

УДК 681.5:629.331

В.С. Дышенко¹, А.Е. Раскутин¹, М.А. Зуев¹**ДОРОЖНЫЙ ДЕТЕКТОР В СИСТЕМАХ БЕЗОСТАНОВОЧНОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-5-12-12

Представлено обоснование использования систем мониторинга дорожного движения, показаны преимущества систем непрерывного взвешивания, рассмотрены факторы, уменьшающие точность измерений и пути их устранения. Сформулированы функциональные требования к дорожным детекторам и рассмотрены физические аспекты использования в качестве сенсорных элементов оптического волокна с брэгговскими решетками. Описан вариант решения задачи определения скорости транспортных средств с помощью пары параллельных оптических волокон. Сформулированы требования к корпусному исполнению дорожных детекторов с позиции прочностных характеристик и особенностей эксплуатации на автомобильных дорогах.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 4.1. «Интеллектуальные ПКМ II и III поколений» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»)[1].

Ключевые слова: дорожный детектор, безостановочное взвешивание, брэгговские решетки, оптическое волокно.

In article the substantiation of the use of monitoring systems of traffic and advantages of systems of weigh-in-motion are presented, factors reducing accuracy of measurements and ways of their elimination are considered. Physical aspects of the use of optical fiber Bragg lattice in road detectors are considered and functional requirements to road detectors are defined. One possible solution of the problem of determining the speed of vehicles using a pair of parallel optical fibers is described. Requirements for road detectors case taking into account strength characteristics and operating conditions on highways have been defined.

The research are executed within realization of the complex scientific problem 4.1. «Smart PCM of the 2-nd and 3-rd generation» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»)[1].

Keywords: road detector, weigh-in-motion, Bragg lattice, optical fiber.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation] E-mail: admin@viam.ru

Введение

В последние несколько десятков лет происходит мощное проникновение методов физики в различные области исследования и анализа в русле нового научно-технического уклада, базирующегося на объединении и взаимопроникновении различных научных дисциплин и высоких технологий, поэтому такая важная составляющая часть повседневной жизни, как автомобильные дороги не могла остаться незамеченной [1–3].

Дорожная сеть любой страны – это национальное достояние, которое необходимо поддерживать и развивать на достойном уровне, внедряя последние научные разработки в данной области как в само дорожное полотно, так и в придорожную инфраструктуру.

Проблема перегруженности дорог, приводящая к быстрому износу дорожного полотна, на данный момент очевидна. Эффективная и безопасная дорожная сеть позволяет товарам достигать рынков сбыта достаточно быстро, таким образом стимулирует-

ся деловая активность и гарантируется конкурентоспособность товаров. Поэтому необходимо выработать оптимальное динамическое и стратегическое управление движением, а также оперативно получать информацию о движении транспорта.

Для этих целей разработана система безостановочного автоматического взвешивания WIM (Weigh-In-Motion). Имея ряд положительных характеристик, система очень требовательна к составляющим ее компонентам, в том числе к датчикам дорожного движения, которых разработано множество типов, обладающих различными характеристиками [4–7].

Материалы и методы

Обоснование использования систем мониторинга дорожного движения

Количество автотранспортных средств возросло, что привело к увеличению плотности транспортного потока. Однако пропускная способность дорог остается практически прежней, что приводит к образованию заторов, пробок, а также к стремительному износу дорожного полотна. Улучшить ситуацию может автоматизированное регулирование дорожного движения.

Для этих целей во многих странах разработаны автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД). Все эти системы нуждаются в сборе и оперативной обработке исходных данных, в частности данных о плотности транспортного потока, его скорости, массе транспортных средств.

Сбор информации, как правило, осуществляется посредством датчиков различного типа: контактные, фото-, пьезоэлектрические, ультразвуковые, магнитные, гидравлические, оптоволоконные. Они относительно дешевы, просты в установке и эксплуатации, но имеют ряд ограничений и недостатков – низкая износостойкость, большое влияние атмосферных явлений, акустические помехи и др.

Датчики служат для обнаружения движущегося объекта и оценки нагрузки (воздействия) на дорожное полотно, оказываемой его колесами. Данные с них поступают в систему сбора и обработки информации, которая позволяет оценить массу, скорость, расстояние между осями и число осей автомобиля.

Взвешивание в движении (WIM) – процесс оценки массы движущегося транспортного средства, а также частей массы, приходящихся на каждое из колес или осей автомобиля, при помощи измерения и анализа динамических нагрузок от колес на дорожное полотно.

Принципиальным преимуществом систем WIM в сравнении со стационарными постами как раз и является возможность производить измерения массы грузовиков, движущихся по шоссе с различными скоростями, без их остановки или существенного снижения скорости, что уменьшает вероятность образования заторов. Системы WIM в комплексе с традиционными системами контроля транспорта, такими как видеокамеры и индукционные системы определения габаритов, позволяют оперативно выявлять транспортные средства, нарушающие установленные нормы по массе или габариту груза.

Различают статическую и динамическую массу транспортного средства и, как полагают, такая разница является ошибкой измерения WIM систем. Фактическая масса, передаваемая транспортным средством во время движения на дорожное покрытие, является большей, чем масса неподвижного транспортного средства. Это объясняется воздействием следующих внешних факторов:

- структурой и состоянием дорожного покрытия;
- внешними условиями (температура окружающей среды, снег, лед, ветер);

- характером движения автотранспорта (аэродинамическая прижимающая сила, ускорение или торможение);
- количеством осей и нагрузкой на них;
- давлением в шинах и балансировкой колес;
- типом амортизаторов и т. д.

Среди факторов, уменьшающих погрешности измерений WIM систем, можно выделить следующие: усовершенствование подвески транспортного средства, уменьшение вибрации, регулировка давления в шинах в зависимости от нагрузки, улучшение качества дорожного полотна и т. д. Но более предпочтительным вариантом можно считать выбор рационального места установки WIM системы на дорожном полотне учитывающий повороты, углы спуска и подъема дороги, качество дорожного покрытия, розу ветров, качество дренажной системы, а также доступность электропитания, сетевую инфраструктуру и т. д.

Физические аспекты использования волоконно-оптических датчиков

Из всего многообразия чувствительных элементов датчиков в разрабатываемой WIM системе выбраны датчики, в основу измерений которых положены волоконные брэгговские решетки (ВБР), представляющие собой периодические структуры, сформированные в стандартном оптоволокне. Принцип их действия заключается в том, что периодическая оптическая структура в волокне ведет себя как селективный отражательный элемент, отражающий световое излучение в узком диапазоне. Длина волны пика спектра отражения ВБР зависит от механического или термического воздействия на брэгговскую решетку. Таким образом, при наезде колеса на область, под которой расположен волоконно-оптический датчик (ВОД), происходит изменение длины волны пика спектра отражения ВБР, которое регистрируется специальным оптическим устройством (рис. 1) [8, 9].

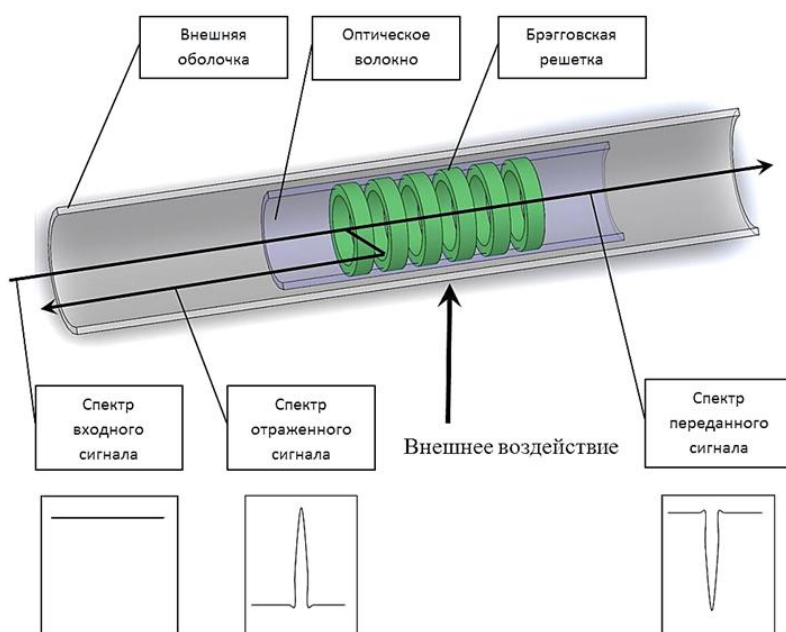


Рис. 1. Принципиальная схема работы оптоволоконного датчика с брэгговской решеткой

К преимуществам применения ВБР в качестве сенсорных элементов в системе WIM следует отнести их нечувствительность к электромагнитным воздействиям и кор-

розии, а также возможность объединения датчиков в единую сеть и расположения опросного устройства на значительном расстоянии от объекта [10].

Оптическое волокно с несколькими последовательно расположенными ВБР, т. е. с линейкой ВБР, интегрируют в панель из углепластика и помещают в защитный корпус, непосредственно крепящийся на дорожное полотно и обеспечивающий равномерное распределение нагрузки на сенсорные элементы [11–13]. При достаточно плотном шаге расположения ВБР в оптическом волокне, сравнимым с пятном контакта колеса транспортного средства с дорогой, становится возможным определение количества и типа колес на каждой оси транспортного средства. Характер отклика детектора от колес, принадлежащих разным транспортным средствам, будет отличаться, что позволит надежно разрешать коллизии даже в плотном потоке.

Для определения скорости транспортного средства применяется пара параллельных оптических волокон, располагающихся поперек дорожного полотна, на некотором расстоянии относительно друг друга (рис. 2 и 3) [14].

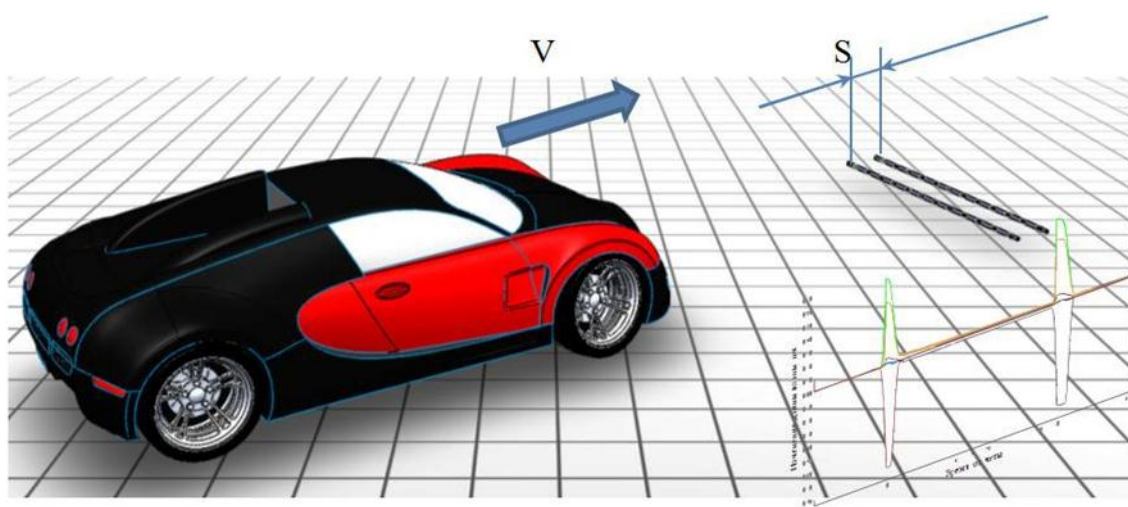


Рис. 2. Схема определения скорости транспортного средства

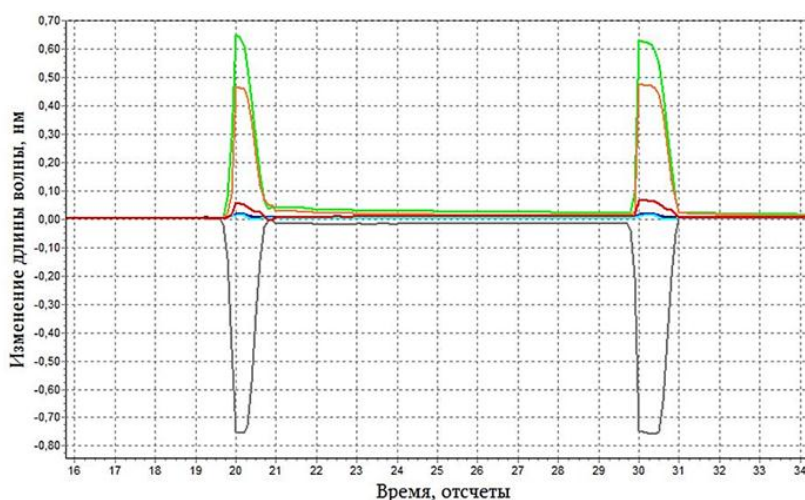


Рис. 3. Изменение длины волны пика спектра отражения при проезде транспортного средства

При условии, что применяются коммерчески доступные опросные устройства с частотой снятия данных от сенсорных элементов в 100 Гц, максимальная определяемая скорость транспортного средства составляет 120 км/ч, то в соответствии с формулой

$$S = \frac{V}{2 \cdot F} = \frac{33 \text{ м/с}}{2 \cdot 100 \text{ с}^{-1}} = 0,165 \text{ м}$$

получается минимальное расстояние между парой оптических волокон 16,5 см, что позволяет конструктивно объединить оба оптических волокна в едином корпусе.

Поскольку ВБР реагирует также на изменение температуры окружающей среды, следует предусмотреть использование дополнительного термокомпенсирующего датчика температуры. Датчик температуры выполняется в виде фрагмента используемого в детекторе оптического волокна с ВБР, защищенного от механических воздействий и расположенного в том же корпусе дорожного детектора [15].

Требования к дорожному детектору

Исходя из того, что дорожный детектор подвержен большому количеству различных нагрузок и воздействий в процессе эксплуатации, логичным становится решение разместить панель из углепластика в герметичном прочном корпусе. Кроме того, изготовлению панели из углепластика с интегрированными оптоволоконными сенсорными элементами на основе углеродного наполнителя следует уделять особое внимание с позиции прочностных характеристик [16]. Эксплуатация автомобильных дорог накладывает определенные требования к габариту дорожного детектора: высота – не более 15 мм, ширина (в направлении движения транспортных средств) – не более 600 мм, длина (в направлении, перпендикулярном движению транспортных средств) – зависит от количества полос движения.

Корпус детектора должен быть секционным, что уменьшит трудоемкость изготовления, транспортировки и монтажа детектора, а кроме того, позволит монтировать универсальные части на дорожное полотно, имеющее различное количество полос движения. Корпус должен быть выполнен из прочного коррозионностойкого материала, внутреннее пространство с панелью из углепластика должно быть герметичным. Поскольку оптические разъемы при массовом производстве не являются стойкими во всеклиматических условиях и не могут быть использованы для эксплуатации в условиях окружающей среды, целесообразно использовать соединение оптических линий каждой секции с помощью сварки либо необходимо разрабатывать узел герметизации.

При наличии бордюрных камней необходимо предусмотреть в конструкции специальные торцевые заглушки и соединительные элементы, которые позволяют беспрепятственно функционировать дренажной системе.

Для разрабатываемой конструкции дорожного детектора предусматриваются различные варианты исполнения корпусов:

- для поверхностного монтажа (устанавливается на дорожное полотно, находящееся в эксплуатации);
- для внутреннего монтажа (размещается внутри дорожного полотна, которое проходит капитальный ремонт или вновь создается).

Обсуждение результатов и вывод

Таким образом, разрабатываемая конструкция дорожного детектора транспортного потока способна стать универсальным средством отечественных систем безостановочного автоматического взвешивания, эксплуатация которых предусматривается на различных дорогах в разных климатических зонах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33.

2. Каблов Е.Н., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н., Сорокин К.В., Федотов М.Ю., Гончаров В.А. Методы исследования конструкционных композиционных материалов с интегрированной электромеханической системой // *Авиационные материалы и технологии*. 2010. №4. С. 17–20.
3. Каблов Е.Н. Контроль качества материалов – гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2001. №1. С. 3–8.
4. Бродниковский А.М., Исаев В.А. Что WIM грядущий нам готовит? // *Автомобильные дороги*. 2014. №5 (990). С. 11–14.
5. Ying Huang, Leonard Palek, Robert Strommen, Ben Worel, Genda Chen. Real-Time Weigh-In-Motion Measurement Using Fiber Bragg Grating Sensors / *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical and Aerospace Systems*. 2014. V. 9061. P. 96–102.
6. Сорокин К.В., Мурашов В.В. Мировые тенденции развития распределительных волоконно-оптических сенсорных систем (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №3 (36). С. 90–94. DOI: 10.18577/2071-9170-2015-0-3-90-94.
7. Федотов М.Ю. Концепции создания и тенденции развития интеллектуальных материалов (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 71–80.
8. Каблов Е.Н., Сиваков Д.В., Гуляев И.Н., Сорокин К.В., Федотов М.Ю., Дианов Е.М., Васильев С.А., Медведков О.И. Применение оптического волокна в качестве датчиков деформации в полимерных композиционных материалах // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2010. №3. С. 10–15.
9. Tosi D., Olivero M., Vallan A., Perrone G. Weigh-in-motion through fibre Bragg grating optical sensors // *Electronics letters*. 2010. V. 46. №17. P. 73–78.
10. Махсидов В.В., Федотов М.Ю., Шиенок А.М., Зуев М.А. К вопросу об интеграции оптоволокна в ПКМ и измерении деформации материала с помощью волоконных брэгговских решеток // *Механика композиционных материалов и конструкций*. 2014. Т. 20. №4. С. 568–574.
11. Федотов М.Ю., Гончаров В.А., Шиенок А.М., Сорокин К.В. Исследование изгибных деформаций углепластика оптоволоконными сенсорами на брэгговских решетках // *Вопросы материаловедения*. 2013. №2 (74). С. 139–147.
12. Zhi Zhou, Wanqiu Liua, Ying Huang, Huaping Wang, Jianping Hea, Minghua Huang, Jinping Ou. Optical Fiber Bragg Grating Sensor Assembly for 3D Strain Monitoring and Its Case Study in Highway Pavement // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2012. V. 28 P. 36–49.
13. Ke Wang, Zhanxiong Wei, Hongtao Zhang, Xiaoyang Huang, Bingquan Chen, Hong-Liang Cui. Fiber-Bragg-grating-based weigh-in-motion system using fiber-reinforced composites as the load-supporting material // *Optical Engineering*. 2006. V. 45. №6. P. 33–39.
14. Hongtao Zhang, Zhanxiong Wei, Lingling Fan, Shangming Yang, Pengfei Wang, Hong-Liang. Sensing System and a High Performance Optical Fiber Bragg Grating (FBG) Demodulator // *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical and Aerospace Systems*. 2010. V. 7647. P. 102–109.
15. Резников В.А., Махсидов В.В., Гуляев И.Н. Современное состояние методов определения деформации материала с помощью интегрированных в его структуру волоконных брэгговских решеток // *Контроль и диагностика*. 2015. №11. С. 49–56.
16. Махсидов В.В., Федотов М.Ю., Гончаров В.А., Сорокин К.В. Механические свойства полимерных композиционных материалов с интегрированным оптическим волокном (обзор) // *Деформация и разрушение материалов*. 2014. № 9. С. 2–7.