

**ДОРОЖНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА КАК ЛИМИТИРУЮЩИЙ ФАКТОР ВНЕДРЕНИЯ
АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ:
ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ И ПОДХОД К ЕЕ РЕШЕНИЮ**

СКИРКОВСКИЙ С. В., БОГДАНОВИЧ С. В., БУРОВА М. Г.
*(Белорусский государственный технический университет;
г. Минск, Республика Беларусь)*

Рассматривается проблема несоответствия существующей дорожной инфраструктуры требованиям автономных транспортных средств. Предлагается подход к количественной оценке готовности инфраструктуры на основе интегрального индекса IRAV, учитывающего инфраструктурную, цифровую и регуляторную зрелость.

Ключевые слова: автономные транспортные средства, дорожная инфраструктура, оценка готовности, индекс IRAV, безопасность дорожного движения.

Развитие технологий автономного вождения достигло уровня, при котором беспилотные транспортные средства (БТС) проходят испытания на дорогах общего пользования в ряде стран. Вместе с тем практика показывает, что технологическое совершенство самого транспортного средства является необходимым, но недостаточным условием безопасной эксплуатации. Существенным ограничением остается состояние дорожной инфраструктуры, которая проектировалась и строилась исходя из предположения о наличии водителя-человека в контуре управления.

Автономное транспортное средство воспринимает дорожную обстановку посредством бортовых сенсоров – камер, лидаров, радаров. Эффективность их работы напрямую зависит от качества инфраструктурных элементов: читаемости горизонтальной разметки, состояния и стандартизации дорожных знаков, геометрических параметров проезжей части. Стертая разметка, нестандартные или поврежденные знаки, отсутствие структурированных данных о конфигурации дороги – все это порождает неопределенность, которую бортовые системы не всегда способны разрешить самостоятельно [1].

Помимо физического состояния дороги, принципиальное значение приобретает цифровая составляющая инфраструктуры. Концепция взаимодействия «транспортное средство – инфраструктура» (V2I) предполагает наличие коммуникационных модулей, обеспечивающих передачу данных между дорожными объектами и БТС в реальном времени. Сюда относятся покрытие сетями связи достаточной пропускной способности, доступность цифровых карт высокого разрешения, наличие

придорожных вычислительных узлов. На сегодняшний день подобная оснащенность характерна лишь для отдельных тестовых полигонов и экспериментальных участков, тогда как основная часть дорожной сети остается вне цифрового контура [2].

Третье измерение проблемы – нормативно-правовое. Действующие технические нормативные правовые акты в области проектирования, строительства и содержания дорог не учитывают специфику автономного движения. Отсутствуют стандарты на элементы цифровой дорожной инфраструктуры, не определены требования к качеству разметки с позиции машинного зрения, не регламентированы процедуры допуска БТС к движению по конкретным участкам сети. Без формирования соответствующей нормативной базы масштабное внедрение автономного транспорта представляется затруднительным.

Таким образом, дорожная инфраструктура выступает лимитирующим фактором, сдерживающим переход от экспериментальной эксплуатации БТС к их системному использованию. Проблема носит комплексный характер и затрагивает одновременно физическое состояние дорожных объектов, уровень их цифровой оснащенности и степень нормативной проработки.

На международном уровне предпринимаются попытки оценить готовность стран и территорий к автономному транспорту. Наиболее известен индекс AVRI, публикуемый компанией KPMG, который ранжирует государства по совокупности показателей политики, технологий, инфраструктуры и общественного принятия [3]. Однако подобные рейтинги носят макроуровневый характер и оперируют агрегированными страновыми данными, что не позволяет использовать их для оценки конкретных участков дорог или дорожной сети и принятия инженерных решений об адаптации инфраструктуры.

Для решения обозначенной проблемы авторами предлагается подход, основанный на формировании интегрального индекса готовности инфраструктуры к автономному движению – IRAV (Infrastructure Readiness for Autonomous Vehicles). Данный индекс развивает ранее разработанную методологию Агрегированного индекса безопасности дорожного движения (ARSI) [4], адаптируя ее к специфическим требованиям беспилотных транспортных средств.

Индекс IRAV строится на трехкомпонентной модели зрелости. Первый компонент – инфраструктурная зрелость (I) – характеризует физическое соответствие дорожных элементов требованиям сенсорных систем БТС: качество разметки и знаков с позиции машинного распознавания, геометрические параметры, состояние покрытия. Методологической основой этого компонента служит статическое измерение ARSI, дополненное параметрами, специфичными для автономного вождения.

Второй компонент – цифровая зрелость (C) – отражает уровень технологической оснащенности участка: плотность покрытия V2I-коммуникациями, доступность HD-карт, качество связи, наличие edge-computing инфраструктуры. Этот компонент концептуально связан с динамическим измерением ARSI, однако переведен в плоскость оценки цифровой готовности.

Третий компонент – регуляторная зрелость (R) – оценивает наличие и полноту нормативно-правовой базы, регламентирующей тестирование и эксплуатацию БТС на данном участке или территории. Это принципиально новый элемент, не имевший аналога в исходной методологии ARSI.

Итоговое значение IRAV формируется как взвешенная сумма нормализованных значений трех компонентов, что обеспечивает возможность количественного сравнения различных участков дорожной сети по степени их готовности к автономному движению. Весовые коэффициенты определяются экспертным путем с последующей калибровкой на основе эмпирических данных.

Предлагаемый подход позволяет перейти от качественных суждений о готовности инфраструктуры к измеримым оценкам, пригодным для принятия управленческих решений: определения приоритетных маршрутов для пилотного внедрения БТС, планирования модернизации дорожной сети, формирования требований к новому строительству. Апробация методики планируется на дорожной сети Республики Беларусь с учетом ее специфики – значительной дифференциации условий между республиканскими магистралями и местными дорогами [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. SAE International. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (J3016). – 2021.
2. van Geelen, H., Redant, K. (2026). Connected and Autonomous Vehicles and Road Safety: The Role of Infrastructure. In: McNally, C., Carroll, P., Martinez-Pastor, B., Ghosh, B., Efthymiou, M., Valantasis-Kanellos, N. (eds) Transport Transitions: Advancing Sustainable and Inclusive Mobility. TRAconference 2024. Lecture Notes in Mobility. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06763-0_98.
3. KPMG International. Autonomous Vehicles Readiness Index 2020. – KPMG, 2020. – 68 p.
4. Капский, Д. В. Интегральный подход к оценке безопасности дорожной инфраструктуры на основе интеллектуальных технологий / Д. В. Капский, С. В. Богданович // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2024. – № 4(79). – С. 74–81. – EDN GDEWJA.
5. Врубель, Ю.А. Определение потерь в дорожном движении / Ю.А. Врубель. – Минск : БНТУ, 2003. – 240 с.