

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ  
AUTOMATION AND CONTROL**

УДК 629.113

DOI: 10.18413/2518-1092-2020-5-1-0-7

Бражников А.М.  
Бражникова А.М.  
Забержинский Б.Э.**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ИЗМЕРЕНИЯ  
ИЗНОШЕННОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ**

Самарский государственный технический университет, ул. Молодогвардейская, д. 244, г. Самара, 443100, Россия

*e-mail: brazhnikova\_98@mail.ru, zab.borislav@gmail.com***Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы мониторинга степени износа дорожного покрытия. Приводится краткое описание существующих методов контроля состояния дорог, анализируются их преимущества и недостатки. Особое внимание уделяется способу мониторинга износа дороги при помощи программно-аппаратных комплексов, размещаемых непосредственно на участке трассы, особенностям их применения и обработки результатов измерений. Статья содержит описание разработанного авторами миниатюрного стенда для изучения методов контроля степени износа дорожного покрытия с применением стационарных комплексов датчиков. Показано, каким образом можно осуществлять измерение транспортного потока на участке дороги, а также массу автомобилей.

**Ключевые слова:** износ дорог; дорожное покрытие; динамическое взвешивание транспортных средств; автомобильный поток; поосное взвешивание автомобилей.

UDC 629.113

Brazhnikov A.M.  
Brazhnikova A.M.  
Zaberzhinsky B.E.**DEVELOPMENT OF A STAND TO STUDY THE PRINCIPLES  
OF MEASURING ROAD SURFACE WEAR**

Samara State Technical University, 244 Molodogvardeyskaya St., 443100, Samara, Russia

*e-mail: brazhnikova\_98@mail.ru, zab.borislav@gmail.com***Abstract**

The article deals with the issues of monitoring the wear and tear of road surface. A brief description of the existing methods of monitoring the condition of roads is given, their advantages and disadvantages are analyzed. Special attention is paid to the method of monitoring the wear of the road by means of software-hardware complexes placed directly on the section of the route, peculiarities of their application and processing of the results of measurements. The article contains a description of a miniature stand developed by the authors to study methods of controlling the wear of road surface using stationary sensor complexes. It is shown how it is possible to measure the traffic flow on the road section as well as the mass of cars.

**Keywords:** road wear; road surface; dynamic weighing of vehicles; road flow; car axial weighing.

Автомобильные дороги играют важную роль в развитии экономики, социальной сферы государства, обеспечении его обороноспособности. В России протяжённость дорог с твёрдым (асфальтированным) покрытием составляет более 980 тыс. километров (по данным Росстата на 2013 год). С развитием промышленности, с увеличением численности населения возрастает

интенсивность движения по дорогам, это означает, что за единицу времени (например, за сутки) через поперечное сечение участка дороги проезжает всё больше и больше автомобилей. Непрерывный транспортный поток неизбежно оказывает нагрузку на дорожное покрытие, что приводит к его износу, истиранию, образованию различных механических повреждений. Разрушение верхнего слоя дорог ведёт к снижению среднесуточной скорости движения автомобилей, образованию заторов, кроме того, существенные дефекты полотна создают опасность для участников движения, повышается количество дорожно-транспортных происшествий. Вот почему очень важно следить за состоянием дорожного покрытия и своевременно производить его ремонт.

Дорога, как инженерное сооружение имеет довольно сложную структуру, состоит из нескольких слоёв (количество которых может варьироваться). Задача дороги – воспринимать нагрузку от проезжающих автомобилей и передавать её на грунт. Эту нагрузку, в первую очередь, принимает на себя именно верхний слой – так называемое дорожное покрытие (дорожная одежда). Наиболее распространённые сегодня виды дорожного покрытия – асфальтобетонное и цементобетонные. В первом случае связующим веществом служит битум, во втором – цемент [1]. В России подавляющее большинство дорог (более 97%) выполнено с асфальтобетонным покрытием.

В настоящее время степень изношенности дорожного покрытия измеряют несколькими способами:

- перед строительством дороги происходит расчет её ресурса, в зависимости от предполагаемого трафика, климатических условий, на основании этих данных можно предположить в какое время потребуется капитальный ремонт. Такой способ не является точным, кроме того, не позволяет выявить участки, где необходимо устранить незначительные дефекты.

- Закладывания реперов в толщу асфальта или бетона, такие метки (флажки) изготавливаются из мягкого материала (известняка). Этот метод является более точным, однако требует установки множества меток, и последующее периодическое их измерение. К достоинствам такого способа следует отнести возможность выявлять участки, где требуется местный ремонт или восстановление покрытия [2].

- Контроль потока автомобилей на основе данных систем глобального позиционирования. Такой способ позволяет учитывать количество автомобилей, проезжающих по определённому участку дороги, определять их скорость и на основе этих данных вычислять нагрузку на дорожное полотно. Данные о скорости движения автомобилей позволяют локализовать различные дефекты асфальта (например, водителям приходится объезжать выбоины, вследствие чего средняя скорость автомобилей уменьшается). Единственный недостаток данного метода – требуется собирать и обрабатывать большие объёмы данных с использованием специальных алгоритмов [3].

- Использование комплексов приборов, устанавливаемых на участках дорог. Такой метод позволяет получать данные о скорости автомобилей, их массе, количестве транспортных средств и быстро вносить коррективы в модель износа дорожного полотна на конкретном участке [4].

Подробнее следует рассмотреть последний способ мониторинга, проанализировать проблемы, которые возникают при применении такого подхода. Необходимо отметить, что данный метод является наиболее затратным с точки зрения подготовки и обслуживания. Требуется установка аппаратных комплексов на участках дорог, обеспечивать их электроэнергией и с определённой периодичностью производить их обслуживание и ремонт. Однако, такая система позволяет получать наиболее объективную и точную информацию о транспортном потоке и о нагрузке, которую оказывают автомобили на дорожное покрытие.

Для решения задач определения трафика отлично справляются камеры и различные бесконтактные датчики, для определения веса автомобилей применяются специализированные автомобильные весы, которые существуют двух видов: одновременного и последовательного поосного взвешивания. В первом случае автомобиль заезжает всеми колёсами на специальную платформу (или ряд платформ), в этот момент происходит фиксирование его массы. Итоговое значение будет определяться суммой показаний, полученных каждой платформы. В случае

последовательного взвешивания используется всего одна платформа с весами, которая одновременно может измерять показатели только для одной оси автомобиля. В процессе его движения колёса на каждой из осей по очереди наезжают на платформу и происходит фиксация результата. Однако, итоговая масса автомобиля не может определяться суммированием показаний каждой оси. Это связано с конструкцией подвески транспортного средства: в процессе разгона, торможения, поворотов, наезда на препятствия, специальные элементы подвески (реактивные тяги) перераспределяют нагрузку на колёса [5]. Особенно сильно это заметно при определении массы автомобилей с тремя (и более) осями. В результате, после взвешивания передней оси, нагрузка может перераспределиться и исказить результаты взвешивания задних осей.

Необходимо отметить, что оборудование для последовательного взвешивания имеет гораздо меньшую стоимость, чем для одновременного, обладает большими габаритами.

С помощью таких весов имеется возможность определять количество автомобилей, проезжающих по участку дороги, что позволяет отказаться от камер видеонаблюдения и прочих датчиков, значительно упростить инфраструктуру объекта.

Для изучения методов измерения скорости и массы автомобилей с применением встроенных в дорожное покрытие тензодатчиков, был разработан и сконструирован миниатюрный стенд (рис. 1).



Рис. 1. Стенд для изучения методов измерения скорости и массы автомобилей на дорогах  
Fig. 1. Stand for learning how to measure the speed and mass of cars on roads

Основным элементом стенда является модель дорожного полотна (выполненная из органического стекла), которая состоит из трёх секций (рис. 2).

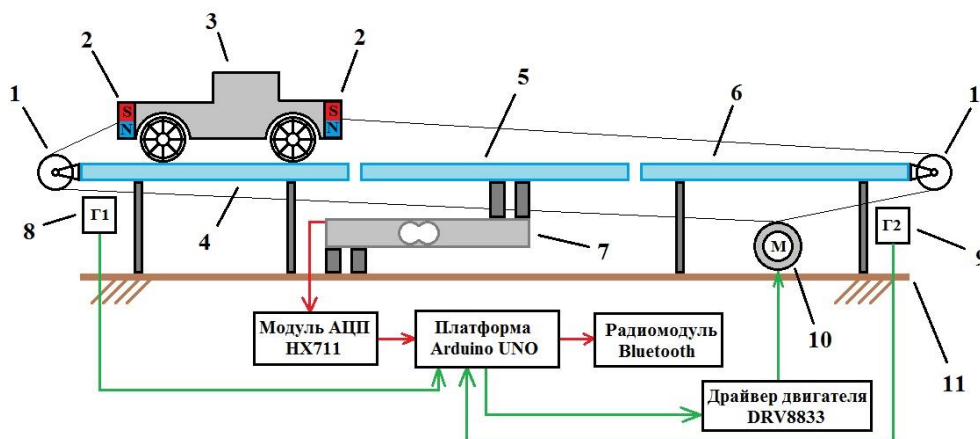


Рис. 2. Структурная схема стенда для изучения методов измерения скорости и массы автомобилей на дорогах

Fig. 2. Structural schematic of the stand for the study of methods of measuring the speed and mass of cars on the roads

Секции 4 и 6 прочно связаны с основанием (11) стенда и имитируют стандартные участки дорог. Центральная секция (5) прикреплена к тензодатчику (7), который также связан с основанием. В случае, если на центральной секции появляется дополнительная масса, усилие передаётся на тензодатчик, который регистрирует это изменение. В качестве чувствительного элемента датчика выступают тензорезисторы (полупроводниковые резисторы, сопротивление которых зависит от деформации), включённые по мостовой схеме (мост Уитстона). Поскольку изменение сопротивления тензорезистора очень мало (составляет десятые доли ома), следовательно мало и изменение напряжения на выходе моста, составляет порядка нескольких десятков микровольт. Для регистрации столь малых изменений напряжения используется модуль 24-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) на микросхеме НХ711. Эта микросхема специально разработана для использования совместно с мостовыми тензодатчиками, имеет встроенный программируемый усилитель, полосовой фильтр с частотой среза 50Гц и цифровой интерфейс (аналогичен I2C) для связи с микроконтроллером [6].

В качестве системы сбора и обработки данных используется аппаратная платформа ArduinoUNOR3 на базе микроконтроллера ATmega328p, работающего на частоте 16МГц. Применение данной платформы обусловлено наличием на ней всей необходимых элементов, обеспечивающих работу стенда (стабилизатор напряжения, преобразователь USB-UART, кварцевый резонатор для микроконтроллера). Информация с модуля АЦП считывается микроконтроллером отправляется на персональный компьютер (ПК) при помощи радиомодуля Bluetooth. Считывание и отправка данных осуществляется с частотой 60Гц, основное ограничение на количество измерений в секунду накладывает скорость сбора и обработки данных модулем АЦП, ввиду того что он разрабатывался для использования в бытовых электронных весах, где низкая скорость работы вполне приемлема.

Для имитации непрерывного потока машин на дороге использовалась модель автомобиля (3), размер которой подбирался таким образом, чтобы её колёсная база полностью помещалась на каждой секции дороги. Для перемещения автомобиля по макету дороги использовался мотор-редуктор (10) на выходном валу которого крепился блок, на котором в несколько витков наматывалась швейная нить, получался аналог «канатной дороги» для автомобиля. Для контроля начальной и конечной точки движения использовались концевые выключатели (8,9) на основе герметичных контактов (герконов), которые замыкались магнитами (2), расположенными на модели машины. Управление движением автомобиля также осуществлялась при помощи микроконтроллера, при этом имелась возможность варьировать скорость движения.

Информация, поступавшая на ПК, не проходила никакой первичной обработки, потому даже когда на центральную секцию дороги не оказывалось никакого воздействия происходило изменение показаний (незначительной амплитуды) - высокочастотная помеха, вызванная разного рода наводками. Для борьбы с этим шумом применялся фильтр скользящего среднего [7]:

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x(n-i), \quad (1)$$

где  $y(n)$  – выходное значение фильтра,  $x(n)$  – входное значение фильтра,  $N$  – количество точек, по которым производится усреднение.

Выбор окна фильтра осуществлялся экспериментально, наиболее оптимальное соотношение степени усреднения и быстродействия оказалось равным 15. После фильтрации график зависимости массы, оказывающей воздействие на центральную секцию, от времени имеет вид, представленный на рисунке 3.



Рис.3. График зависимости давления на секцию модели дороги от времени  
Fig. 3. The pressure on the section of the road to time ratio model

На графике представлен полный цикл движения автомобиля по дороге, от начальной точки до конечной (от 0 до линии А) и обратно (от линии А до линии В). При этом участки, где график функции совпадает с осью абсцисс, соответствуют моментам, когда машина съехала с центральной секции.

Если подробнее рассмотреть движение автомобиля в прямом направлении (рис. 4), то можно увидеть, что наезд на секцию происходит в несколько этапов, которые можно легко фрагментировать и анализировать.

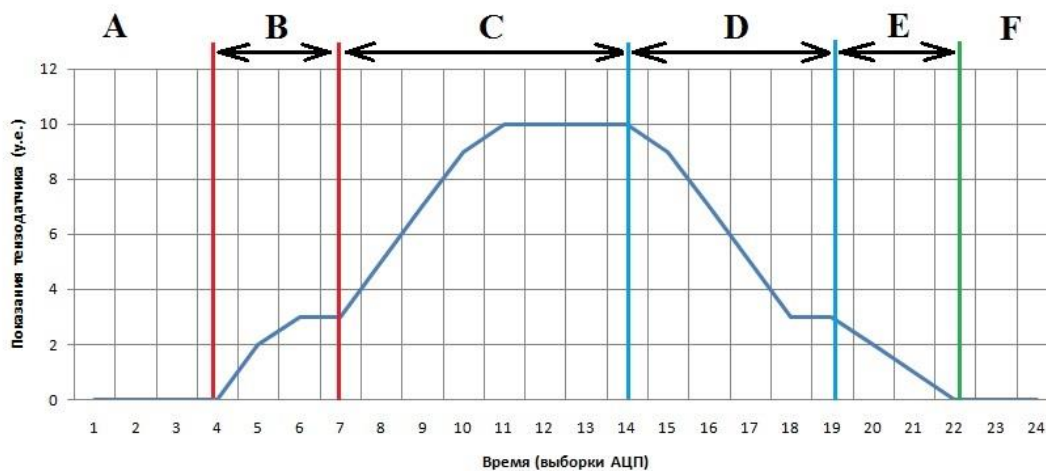


Рис.4. График зависимости давления на секцию модели дороги от времени для движения автомобиля в прямом направлении  
Fig.4. The schedule of pressure dependence on the section of the road model from time to time for driving in a direct direction

Участок А соответствует состоянию, когда автомобиль только приближается к чувствительной секции дороги. Участок В начинается, когда передняя ось автомобиля начинает оказывать давление на тензодатчик и заканчивается, когда такое же воздействие начинает оказывать задняя ось. При этом необходимо обратить внимание, что этот участок состоит из зоны возрастания функции и «плоской» зоны. Первая возникает из-за того, что колёса автомобиля не могут мгновенно переместить его вес с одной секции дороги на другую, т.е. возникает ситуация, когда он поровну распределён между крайней и средней секцией дороги. Чем больше скорость движения автомобиля, тем более трудно становится уловить этот переход. Кроме того, значительное влияние оказывает быстродействие АЦП и скорость работы фильтра (вносит наиболее значительную составляющую в кривизну зоны возрастания). Зона, параллельная оси

абсцисс соответствует завершению всех переходных процессов, передние колёса движется по участку дороги и оказывают измеримое воздействие.

Участок С начинается, когда задняя ось автомобиля начинает оказывать давление на тензодатчик и заканчивается в тот момент, когда передние колёса начинают съезжать со средней секции дороги. Зона возрастания соответствует аналогичным, описанным выше, переходным процессам (инертностью механики, АЦП и фильтра). «Плоский» участок означает, что автомобиль всеми четырьмя колёсами опирается на платформу и в этот момент имеется возможность с высокой степенью точности измерить его вес.

Участок D – период, в течение которого передние колёса съезжают с чувствительной секции дороги. На участке E таким же образом действуют и задние колёса. Зона убывания нагрузки формируется по вышеописанным причинам. Кроме того, необходимо обратить внимание, что «плоская» зона на участках В и D может находиться на разной высоте (рис. 3), это объясняется тем, что распределение массы между осями может быть неравномерным.

Поскольку график функции движения машины по платформе с датчиком имеет ярко выраженную зону возрастания и зону убывания, которые в общем случае не содержат локальных экстремумов, то анализируя поток входящих данных с такого участка дороги не сложно подсчитать количество автомобилей, которые проехали по нему за определённое количество времени. При этом, масса автомобиля и количество его осей не имеет никакого значения. Зная количество транспортных средств,двигающихся по участку дороги, и их массу можно вывести интегральную характеристику (в сочетании с другими факторами), описывающую процесс износа дорожного покрытия.

Таким образом, можно сделать вывод, что метод измерения нагрузки на дорожное покрытие при помощи стационарного комплекса датчиков, встроенных в дорожное покрытие (или участок дороги) является работоспособной альтернативой другим методам. В тоже время, использование его в сочетании с системами глобального позиционирования (определяют транспортный поток) позволяет повысить точность измерения текущей нагрузки на участки дороги, а также осуществить прогноз дальнейшего износа дорожного покрытия, что в свою очередь позволит проводить точечный ремонт, стоимость которого значительно меньше капитального. Использование систем беспроводной связи, а также альтернативной энергетики даёт возможность размещать такие комплексы практически на любых дорогах России.

### Список литературы

1. Варенько В.А., Занкович В.В., Макаревич А.А. Влияние параметров транспортной нагрузки на развитие деформации дорожных покрытий. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/> - Дата обращения: 1.04.2019.
2. Под ред. Васильева А.П. Справочник. Справочная энциклопедия дорожника. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/> – Дата обращения: 3.04.2019.
3. Замеры интенсивности транспортных потоков. Официальный сайт компании ПРОМТЕРРА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prom-terra.ru/articles/> – Дата обращения: 2.04.2019.
4. Хаханов В.И., Литвинова Е.И. Интеллектуальное облако управления движением, Радиоэлектроника и информатика 2013. Электронная библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/> – Дата обращения: 1.04.2019.
5. Метрологические особенности поосного взвешивания автомобилей. Официальный сайт компании ТЕНЗОМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tenso-m.ru/publications/390/> – Дата обращения: 1.04.2019.
6. Техническая документация на модуль АЦП НХ711 (AviaSemiconductor).
7. Фильтр скользящего среднего [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electrono.ru/> – Дата обращения: 2.04.2019.

## References

1. Varenko V.A., Zankovich V.V., Makarevich A.A. Influence of transport load parameters on the development of pavement deformation. Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University. Electronic library [Electronic resource]. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/> – Date of access: 1.04.2019.
2. Ed. Vasilieva A.P. Directory. Reference encyclopedia of the road builder. Repair and maintenance of roads [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.gosthelp.ru/text/> – Date of access: 3.04.2019.
3. Measurements of the intensity of traffic flows. The official website of the company PROMTERRA [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.prom-terra.ru/articles/> – Date of access: 2.04.2019.
4. Khakhanov V.I., Litvinova E.I. Intelligent Cloud Motion Control, Electronics and Informatics 2013. Digital Library [Electronic Resource]. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/> – Date of access: 1.04.2019.
5. Metrological features of car axle weighting. Official site of the company TENZOM [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.tenso-m.ru/publications/390/> – Date of access: 1.04.2019.
6. Technical documentation for the X711 ADC module (AviaSemiconductor).
7. Moving average filter [Electronic resource]. – Access mode: <http://electrono.ru/> – Date of access: 2.04.2019.

**Бражников Артём Максимович**, студент магистратуры Самарского государственного технического университета  
**Бражникова Александра Максимовна**, студент магистратуры Самарского государственного технического университета  
**Забержинский Борислав Эдуардович**, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий

**Brazhnikov Artem Maximovich**, Graduate student of Samara State Technical University  
**Brazhnikova Aleksandra Maximovna**, Graduate student of Samara State Technical University  
**Zaberzhinsky Borislav Eduardovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technology