства, которая обеспечена только применением современных электронных средств диагностики и контроля. Так, считается, что вопрос номенклатуры применяемых в автомобиле сенсоров на настоящий момент уже достаточно хорошо проработан [2]. В этом отношении значительный интерес представляют подходы, позволяющие анализировать надежность транспортного средства как характеристику объекта, отражающую способность изделия работать без внезапных изменений качества в режиме реального времени. Это нашло отражение в разработке систем превентивной диагностики (предупреждение водителя о возможном отказе систем и автомобиля в целом).

Вместе с тем, реальные проблемы, возникающие при эксплуатации любого автомобиля, очень сложны и многогранны и подчас не могут быть помещены в рамки сильно формализованных математических моделей. Обычно практикуемое экспертное задание требований по надежности деталей автомобиля, основанное только на инженерной практике и опыте эксплуатации, является не только самым простым, но и наиболее распространенным подходом [2–4].

Несмотря на то, что такой подход нашел широкое распространение при решении ряда вопросов, концептуальная и нормативные базы для его

применения при рассмотрении задач надежности (а следовательно, и применения такого анализа в системе превентивной диагностики) пока не сформулированы. Вместе с тем, наличие четких положений, определяющих правомерность тех или иных решений, позволит значительно повысить эффективность применения метода, не только концентрируя внимание на наиболее важных аспектах, но и в максимальной степени учитывая наиболее существенные ограничения.

Следует отметить, что разработанные подходы охватывают достаточно широкий спектр вопросов, регламентирующий общие технические требования по выполнению научно-исследовательских работ в области применения системного подхода для исследования надежности сложных технических систем. Естественно, что построение методологической базы должно, прежде всего, соответствовать цели исследования, будь то разработка рекомендаций по совершенствованию конструкций, построение семантико-логических алгоритмов управления транспортными средствами или другое. Спектр вопросов, решаемых на основе применения системного подхода достаточно широк. Именно формулировка цели определяет в данном случае и методологическую базу проведения работ.

Возрастающие требования к условиям эксплуатации, экологическая безопасность, да и вся идеология технического развития транспорта наряду с внедрением ИКТ приводят к тому, что современные транспортные средства и их компоненты (двигатели) превращаются в сложные комплексные системы, симбиоз точной механики, электроники и компьютерных программ.

Поэтому для поддержания эксплуатационных характеристик на современном уровне, применяется постоянно усложняющийся диагностический контроль и проведение профилактических мероприятий (регулировка систем, очистка и восстановление поверхностей пар трения и др.). Однако для осуществления этих мероприятий обычных функций самодиагностики или диагностики с помощью традиционного приборного ряда, как правило, недостаточно.

Подобные системы зачастую предусматриваются при создании концепции «интеллектуального автомобиля». Разработка систем искусственного интеллекта для транспортного средства ведется на основе создания соответствующей нейронной сети. Главная особенность таких сетей — высокая скорость обработки информации и принятия решений. Именно поэтому нейронные сети можно использовать для обработки полученных в режиме реального времени данных

встроенной диагностики автомобиля в целях прогнозирования его возможных отказов.

Представление транспортного средства как сложной системы — совокупности взаимодействующих подсистем, состоящих из деталей, которые взаимодействуют по соответствующим законам (правилам), — оправдано практикой эксплуатации. Дальнейшее углубление анализа на основе именно системного подхода неоправданно, так как может усложнить анализ по сравнению с известными методами расчета.

Важность последнего становится очевидной, если вспомнить, что объяснение механизмов поведения транспортного средства, представленного как сложная техническая система, и его состояний, прежде всего, связано с необходимостью выяснения, какими свойствами, в какой степени и при каких условиях обладает данная система. Считается, что на первом этапе уточняются строение и свойства исследуемого объекта с помощью сочетаний различных по своей организации моделей. Этот путь конкретизации абстрактной системы эффективен в случае возникновения затруднений при уточнении знаний о свойствах объекта с помощью детализации представляющих эти свойства специальных структур.

Существует и другой подход, заключающийся в разработке количественных моделей, предполагающих более точное определение среднего риска как функции от вероятностей отказов транспортного средства и тяжести их последствий. Для каждого из отказов может быть получена количественная оценка вклада (веса) отказа в формирование общего риска. Применение подобных количественных моделей ориентировано на использование понятия вероятности для описания неопределенностей различной природы, в том числе и в технике.

Для построения вероятностных моделей и выбора их параметров, как правило, используют определенную теоретическую информацию, а также результаты наблюдений, измерений над единичной ситуацией или единичным объектом. На этой основе вычисляют вероятностные оценки, которые относятся к конкретной ситуации или к конкретному объекту.

В качестве методологической основы для построения вычислительных алгоритмов системы превентивной диагностики выбран системный подход. Он был применен, в частности, к анализу надежности двигателя внутреннего сгорания, представляющего собой сложную многоуровневую систему. Представление двигателя как сложной системы позволяет учесть существующие связи между подсистемами, определяющие работоспособность двигателя. Очевидно, двигатель внутреннего сгорания

является сложной системой, построение сетевой модели которой возможен на основании всестороннего анализа причинно-следственных связей между подсистемами с учетом вероятностных оценок. Вместе с тем, излишняя детализация и конкретизация может не только значительно затруднить, но и сделать подобный анализ практически невозможным. Поэтому можно констатировать, что при моделировании такой системы нецелесообразно создавать одну универсальную модель, которая могла бы воспроизводить как действие системы в целом, так и отдельных ее подсистем. При прогнозе надежности функционирования двигателя в целом целесообразно получить комплекс вероятностных моделей, описывающих каждую из этих подсистем [5], а также модель, определяющую их взаимодействие.

Разработка модели функционирования двигателя может вестись по двум направлениям, определяемым иерархическим уровнем рассмотрения элементов системы:

- уровень систем ДВС (топливоподачи, газораспределения, пуска и т. д.) с дальнейшим анализом каждой из подсистем по аналогичной методике (при необходимости);
- уровень деталей ДВС (коленчатый вал, шатун, и т. д.).

В общем случае последовательность системного анализа и синтеза надежности двигателя

внутреннего сгорания может быть сведена к следующим шагам:

– в качестве вершин графа рассматриваются системы двигателя, в качестве связей — взаимодействие между ними, в качестве величин потока по сечениям — вероятность отказов, вызванных причинно-следственным взаимодействием между системами, аналогично графу, изображенному на рисунке 1;

– каждая из подсистем двигателя рассматривается в виде аналогичной сети, тогда как в качестве вершин графа рассматриваются детали ДВС, входящие в систему, а в качестве связей между ними — вероятность отказов, возникающих при их взаимодействии в пределах подсистемы.

На этом анализ двигателя внутреннего сгорания как сложной системы можно считать завершенным. Синтез происходит при выполнении перечисленных этапов в направлении снизу вверх.

Следует отметить, что обычно практикуемое экспертное задание требований по надежности сложной технической системы, ее подсистем и деталей, основанное только на инженерной практике и опыте эксплуатации является не только самым простым, но и наиболее распространенным подходом. Применяемое в ряде случаев задание показателей надежности сложной технической системы, основанное на анализе имеющейся статистической информации по уже существующим

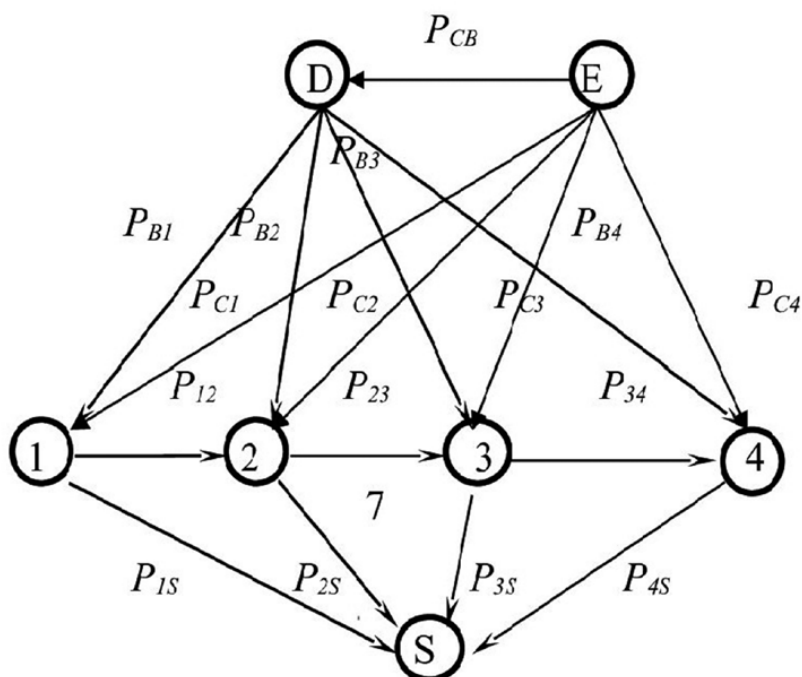


Рис. 1. Потокосная диаграмма для анализа надежности функционирования восстанавливаемого двигателя внутреннего сгорания: D — водитель; E — внешняя среда; 2 — система контроля; 3 — аппаратура топливоподачи; 4 — цилиндропоршневая группа; 5 — кривошипно-шатунный механизм; S — сток

объектам, близким по показателям к образцу, является прогнозом в направлении технического совершенствования исследуемой конструкции. Однако такой прогноз в своей основе опирается на данные, полученные при эксплуатации. Аналогичные подходы могут быть применены при анализе надежности подсистем и деталей двигателя внутреннего сгорания. При этом целесообразно проводить исследования именно на обобщенной математической модели, под которой может пониматься система «внешняя среда – человек – техническое средство».

В этом случае расчет вероятности отказа, связанного с технической системой в целом, осуществляется в соответствии с обычными правилами расчета ориентированных вероятностных графов. В качестве последовательности действий при разработке математического аппарата для системы диагностики, являющейся частью «интеллектуальной» транспортной системы, может быть принят алгоритм, схематически изображенный на рисунке 2:

- в случае, когда датчики указывают превышение контролируемых параметров, строится граф состояний, включающий все возможные причины и последствия текущей ситуации;
- в качестве вероятности отказа элемента  $i$  из-за воздействия элемента  $j$  ( $P_{ij}$ ) принимаются экспертные заключения, полученные на основе эксплуатационных данных автомобиля (прототипа);
- вычисляется максимальный и минимальный пути и соответствующие вероятности отказа системы в целом;
- если вероятность отказа системы в целом приближается (превышает) пороговое значение

(экспертное суждение), посылается автоматический сигнал в Центральный сервисный центр с указанием возможной причины сбоя, и автомобиль автоматически перемещается на крайнюю полосу или в сервисный центр (центральный сервер — в соответствии с характером предполагаемого отказа).

Разработан модельный образец диагностической системы двигателя. Данные, полученные с ее помощью, являются основой для функционирования системы прогнозирования отказа транспортного средства как части интеллектуальной транспортной системы.

Все функции по преобразованию данных от сенсоров, обеспечение взаимодействия между пользователем и системой, взаимодействие между различными модулями самой системы возложены на специально разработанные программные алгоритмы.

В процессе отладки к плате подключались все датчики, и дальнейшая наладка осуществлялась на реальных сигналах.

Ключевым требованием систем управления движением в реальном времени для генерации значимой контекстной информации, полученной из анализа поступающих данных, является их высокое качество. В этом случае «качество» определяется по трем критериям:

- точность;
- полнота;
- своевременность.

Традиционно, параметру «актуальность» не уделяют много внимания, т. к. анализ сосредоточен, прежде всего, на обработке статических данных с низкими временными девиациями. С появлением различных устройств, предоставляющих

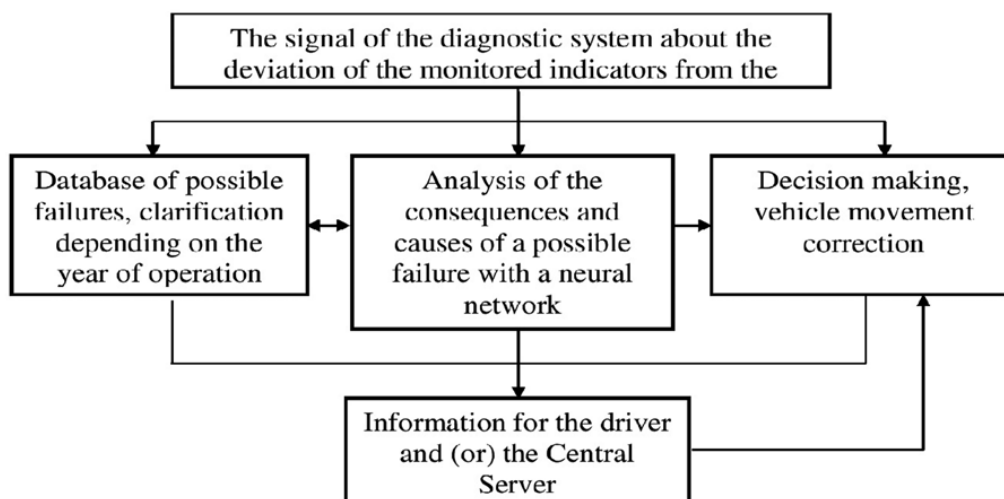


Рис. 2. Схема последовательности действий при отказе автомобиля как части «интеллектуальной» транспортной системы

данные в реальном времени (камеры, датчики GPS, мобильные телефоны, контроллеры светофоров и т. д.) и с созданием новых приложений для сенсорных датчиков в режиме реального времени (ситуационной осведомленности) актуальность базы данных стремительно набирает значимость. Таким образом, должен быть создан механизм для интеграции измерений датчиков и других данных в режиме реального времени, который сочетает в себе различные источники данных, полученных с помощью стандартных интерфейсов.

**Заключение.** Предложенный подход может быть основой для создания и реализации с использованием разработанных элементов (макетный образец диагностической системы

транспортного средства, методики исследования надежности сложных технических систем на основе системного подхода, элементов нечеткой логики и др.) принципиальной схемы превентивной диагностики транспортных средств, являющихся частью «интеллектуальной» транспортной системы. При использовании разработанных решений анализ последствий и причин возможного отказа транспортного средства как части «интеллектуальной» транспортной системы не только носит обобщенный характер, но и максимально соответствует действительности. Однако это требует дальнейшей разработки соответствующих концептуальных представлений для решения поставленных задач.

### Список литературы

1. Transport and FP7: Shifting up a Gear. – European Commission, 2009. – 34 p.
2. Lavretsky, E. Robust and Adaptive Control: with Aerospace Applications / E. Lavretsky, K. Wise. – Springer, 2013. – 454 p.
3. Болотин, В. В. Надежность в технике. Методология расчетного прогнозирования показателей надежности. Методы теории вероятностей: методическое пособие: научно-техническая публикация НТП-3-93 // В. В. Болотин [и др.]. – М.: Надежность машин, 1993. – 172 с.
4. Болотин, В. В. Надежность в технике. Методы прогнозирования показателей надежности. Системный подход: методическое пособие: научно-техническая публикация НТП-4-96 // В. В. Болотин [и др.]. – М.: Надежность машин, 1996. – 217 с.
5. Yankevich, N. Adaptation of Graph and Game Theories to Reliability Problems // Transport of Dangerous Goods: Methods and Tools for Reducing the Risks of Accidents and Terrorist Attack // Edited by E. Garbolino [etc]. – Springer, 2012. – P. 167–206. DOI 10.1007/978-94-007-2684-0\_7.

### References

1. Transport and FP7: Shifting up a Gear. European Commission, 2009. 34 p.
2. Lavretsky E., Wise K. Robust and Adaptive Control: with Aerospace Applications. Springer, 2013. 454 p.
3. Bolotin V. V., Nefedov S. V., Chirkov V. P. Nadezhnost' v tehnikе. *Metodologija raschetnogo prognozirovaniya pokazatelej nadezhnosti. Metody teorii veroyatnostej* [Reliability in technics. Methodology of computed forecasting of reliability indicators. Methods of probability theory]. Moscow, Reliability of machines, 1993. 172 p. (in Russian).
4. Bolotin V. V., Kovekh V. M., Nefedov S. P., Tananov A. I. *Nadezhnost' v tehnikе. Metody prognozirovaniya pokazatelej nadezhnosti. Sistemnyj podhod* [Reliability in technics. Methods for predicting of reliability indicators. The system approach]. Moscow, Reliability of machines, 1996. 217 p. (in Russian).
5. Yankevich, N. Adaptation of Graph and Game Theories to Reliability Problems. Transport of Dangerous Goods: Methods and Tools for Reducing the Risks of Accidents and Terrorist Attack. Springer, 2012, pp. 167–206. DOI 10.1007/978-94-007-2684-0\_7.

Received: 03.04.2018

Поступила: 03.04.2018