

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ ВЕСОГАБАРИТНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ДВИЖЕНИИ И СПОСОБ ИХ РЕШЕНИЯ

И.А. Колчин

ig.ko@bk.ru

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва,
Российская Федерация

Аннотация

Задача усовершенствования процесса взвешивания автомобилей в движении на сегодняшний день является актуальной. В современных системах существует ряд проблем, влияющих на точность измерений и классификации транспортных средств, что сильно замедляет внедрение подобных систем и не позволяет эксплуатировать их в автономном режиме. Рассмотрены классификация систем, общая архитектура и принцип определения осевых нагрузок. Сформулирован перечень проблем, с которыми сталкиваются все производители подобных систем. Также рассмотрены проблемы, связанные с определением параметров движения автомобиля, и для их решения предложен способ, основанный на применении методов анализа временных рядов.

Ключевые слова

Взвешивание, транспортное средство, движение, система взвешивания, WIM, анализ, временной ряд, сигнал, тензометрический датчик

Поступила в редакцию 10.02.2023

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022

Введение. На сегодняшний день автоматизированные системы взвешивания автомобилей в движении (WIM — Weigh in Motion) получили большое распространение в странах Европы, Соединенных Штатах Америки и Австралии. Развитие данного класса систем началось в 1950 г. в Соединенных Штатах Америки инженером Клайдом Ли [1]. Изначально системы WIM применяли для сбора статистики об осевых нагрузках проезжающих транспортных средств через определенные участки дорог. Полученную информацию впоследствии использовали для проектирования структуры дорожного полотна, чтобы увеличить срок службы исследуемых участков дорог. К началу 2000 г. для систем WIM были созданы и опробованы принципиально новые типы весоизмерительных датчиков, также к этому моменту были протестированы технологии и методы определения осевых нагрузок и полной массы транспортного средства. Все эти достижения позволили найти новое применение для автоматизированной системы взвешивания автомобилей в движении — борьба с нарушителями закона, которая осуществляется путем контроля транспортного потока с последующим информированием о нарушениях компетентных органов государственной структуры. В настоящее время данное применение подобных систем является основным.

Работы, проводимые в области модификации систем взвешивания автомобилей в движении, являются актуальными. Эти системы позволяют:

- своевременно предотвращать проезд перегруженных транспортных средств через инженерные сооружения, подверженные разрушению в случае чрезмерной нагрузки;
- снизить износ дорожного полотна;
- уменьшить число стационарных весоизмерительных пунктов;
- решить локальные проблемы пробок, вызванные контролем весовых характеристик транспортных средств;
- обеспечить возможность определять весогабаритные характеристики каждого автомобиля в потоке;
- уменьшить число людей на постах взвешивания, которые работают в сложных условиях;
- обеспечить приток в государственную казну финансовых средств для ремонта дорожного полотна.

В Российской Федерации автоматизированные системы весогабаритного контроля начали использоваться сравнительно недавно, а история их эксплуатации не превышает 10 лет. В настоящее время на дорогах Российской Федерации установлено множество систем иностранного производства. В результате санкционной политики поддержка, ремонт и переоснащение ранее закупленных иностранных систем не представляются возможными. Начиная с 2016 г. многие крупные игроки отечественного рынка, занятые в разработке новых систем взвешивания и различных IT-решений, взяли курс на импортозамещение автоматизированных систем весогабаритного контроля.

На сегодняшний день некоторые компании уже представили разработанные технические решения, которые по основным характеристикам не уступают иностранным аналогам [2]. Однако все разработанные решения имеют общие проблемы и ограничения. Отечественные поставщики и интеграторы часто сталкиваются с проблемами, которые связаны с процессом исследования мест размещения систем, а также с процессом их установки, настройки и калибровки [3]. Более подробно о проблемах эксплуатации систем WIM на дорогах Российской Федерации описано в источнике [4].

Следующий шаг развития систем WIM — полностью автономные системы, на которых не требуется присутствие сопровождающего персонала. Однако ни одна компания в мире не смогла добиться полной автономной работы своих технических решений. Существует ряд проблем, которые служат блокирующим фактором для достижения этой цели.

Классификация систем взвешивания. Классификация систем WIM осуществляется по большому числу параметров. На рис. 1 показаны основные виды классификаций подобных систем по трем критериям: скорости движения взве-

шнующего объекта, расположению системы и типу используемого оборудования для измерения осевых нагрузок.

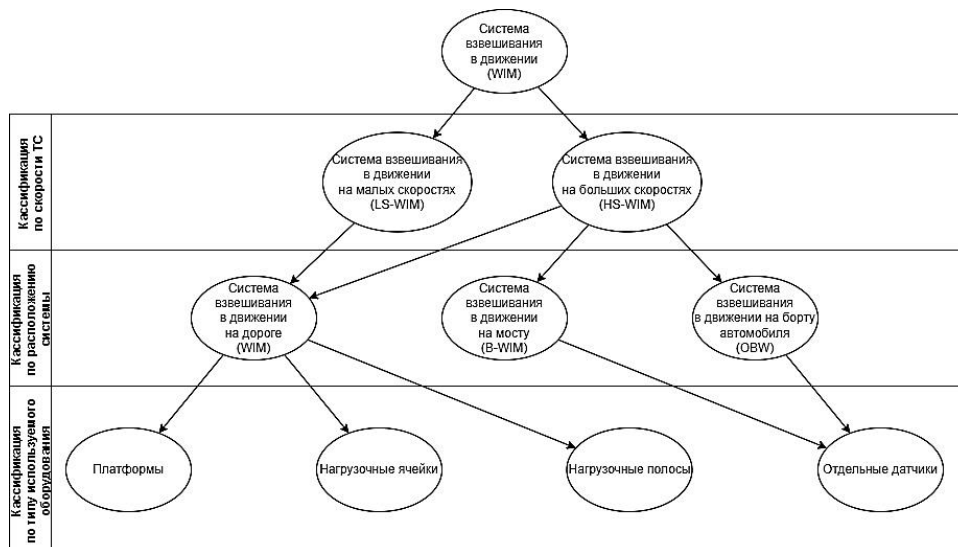


Рис. 1. Классификация систем WIM

По скорости взвешиваемого объекта системы подразделяют на системы, выполняющие измерение осевых нагрузок транспортных средств на малых скоростях (LS-WIM) и на высоких скоростях (HS-WIM). Системы LS-WIM осуществляют измерения при движении взвешиваемого объекта на скорости 1...10 км/ч и располагаются за пределами основных полос для движения транспортного потока на специально выделенных площадках. Для взвешивания автомобилей на подобных комплексах требуется выделить из потока потенциальных нарушителей с проведением последующей проверки. Пропускная способность данной системы по сравнению со стационарными постами взвешивания намного выше, несмотря на то что большая часть этапов процессов, протекающих в этих системах, совпадают. В свою очередь, системы HS-WIM располагаются непосредственно на полосах движения транспортного потока и способны фиксировать весовые характеристики всех транспортных средств, проезжающих на скорости 10...140 км/ч.

По месту расположения системы WIM подразделяют на три больших класса:

- системы взвешивания, установленные на участке дороги (WIM);
- системы взвешивания, встроенные в мостовые конструкции (B-WIM);
- системы взвешивания, расположенные на борту взвешиваемого объекта (OBW).

Среди всех вышеперечисленных классов систем самой большой точностью обладают системы OBW, они интегрируются с системами контроля и учета ха-

характеристик транспортных средств и транслируют в них актуальную информацию, однако велика вероятность фальсификации показаний. В системах В-WIM датчики монтируются в мостовые конструкции и на основе этих показаний определяют весовые характеристики всех транспортных средств, движущихся по этому сооружению. Системы WIM являются наиболее распространенными и располагаются на автомагистралях. Особенностью данных систем служит то, что для их установки требуется изменять структуру дорожного полотна и встраивать в него различные датчики.

По типу используемого весоизмерительного оборудования системы подразделяют на четыре вида:

- системы, в которых используются платформы;
- системы, в которых используются нагрузочные ячейки;
- системы, в которых используются нагрузочные полосы;
- системы, в которых используются отдельные датчики.

В системах, в которых используются платформы, транспортное средство способно полностью поместиться на весоизмеряющей платформе, что позволяет выполнить ряд замеров и получить как полную массу транспортного средства, так и нагрузку, приходящуюся на каждую его ось.

В системах, в которых используются нагрузочные ячейки, одновременно можно измерить нагрузку, создаваемую только одной осью транспортного средства, поскольку размер ячеек равен размеру пятен контакта колес взвешиваемой оси.

Системы, в которых используются полосы, одновременно могут воспринять только часть нагрузки от одной оси, поскольку ширина полос меньше ширины пятен контакта колес, располагающихся на взвешиваемой оси.

Отдельные датчики применяют в системах, в которых требуется измерять нагрузку при помощи изменяющихся свойств конструкции.

Принцип работы системы WIM. Системы WIM в общем случае состоят из множества подсистем, которые представлены на рис. 2, стрелочками показаны направления передачи данных. За каждой подсистемой закреплен заранее определенный набор функций.

Наибольший интерес представляет модуль определения нагрузки на каждую ось и общей массы транспортного средства. В отечественных системах WIM применяют нагрузочные полосы на основе тензометрических датчиков. Размер полос меньше ширины пятна контакта колеса с дорогой. В связи с этой особенностью в модуле появляется необходимость выстраивать закон распределения давления по пятну контакта и проводить расчет площади фигуры под полученным графиком путем численного интегрирования для вычисления значения нагрузки, приходящейся на измеряемую ось. После определения всех осевых нагрузок вычисляют полную массу автомобиля с помощью заранее откалиброванной математической модели.

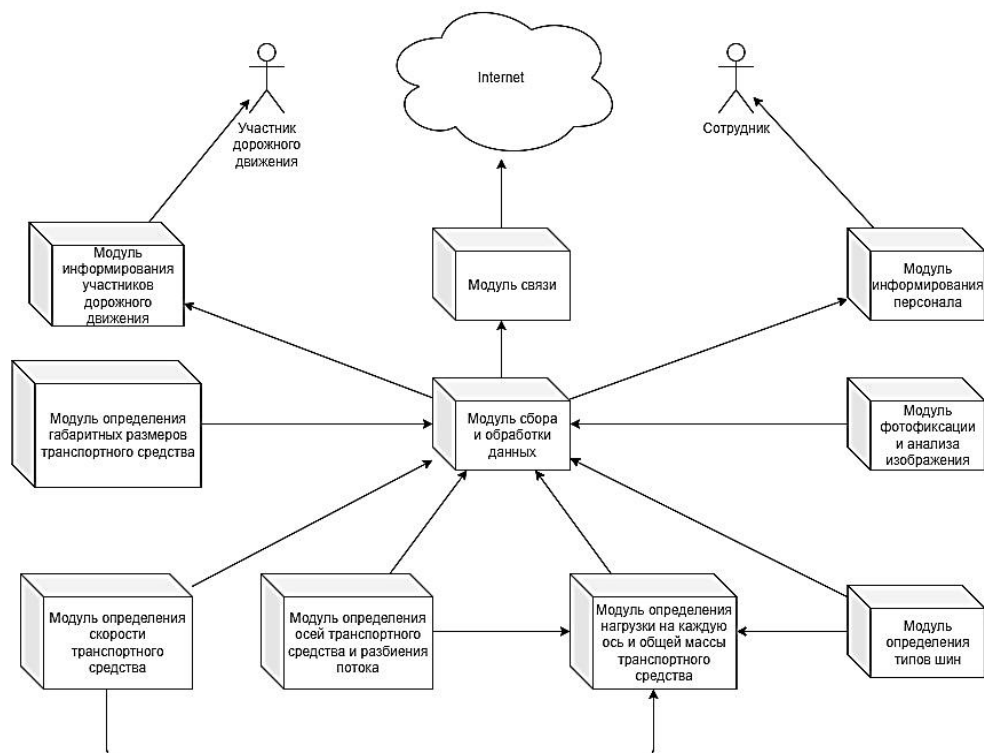


Рис. 2. Архитектура системы WIM

Проблемы действующих отечественных систем. В современных автоматизированных системах весогабаритного контроля существует ряд проблем, которые можно подразделить на следующие категории:

- проблемы, связанные с законодательной базой и стандартами;
- проблемы, связанные с вычислением некоторых параметров процесса;
- проблемы, связанные с калибровкой системы на испытательном полигоне;
- проблемы, связанные с калибровкой системы в месте эксплуатации;
- проблемы, связанные с исследованием места эксплуатации системы;
- проблемы, связанные с приемосдаточными испытаниями системы.

На текущий момент в нашей стране плохо проработана законодательная база в части фиксации и опровержения нарушений по превышению допустимых нагрузок. К тому же плохо проработаны государственные стандарты в части контролируемых параметров автомобилей при взвешивании транспортных средств в движении. Более подробно с этим можно ознакомиться в источнике [5].

В современных системах существует проблема, связанная с большой погрешностью определения межосевых расстояний у транспортных средств. Она возникает при неравномерном движении автомобиля, поскольку вычисление

данного параметра основано на мгновенной скорости и времени, которое требуется для прохождения двух осей через весоизмерительный модуль. В современных системах за мгновенную скорость принимается значение средней скорости, что и вызывает данную погрешность. Так же это допущение способствует возникновению еще одной проблемы, которая связана с погрешностью определения нагрузки, приходящейся на ось автомобиля. Она возникает при построении закона распределения давления по пятну контакта.

Используемые процессы калибровки систем на испытательных стендах и в месте эксплуатации достаточно сложны и характеризуются большими трудозатратами. Существует потребность в переосмыслении существующих процессов и выработке новых методов калибровки.

Процесс исследования места эксплуатации систем WIM особенно важен, поскольку он позволяет определить возможность размещения в заданном месте контролирующего комплекса. В этой предметной области существует множество актуальных вопросов, которые касаются степени влияния того или иного элемента конструкции дороги на результаты работы весоизмерительной системы.

Процесс приемосдаточных испытаний на текущий момент также является непростой задачей, поскольку не существует методов, с помощью которых можно проконтролировать соответствие установленной системы заявленным критериям, так как совокупность некоторых параметров сложно получить при помощи натурных испытаний. В качестве примера можно привести испытание, в котором необходимо проверить работоспособность системы на грузовике с общей массой в 200 т, который должен проехать через пост контроля на скорости 250 км/ч.

Методы решения проблемы определения осевой нагрузки. Для решения проблемы вычисления нагрузки, приходящейся на ось автомобиля, необходимо научиться определять мгновенную скорость взвешиваемого транспортного средства. При постановке задачи можно принять допущение, что временной ряд, полученный с весоизмерительного модуля, содержит информацию о мгновенных скоростях движения измеряемого объекта.

Для обработки временного ряда и определения из него мгновенных скоростей в каждый из рассматриваемых моментов времени можно применять методы анализа временных рядов:

- дискретное преобразование Фурье;
- дискретное оконное преобразование Фурье;
- вейвлет-преобразование;
- сингулярный спектральный анализ.

Дискретное преобразование Фурье позволяет разложить временной ряд на гармоники и перейти к анализу амплитуд колебаний и соответствующих им частот.

Дискретное оконное преобразование Фурье позволяет разложить временной ряд по гармоникам, задействованным в определенные промежутки времени, которые, в свою очередь, задаются параметром, называемым шириной окна.

Вейвлет-преобразование позволяет разложить временной ряд на набор вейвлетов, действующих в определенные моменты времени. Каждый вейвлет набора будет характеризоваться своим коэффициентом масштаба и сдвига.

Сингулярный спектральный анализ позволит перейти от рассмотрения временного ряда к рассмотрению главных компонент, из которых может быть восстановлен исходный временной ряд.

Более подробно с каждым из вышеперечисленных методов можно ознакомиться в источниках [6–10].

Выводы. На сегодняшний день в Российской Федерации большую популярность приобретают системы WIM. Ряд отечественных компаний спроектировали и выпустили первые прототипы подобных систем, основанные на опыте и технологиях зарубежных конкурентов. Отечественные системы большими темпами заменяют системы, которые ранее были установлены на территории Российской Федерации иностранными компаниями, тем самым занимая освободившуюся часть рынка. Помимо этого национальный проект «Безопасные дороги» предусматривает наращивание темпов и объемов установки систем весогабаритного контроля.

Все современные отечественные системы WIM имеют множество недостатков и по своей функциональности пока не могут конкурировать с системами зарубежного производства, поскольку у отечественных специалистов слишком малого опыта в разработке и сопровождении подобных систем.

Предложенные методы, основанные на анализе временных рядов, позволят решить проблемы, связанные с определением мгновенной скорости взвешиваемого объекта. При использовании этих методов можно отказаться от части подсистем в существующей архитектуре автоматизированной весогабаритной системы, а также повысить точность определения параметров транспортного средства, точность классификации и уменьшить процент ошибочно сформированных штрафов.

Литература

- [1] A brief history of WIM. *is-wim.net: веб-сайт*. URL: <https://www.is-wim.net/what-is-wim/introduction/a-brief-history-of-wim/> (дата обращения: 18.01.2023).
- [2] Система дорожная весового и габаритного контроля «СВК». *tenso-m.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.tenso-m.ru/sistemy-dorozhnogo-vesovogo-kontrolja/259/> (дата обращения: 18.01.2023).
- [3] Современный весовой контроль: недостатки АСВГК. *rosacademtrans.ru: веб-сайт*. URL: https://rosacademtrans.ru/sovremennii_kontrol/ (дата обращения: 18.01.2023).

-
- [4] Дольникова Е.И., Сафиуллин Р.Н. Перспективы развития и проблемы интеллектуальных систем по весовому контролю транспортных средств. *Актуальные направления научных исследований XXI: теория и практика*, 2016, т. 4, № 5-3, с. 231–236.
- [5] Сенянский М.В. Практика и вопросы метрологии работы автоматических постов весового и габаритного контроля автотранспорта. *Приборы*, 2019, № 1, с. 17–21.
- [6] Кандидов В.П., Чесноков С.С., Шленов С.А. Дискретное преобразование Фурье. М., МГУ, 2019.
- [7] Короновский А.А., Павлов А.Н., Ситникова Е.Ю. и др. Вейвлеты в нейродинамике и нейрофизиологии. М., Физматлит, 2013.
- [8] Амосов О.С., Муллер Н.В. Исследование временных рядов с применением методов фрактального и вейвлет анализа. *Наукоедение*, 2014, № 3.
URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/147TVN314.pdf>
- [9] Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразование. Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2003.
- [10] Поршнева С.В., Рабайа Ф. Исследование особенностей применения метода сингулярного спектрального анализа в задаче анализа и прогнозирования временных рядов. Ульяновск, Зебра, 2016.

Колчин Игорь Алексеевич — аспирант Института машиноведения им. А.А. Благоврадова Российской академии наук, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Гаврюшин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Колчин И.А. Проблемы современных весогабаритных систем контроля автомобилей в движении и способ их решения. *Политехнический молодежный журнал*, 2023, № 02(79).
<http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-02-865>

PROBLEMS OF MODERN WEIGHT AND SIZE CONTROL SYSTEMS OF CARS IN MOTION AND A WAY TO SOLVE THEM

I.A. Kolchin

ig.ko@bk.ru

Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Abstract

The task of improving the process of weighing cars in motion is relevant today. In modern systems, there are a number of problems that affect the accuracy of measurements and classification of vehicles, which greatly slows down the implementation of such systems and does not allow them to be operated offline. The classification of systems is considered, as well as the general architecture and the principle of determining axial loads. The list of problems faced by all manufacturers of such systems is formulated. The problems related to the determination of vehicle motion parameters are also considered, and a method based on the use of time series analysis methods is proposed to solve them.

Keywords

Weighing, vehicle, movement, weighing system, WIM, analysis, time series, signal, strain gauge.

Received 10.02.2023

© Bauman Moscow State Technical University, 2022

References

- [1] A brief history of WIM. *is-wim.net: website*. URL: <https://www.is-wim.net/what-is-wim/introduction/a-brief-history-of-wim/> (accessed: 18.01.2023).
- [2] Sistema dorozhnaya vesovogo i gabaritnogo kontrolya "SVK" [SVK road weight and dimensioning control system]. *tenso-m.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.tenso-m.ru/sistemy-dorozhnogo-vesovogo-kontrolja/259/> (accessed: 18.01.2023).
- [3] Sovremennyy vesovoy kontrol: nedostatki ASVGK [Modern weight control: the shortcomings of ASVGK]. *rosacademtrans.ru: website* (in Russ.). URL: https://rosacademtrans.ru/sovremennii_kontrol/ (accessed: 18.01.2023).
- [4] Dolnikova E.I., Safiullin R.N. Prospects of development and problems of intelligent systems of vehicles weight control. *Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI: teoriya i praktika* [Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2016, vol. 4, no. 5-3, pp. 231–236 (in Russ.).
- [5] Senyanskiy M.V. Practice and issues of metrology of automatic posts weighing and gauge control of vehicles. *Pribory*, 2019, no. 1, pp. 17–21 (in Russ.).
- [6] Kandidov V.P., Chesnokov S.S., Shlenov S.A. Diskretnoe preobrazovanie Furye [Discrete Fourier transform]. Moscow, MGU Publ., 2019 (in Russ.).
- [7] Koronovskiy A.A., Pavlov A.N., Sitnikova E.Yu. et al. Veyvlety v neyrodinamike i neyrofiziologii [Wavelets in neurodynamics and neurophysiology]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2013 (in Russ.).
- [8] Amosov O.S., Muller N.V. The application the fractal and wavelet analysis methods to mathematical and numerical modeling of time series. *Naukovedenie*, 2014, no. 3. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/147TVN314.pdf> (in Russ.).

- [9] Yakovlev A.N. Vvedenie v veyvlet-preobrazovanie [Introduction to wavelet transform]. Novosibirsk, Izd-vo NGTU Publ., 2003 (in Russ.).
- [10] Porshnev S.V., Rabaya F. Issledovanie osobennostey primeneniya metoda singulrnogo spektralnogo analiza v zadache analiza i prognozirovaniya vremennykh ryadov [The study of features of using the singular spectrum analysis method for the analysis and forecasting the time series]. Ulyanovsk, Zebra Publ., 2016 (in Russ.).

Kolchin I.A. — Postgraduate Student, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Gavriushin S.S., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Computer Systems of Production Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Kolchin I.A. Problems of modern weight and size control systems of cars in motion and a way to solve them. *Politekhnicheskij molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2023, no. 02(79). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2023-02-865.html> (in Russ.).