

DOI: 10.24412/2077-8481-2025-2-69-79

УДК 65.012.122

Н. С. ЯНКЕВИЧ¹, канд. техн. наук

А. И. АНТОНЕВИЧ², канд. техн. наук, доц.

¹ГНУ «Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси» (Минск, Беларусь)

²Белорусский национальный технический университет (Минск, Беларусь)

МЕТОДИКА ПРЕВЕНТИВНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация

Представлены исследования, целью которых является разработка методологической основы интеллектуальной транспортной системы с учетом минимизации последствий отказов автомобилей, участвующих в дорожном движении.

Ключевые слова:

интеллектуальная транспортная система, центральный сервер, коммуникационные технологии, сенсорные данные.

Для цитирования:

Янкевич, Н. С. Методика превентивной идентификации технического состояния автомобилей интеллектуальной транспортной системы / Н. С. Янкевич, А. И. Антонецвич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 2 (87). – С. 69–79.

Введение

Одной из основных задач, стоящих перед Республикой Беларусь, является организация динамично функционирующей транспортной отрасли. Существующие проекты по повышению эффективности автомобильных транспортных систем преимущественно сосредоточены на применении коммуникационных технологий. Работы в этом направлении идут, прежде всего, по пути разработки интеллектуальных автомобильных транспортных систем (ИАТС), являющихся результатом интеграции информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в транспортные инфраструктуры и транспортные средства. Эта работа носит комплексный характер и зависит от поставленных задач. Одной из наиболее значимых проблем при разработке и внедрении новых транспортных систем является поиск правильного экономического баланса между развитием суще-

ствующей инфраструктуры и внедрения новых технологических подходов, что нашло отражение в концепции так называемой кооперативной системы (ИАКТС), учитывающей взаимодействие между транспортными средствами, а также транспортными средствами и коммуникационной инфраструктурой. Этот подход в долгосрочной перспективе может значительно улучшить эффективность управления транспортным потоком, повысить безопасность движения. Так, менеджмент городского транспорта включает мониторинг существующей дорожной ситуации в режиме реального времени, а также реализацию на основе полученной информации контроля или воздействия на транспортный поток в целях уменьшения скопления машин, повышения безопасности движения, его эффективности, экологичности и т. д. Очевидно, что сложность анализа движения транспорта позволяет рассматривать разработку и внедрение ИАКТС как решение многостадийной

задачи, одним из важнейших этапов решения которой является разработка методологической модели безаварийного движения транспортных средств.

Автомобиль, как компонент ИАКТС, должен быть оснащен коммуникационными возможностями для обмена информацией с другими транспортными средствами и с дорожной инфраструктурой. Все это связано с наличием специального оборудования, подключенного к бортовой сети для локального сбора данных, которые могут быть доступны для обмена между автомобилями с помощью беспроводного интернета. Эта же информация может быть немедленно послана на центральную коммуникационную станцию (систему).

С архитектурной точки зрения, персональные встроенные устройства или подключенные, например, с помощью Bluetooth должны рассматриваться как часть оборудования транспортного средства. В этом случае устройство может предоставить дополнительную информацию, сгенерированную внутри системы (например, навигационные данные, данные о техническом состоянии автомобилей и др.), или полученную из других источников с помощью средств связи. Кроме того, автомобиль может напрямую использовать средства связи через подключенное персональное устройство, а также может использовать внутренние аппаратные возможности для представления информации пользователю (водителю).

Принципы стандартизации дорожной информации еще полностью не разработаны [1]. Наибольший объем работы был выполнен в области стандартизации связи между инфраструктурой и пользователем (т. е. от центра управления автомобилем, I2V). Важным шагом в этом направлении явилось решение, которое, основываясь на взаимосвязях «автомобиль – автомобиль» (V2V) и «автомобиль – инфраструктура» (V2I), рассматривает в качестве цели не толь-

ко повышение эффективности самой транспортной системы, но и безопасности всех участников дорожного движения (водители, пешеходы). Такой подход может быть реализован в коммуникационной системе с качественным и надежным оповещением водителя о состоянии как его собственного автомобиля, так и других автомобилей, участвующих в дорожном движении. Очевидно, что решение может быть получено на основе разработки сервисной платформы, включающей систему помощи водителям (интеллектуальный мониторинг технического состояния используемого транспортного средства) в режиме реального времени [1–3]. Этот вопрос, будучи крайне актуальным, но вместе с тем очень сложным для анализа, до сих пор не решен.

Часть исследователей, работающих в данном направлении, пошла по пути разработки и использования датчиков движения и мониторинга трафика в больших городах (включая использование смарт-подсветки для оптимизации трафика, специального канала информации о трафике, близких к реальному времени карт трафика, доступных через Google и NAVTEQ карт, и новых поколений GPS-навигаторов и т. д.).

Тем не менее основная проблема при таком подходе заключается в том, что все эти компоненты и методологии не интегрированы и, следовательно, не могут предоставить полный объем информации 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, редки и они не могут обеспечить базу данных центральной коммуникацион-

ной станции в достаточных масштабах.

Ключевым требованием систем управления движением в реальном времени для генерации значимой контекстной информации, полученной из анализа поступающих данных, является их высокое качество. При этом традиционно параметру «актуальность» не уделяют много внимания как анализ сосредоточен, прежде всего, на обработке статических данных с низкими временными девиациями. С появлением различных источников данных в реальном времени (камеры, датчики GPS, мобильные телефоны, контроллеры световых и т. д.) и с созданием новых парадигм сенсорных приложений датчиков в режиме реального времени (ситуационной осведомленности) актуальность базы данных в настоящее время 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.

Помимо стандартизированной передачи и обработки данных, особое внимание необходимо уделить вопросу функциональной обработки сложных событий (Complex Event Proceeding – CEP) пространственными компонентами. Вообще говоря, CEP – это технология, которая получает информацию о распределенных системах и преобразует ее в контекстные знания. Поскольку информационное содержание этого контекстного знания более высокого качества, чем в исходных необработанных данных, то бизнес-решения, которые вытекают из него, могут быть более точными. Вместе с тем эти подходы еще недостаточно разработаны и требуют дальнейшего развития.

Модели, разработанные на основе CEP, базируются на соотношениях между такими факторами, как время, причина (зависимость между событиями) и агрегация (значимость события по

отношению к другим событиям). Локально эти аспекты могут быть расширены на дополнительные параметры, несущие пространственную информацию о событии. Это означает, что параметры местоположения могут быть объединены в один ряд с другими показателями. Локальная поддержка технологии CEP может быть использована, чтобы гарантировать качество измерений в режиме реального времени (например, для обнаружения сбоев датчика или отклонений измерений).

Номенклатура применяемой в ИАТС аппаратной базы полностью определяется ее концепцией и основополагающими целями. В этом отношении применение семантико-логических подходов, являющихся по своей сути основой разработки систем с искусственным интеллектом, может играть роль катализатора.

Одним из способов повышения эффективности функционирования гетерогенных распределенных сетей, являющихся математической моделью ИАКТС, является реализация управления транспортными потоками в реальном масштабе времени на основе актуальных данных о техническом состоянии автомобилей с целью переконфигурации транспортной сети при угрозе аварийной ситуации (включение резерва или перемаршрутизация) [4, 5]. Так или иначе, решение данной задачи невозможно без создания системы превентивной диагностики транспортного средства.

Для прогнозирования отказа транспортного средства и расчета оптимального режима его эксплуатации первоначально применялись статистические методы, что не обеспечивало высокой точности результатов анализа [6, 7]. Во многих работах, посвященных проблемам надежности, подразумевается, что наработка является величиной, распределенной по экспоненциальному закону. В этом случае ожидаемый характер отказов изделий в будущем

никак не меняется до тех пор, пока изделие находится в эксплуатации. Это свойство инвариантности (предшествующее использованию изделия никак не влияет на его работоспособность в последующие моменты времени) полностью определяет границы применимости распределения. Поэтому для элементов, в процессе эксплуатации которых происходят необратимые физические и химические процессы старения, свойство инвариантности неприменимо. Вместе с тем сложную систему, состоящую из многих элементов, характеризующихся неэкспоненциальными распределениями времени безотказной работы, в ряде работ считают возможным представлять как систему, длительность наработки которой распределена по экспоненциальному закону [5].

Значительный прогресс был достигнут в результате применения адаптивных нейросетей к исследованиям надежности автомобиля. Как правило, функция распределения возникновения и причины отказов априори неизвестны, что снижает точность прогноза и требует обработки больших объемов статистической информации (Big Data). С этой точки зрения в интеллектуальной системе превентивной диагностики должен быть предусмотрен алгоритм машинного обучения, разрабатываемый на основе непрерывного контроля значений критических параметров, в качестве которых выбирают сигналы, поступающие с датчиков (сенсоров), размещенных в транспортном средстве в виде интеллектуальных агентов (ИА) [8].

Разработка методики превентивной идентификации технического состояния автомобилей ИАКТС, участвующих в дорожном движении

Современный автомобиль состоит из сложных составных систем, является симбиозом точной механики, электроники и компьютерных программ. Более того, для наблюдения контролируемых

параметров технического состояния ответственных деталей, как правило, используется несколько датчиков (ИА), информация от которых поступает в виде временных рядов, дополняющих друг друга.

Целью системы превентивной диагностики транспортного средства является контроль технического состояния отдельного автомобиля, а следовательно, и оптимизация функционирования транспортной системы в целом, что подразумевает:

- контроль параметров технического состояния транспортного средства;
- обнаружение отказа (неисправности) транспортного средства (детали, узла, единицы оборудования и др.) на ранних стадиях, определение причин отказа и его возможных последствий;
- разработка минимального комплекса мер в целях поддержания функционирования транспортной системы на приемлемом уровне (например, подача упреждающего сигнала водителю о необходимости перемаршрутизации или смены полосы движения).

Очевидно, что необходимо разработать методы идентификации технического состояния ответственных узлов и деталей транспортного средства по результатам анализа полученных данных и их классификацию. При этом следует отметить, что механические дефекты при эксплуатации любого автомобиля не появляются внезапно. Поэтому разрабатываемый мониторинг превентивной диагностики должен быть направлен, прежде всего, как на контроль работоспособного состояния узлов и деталей транспортного средства, так и выявление возникновения отказа на достаточно ранних стадиях. Методы разработки оценки технического состояния автомобилей по специальным алгоритмам являются комбинацией следующих базовых событий и признаков:

- выхода непосредственно измеряемого диагностического параметра за пределы установленной границы зна-

чений;

- наличия неблагоприятной тенденции непосредственно измеряемого или вычисляемого диагностического параметра;

- наличия неблагоприятной тенденции нескольких диагностических параметров в условиях, когда тенденция каждого из них находится в допустимых пределах;

- наличия факторов самопроизвольного отключения, совершенного без команды водителя (ИТС);

- информации встроенной диагностической системы;

- технические данные автомобиля, данные о проведенных процедурах проверки, освидетельствования, технического обслуживания автомобиля;

- диагностической информации, введенной вручную.

Процесс принятия решений можно свести к следующей последовательности действий [9, 10]:

- выбор решающих критериев и проверка их непротиворечивости;

- разработка структурной (или графовой) модели сложной системы (выбор элементов, назначение связей);

- выбор (или разработка) эффективных методов анализа полученной модели.

Поэтому наиболее эффективной является следующая классификация технических состояний автомобиля и его составных частей:

- хорошее (соответствующее установленным нормам функционирования автомобиля и его деталей);

- приемлемое (имеются отклонения от установленных норм функционирования автомобиля, которые находятся в допустимых пределах значений);

- опасное (подлежащее усиленному контролю и принятию превентивных мер, формируемых ЦС после анализа с помощью нейросети, причин и возможных последствий поломок; при этом получаемые данные используются нейросетью для самообучения);

- аварийное (собственно говоря, сам отказ транспортного средства).

Такая классификация позволяет учесть и критичность возникновения того или иного отказа транспортного средства путем введения корректирующих коэффициентов, которые на начальном этапе можно установить согласно экспертным оценкам. При этом корректирующие коэффициенты вводятся в соответствии с классификацией отказов следующим образом: экстремальной критичности k_1 ; высокой критичности k_2 ; умеренной критичности k_3 ; низкой критичности k_4 , причем

$$0 \leq k_l p_{ij}(t) \leq 1, \quad (1)$$

где k_l – корректирующий коэффициент; $p_{ij}(t)$ – экспертное значение вероятности отказа подсистемы i вследствие отказа подсистемы j в момент t .

В связи с тем, что выбор на начальном этапе как самих вероятностей отказов систем транспортного средства, так и корректирующих коэффициентов осуществляется на основе экспертных оценок, целесообразно определять их из условия достижения минимума функции

$$\sum_{i,j=1}^N k_{ij} \cdot p_{i,j}^{\text{эксн}}(t) - P(t) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где k_{ij} – корректирующие коэффициенты; $p_{ij}(t)$ – экспертное значение вероятности отказа подсистемы i вследствие отказа подсистемы j в момент t ; $P(t)$ – экспертное значение вероятности отказа транспортного средства в момент t .

Система ограничений для коэффициентов k_{ij} имеет вид (1).

Здесь следует также подчеркнуть важность аппаратного обеспечения (установленных сенсоров) – чем точнее будет происходить идентификация возникновения отказа, тем раньше во времени возможно определить возникновение аварии и тем самым превентивная

интеллектуальная система диагностики получит больше времени для переконфигурации сети (например, перемаршрутизация). При этом необходимо коррелировать частоту опроса зон мониторинга с динамикой развития отказа, т. е. необходимо повышать частоту опроса пропорционально скорости изменения контролируемого параметра, приближающегося к критическому значению.

Считается, что наиболее приемлемым является представление информационной модели, характеризующей возникновение отказов сложной системы, в виде нейросети (сетевого графика). При этом структура нейросети должна отражать ту особенность, что в получаемых решениях должна быть учтена связанная с вероятностью изменчивость. Таким образом, можно предложить следующую гипотезу для разработки информационных моделей, описывающих надежность транспортного средства: поведение и состояние автомобиля как сложной технической системы обусловлено структурой взаимодействия ее компонентных процессов, которые носят вероятностный или неопределенный характер.

Важность последнего становится очевидной, если вспомнить, что объяснение механизмов поведения системы и ее 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 системы с помощью ансамблей различных по своей организации моделей. Концепция для формирования методического обеспечения при проведении исследований надежности сложных систем представлена на рис. 1.

Анализ надежности элементов ИАКТС может быть выполнен на основе системного подхода. При этом необходимо отметить, что концептуальная база для его применения при рассмотрении задач надежности пока не сформулирована. Вместе с тем наличие четких положений, определяющих правомерность тех или иных решений, позволит значительно повысить эффективность применения метода.

Для решения такого типа задач на втором этапе может быть разработана нейросеть, представляющая собой иерархическую графовую модель отказов. Каждая ветвь нейросети отображает вероятности отказов отдельных элементов (систем, деталей и т. д.), которые являются причиной неработоспособного состояния системы в целом [3] (рис. 2).

При этом в предложенной сети вершина 1 представляет собой влияние на отказ транспортного средства водителя или окружающей среды, а вершины $2...N$ – подсистемы транспортного средства. Величины потоков по соответствующим путям ($p_{i,j}$) представляют вероятности отказов подсистемы i вследствие отказа подсистемы j . Вершина B представляет собой сток, причем величины потоков по путям $p_{i,B}$ представляют собой вероятности отказа внутри соответствующей подсистемы i .

Для каждого из отказов может быть получена количественная оценка вклада (веса) отказа в формирование общего риска. При этом на начальном этапе значения параметров часто задают на основе экспертных оценок, что предполагает использование в дальнейшем процедуры самообучения построенной нейросети. Некоторые связи могут отсутствовать в связи с тем, что соответствующие вероятности равны нулю.



Рис. 1. Концепция формирования нормативно-методического обеспечения научно-исследовательских изысканий в области надежности автомобилей ИАКТС

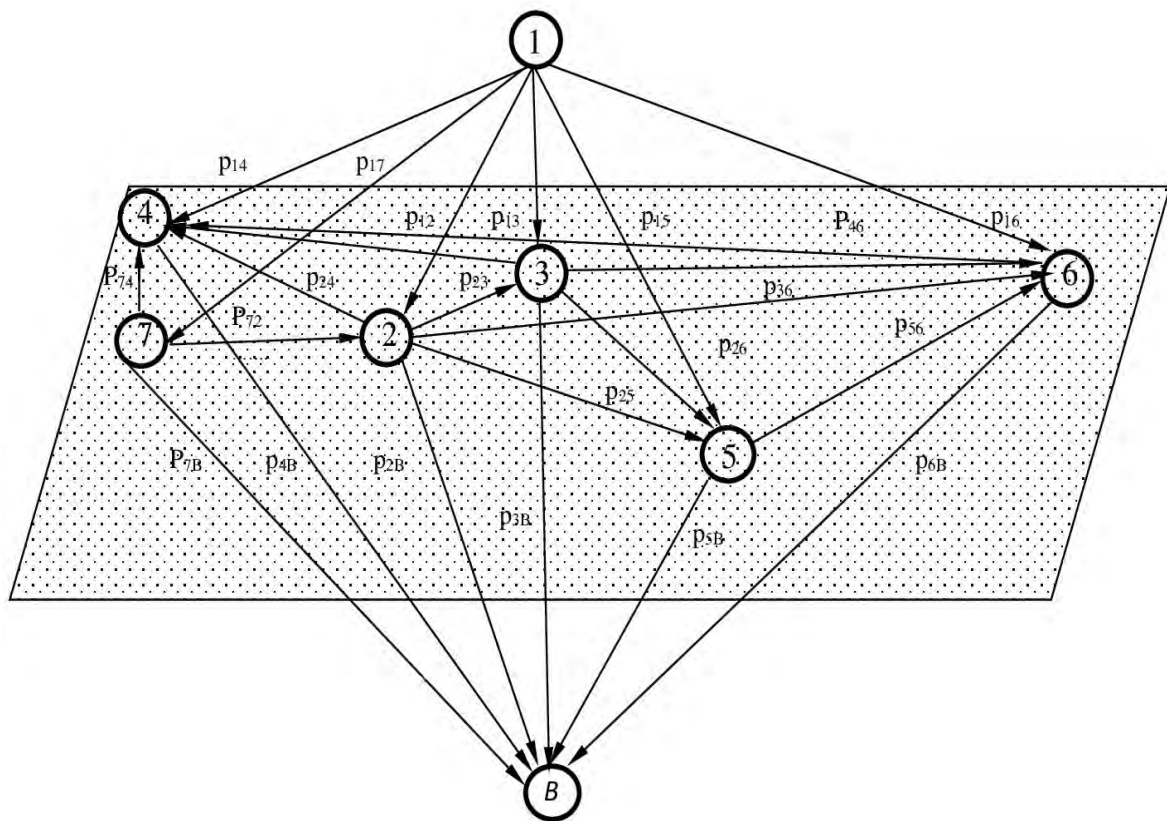


Рис. 2. Структурная модель нейросети отказов транспортного средства: 1 – вершина, учитывающая влияние внешней среды и водителя; 2 – силовая установка; 3 – трансмиссия (для электромобилей эти две системы могут быть объединены в одну); 4 – активная подвеска; 5 – тормозная система; 6 – система безопасности; 7 – блок комфорта и мультимедиа (в зависимости от конкретных задач и уровня развития техники такая классификация может быть уточнена); B – сток; p_{ij} – вероятности отказа подсистемы i по причине отказа подсистемы j

Очевидно, что $\sum_{i,j=1}^N p_{i,j}(t) = P(t) \leq 1$,

а сами вероятности $p_{ij}(t) = \sum_{k,l=1}^N k_{ij} \cdot p_{i,j}^{эксн}(t)$

являются независимыми. Каждая из вершин графа представляет собой подсистему и поэтому последующий ее анализ выполняется на основе системного подхода, полагая, что

$$\sum_{k,l=1}^M p_{i,j}^{k,l}(t) = p_{i,j}(t),$$

где $p_{i,j}^{k,l}(t)$ – вероятность отказа деталей (компонентов) соответствующей подсистемы транспортного средства.

Таким образом, предложенная нейросеть имеет иерархическую струк-

туру.

В общем случае все рассматриваемые вероятности отказов транспортного средства ($P(t)$, $p_{i,j}(t)$, $p_{i,j}^{k,l}(t)$) в предложенной нейросети являются функциями от времени. При этом во многих работах, посвященных проблемам надежности, подразумевается, что вероятность отказа сложной технической системы является величиной, распределенной по экспоненциальному закону. Рассматриваемое распределение характеризует экспоненциальную деградацию (техническая система кумулятивно накапливает повреждения). При этом считается, что ожидаемый характер отказов изделий в будущем никак не меняется до тех пор, пока изделие находится в эксплуатации. Это свойство инвариантности (предшествующее ис-

пользование изделия никак не влияет на его работоспособность в последующие моменты времени) полностью определяет границы применимости распределения.

Поэтому в качестве исходной экспертной оценки достаточно положить, что отказы транспортного средства подчинены экспоненциальному закону, параметры которого определяются методом экспертных оценок. Методом же экспертных оценок устанавливаются и потоки (вероятностные параметры нейросети) (см. рис. 2), представляющие собой исходный набор статистик для самообучения нейросети.

Идентификация технического состояния на основе временных рядов показаний, снимаемых с различных датчиков, может приводить к ряду ошибок, связанных с тем, что те или иные отклонения технического состояния могут по-разному оцениваться разными датчиками. Это требует также формирования базы данных об отказах транспортного средства в процессе самообучения системы по установлению фактических характеристик транспортного средства во всем диапазоне эксплуатационных режимов (адаптации системы к транспортному средству).

Нейросеть работает следующим образом:

- при идентификации в соответствии с показаниями датчиков технического состояния системы (деталь) как «приемлемое» возрастает частота опроса;
- при выявлении неблагоприятной тенденции показаний сенсоров или идентификации технического состояния системы (детали) как «опасное» делается запрос ЦСС на выполнение анализа возникающей поломки с помощью нейросети, при котором выявляются не только возможные причины, но и последствия данного отказа. Вычисляется остаточный ресурс проблемного узла (детали) и в случае его близости к предельному значению дается команда на перемаршрутизацию – перемещение ав-

томобиля на крайнюю полосу. Полученные данные по отказам используются для уточнения параметра λ экспоненциального распределения.

Таким образом, в целях полномасштабного внедрения в ИАКТС системы превентивной идентификации технического состояния автомобилей, участвующих в движении, очевидно, необходимо ориентироваться на применение искусственного интеллекта.

Заключение

В настоящее время интенсивность автомобильного движения устойчиво растет, что связано как с увеличением количества транспортных средств, так и с увеличением товарооборота. Поэтому легко предсказать ситуацию, когда интенсивность движения транспорта возрастет до такого уровня, что любой барьер на пути (небольшое повреждение, ремонтные работы и другие) может быть причиной больших пробок. Все это приводит к потерям времени и средств, в большой степени понижает эффективность грузоперевозок и делает хуже экологическую ситуацию. Последнее особенно важно для больших городов, поскольку в местах пробок концентрация выхлопных газов увеличивается в несколько раз. Именно поэтому введение новых технологий, позволяющих оптимизировать процесс движения путем своевременного реагирования на возникновение поломки транспортного средства, является актуальной задачей. Ожидается, что ее решение приведет к широкому применению коммуникативных и электронных технологий в транспортной сфере.

Появление автомобильных приводов, контролируемых компьютером, послужило стимулом для разработки и широкого использования сложных электронных систем, выявляющих неисправности. Следующим шагом на этом пути является внедрение ИАКТС с возможностью реализации превентивной

идентификации технического состояния транспортных средств, участвующих в дорожном движении.

Упомянутые подходы находят широкое применение, в том числе и в концепции создании Глобальной диагностической сети, которая должна объединить все многообразие диагностических решений (США) и состоящей из компьютерных программ различного уровня сложности. Эти программы объединены в систему, постоянно развивающуюся под управлением «интеллектуальной» диагностики, которая имеет возможность учиться и самообучаться. Данные, полученные системой, обрабатываются, а затем в форме текста, содержащего информацию о состоянии транспортного средства, его дефектности и индексов прогноза, передаются пользователю. Открытость Глобальной диагностической сети позволяет также, получая информацию снаружи, приспосабливаться к конкретным проблемам, появляющимся в процессе эксплуатации транспортных средств. Цель Глобальной диагностической сети не только диагностировать, но также и предупреждать. Это значит, что Глобальная диагностическая сеть в будущем может стать одним из компонентов глобальной системы среди услуг операторов сотовой сети. В промежуточной перспективе, когда станет доступна статистика результатов использования Глобальной сети диагностики, дальнейшим катализатором этого процесса может стать страховой бизнес.

Одной из современных задач является разработка методов предупреждения о стадиях развития и причинах возникновения дефектов ответственных деталей автомобилей ИАКТС, участвующих в дорожном движении. Ее решение предусматривается, в том числе при создании концепции «интеллектуального» автомобиля. Разработка искусственного интеллекта для транспортного средства ведется на основе создания соответствующей нейронной сети, представляющей собой сетевую структуру.

Главная особенность таких сетей – высокая скорость обработки информации и принятия решения. Именно поэтому нейронные сети используют, чтобы обработать данные в режиме реального времени и использовать для предсказания отказов. Главное техническое ограничение при использовании нейронных сетей – это использование статистических данных, для изучения которых нужны затраты и работа.

Увеличение безопасности эксплуатации транспортного средства – одна из задач, приоритетных не только на сегодняшний день, но и на ближайшую перспективу. Несмотря на то, что уровень безопасности эксплуатации транспортного средства повышается с каждым днем, вопросы, связанные с принятием во внимание внешних условий (включая человеческий фактор), поведения систем транспортного управления (подсистем, деталей), влияющих на возникновение опасных ситуаций, не решены полностью до сих пор.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smart City Public Transportation Route Planning Based on Multi-objective Optimization: A Review / Ming Xiao, Lihua Chen, Haoxiong Feng [et al.] // *Computational Methods in Engineering* (Springer journals). – 2024. – Vol. 31. – P. 3351–3375.
2. **Gordon, R.** Intelligent Transport Systems: Functional Design for Effective Traffic Management / R. Gordon. – Springer, 2016. – 300 p.
3. **Corben, B.** Urban Road Design and Keeping Down Speed / B. Corben // *The Vision Zero Handbook* (Open access). – 2016. – P. 1–44.
4. **Морговский, Ю. А.** Об идеологии интеллектуальных систем управления АТС / Ю. А. Морговский // *Автомобильная промышленность*. – 2007. – № 10. – P. 16–19.

5. **Янкевич, Н. С.** Применение информационных и коммуникационных технологий для контроля технического состояния машин в транспортном потоке / Н. С. Янкевич // Цифровая трансформация. – 2018. – № 1 (2). – Р. 66–71.
6. **Дуля, И. С.** Применение методов глубокого обучения к задаче кластеризации временных рядов / И. С. Дуля // Аллея Науки. – 2021. – Т. 1, № 5. – Р. 974–978.
7. **Абрамов, О. В.** Прогнозирование состояния и планирование эксплуатации систем ответственного назначения / О. В. Абрамов // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 3 (31). – Р. 5–14.
8. **Клюкин, В. Э.** Решение маршрутных задач в нестационарном пространстве дискретных состояний на основе интеллектуальных агентов / В. Э. Клюкин, В. Ю. Плотников // Современные тенденции развития науки и техники. – 2016. – № 11-3. – Р. 56–58.
9. Методы принятия управленческих решений / П. В. Иванов [и др.]. – М. : Юрайт, 2022. – 350 с.
10. **Саати, Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.

Статья сдана в редакцию 11 апреля 2025 года

Контакты:

<https://nasb.gov.by> (Янкевич Наталья Степановна);

AAntonevich@mail.ru (Антоневич Андрей Иванович).

N. S. YANKEVICH, A. I. ANTONEVICH

METHOD FOR PREVENTIVE IDENTIFICATION OF TECHNICAL CONDITION OF VEHICLES IN THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM

Abstract

The article presents the research aimed at developing a methodological basis for an intelligent transport system taking into account the minimization of consequences of failures of vehicles involved in road traffic.

Keywords:

intelligent transportation system, central server, communication technology, sensor data.

For citation:

Yankevich, N. S. Method for preventive identification of technical condition of vehicles in the intelligent transportation system / N. S. Yankevich, A. I. Antonevich // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2025. – № 2 (87). – Р. 69–79.