

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ВЗВЕШИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ В ДВИЖЕНИИ И ИХ РЕШЕНИЕ ПРИ ПОМОЩИ ПРЕДЛОЖЕННОГО МЕТОДА

И.А. Колчин

ig.ko@bk.ru

SPIN-код: 4744-0362

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Описана проблема взвешивания автомобиля в движении и причины ее возникновения. Рассмотрены достоинства и недостатки действующей системы взвешивания и предложен принципиально новый метод расчета массы автомобиля в движении, который основывается на применении имитационной модели процесса. Представленный метод способен ликвидировать основные недостатки существующей системы: требование к плавности хода автомобиля и пониженную точность определения массы транспортного средства, связанную с перераспределением нагрузок между осями автомобиля. Сделаны выводы, что существующая на данный момент система, хоть и обладает рядом недостатков, однако в достаточной степени справляется с выявлением автомобилей, превышающих весовой порог, а система, созданная с использованием предложенного метода, может стать хорошей альтернативой действующей системе.

Ключевые слова

Взвешивание, автомобили, движение, система взвешивания, имитационная модель, метод расчета массы, поосное взвешивание, взвешивание в движении

Поступила в редакцию 20.04.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Введение. На сегодняшний день наблюдается значительное отставание темпов развития дорожной сети от темпов автомобилизации общества. Растут объемы тяжеловесных грузоперевозок, что приводит к увеличению нагрузки на дорожную сеть [1]. В связи с этим одной из актуальных задач, которую пытаются решить все производители весоизмерительного оборудования и весоизмерительных систем, является задача взвешивания автомобиля в движении. Решение этой задачи позволит облегчить процедуру взвешивания автомобиля, сократить количество постов взвешивания, увеличить скорость потока автомобилей и контролировать вес каждого транспортного средства. Также эти преимущества косвенно позволят уменьшить износ дорожного полотна и контролировать соблюдение государственных норм и правил, связанных с весом транспортного средства.

В процессе решения поставленной задачи необходимо определить нагрузку, приходящуюся на каждую ось автомобиля, и сравнить полученные значения с нормативными, указанными в государственных требованиях и стандартах. Пре-

вышение установленных значений делает автомобиль опасным для других участников дорожного движения и способствует повышенному износу дорожного покрытия. Значение этого износа находится в экспоненциальной зависимости от массы автомобиля, более подробно об этом написано в статье [2].

В настоящее время степень износа дорожного покрытия измеряют несколькими способами:

- рассчитывают ресурс дороги перед ее строительством в зависимости от предполагаемого трафика и климатических условий;
- закладывают реперы в толщу асфальта или бетона;
- контролируют поток автомобилей на основе данных систем глобального позиционирования;
- используют комплекс приборов, устанавливаемых на участках дорог [3].

Вес автомобиля определяют двумя принципиально различающимися способами:

- с полным заездом транспортного средства и последующей его остановкой на платформе;
- с заездом одной парой колес на весы для поосного взвешивания.

Первый способ позволяет получить только общий вес транспортного средства (ТС). Определить нагрузку, приходящуюся на ось при таком способе взвешивания, нельзя. Причина кроется в наличии в автомобиле подвесок, а точнее, в дисбалансе перераспределения осевых нагрузок. На степень этого дисбаланса влияют тип подвески, ее конструкция и эксплуатационное состояние. Однако дисбаланс в перераспределении осевых нагрузок проявляется только в автомобилях с числом осей строго больше двух [4].

Второй способ осуществляется путем проезда ТС на малой скорости через небольшую платформу. Необходимо следить за равномерностью движения, в противном случае показания будут сильно отличаться от действительных значений нагрузок, приходящихся на каждую ось автомобиля.

На сегодняшний день в ряде областей функционируют системы комплексной безопасности дорожного движения, измеряющие массу автомобиля в движении. Такая система позволяет контролировать скоростной режим, предупреждать весоизмерительные службы о необходимости прохождения весового контроля для некоторых ТС, распознавать количество осей в конструкции автомобиля, определять габаритные размеры ТС, накапливать данные о характеристиках транспортного потока [5].

Постановка задачи. На сегодняшний день растет популярность грузоперевозок с помощью грузовых ТС. Загруженность дорог увеличивается огромными темпами. Также растет число правонарушителей, которые пренебрегают требованиями стандартов и правил, регламентирующих максимальный вес автомобиля.

В 2015 г. в Российской Федерации ежемесячно фиксировалось от 100 до 200 тыс. нарушений весогабаритных нормативов у фур. В 2016 г. количество фиксируемых нарушений составило порядка 155 тыс. ежемесячно [6].

Для того чтобы не снижать скорость движения потока и в то же время оперативно следить за весом каждого грузового автомобиля, необходимо использовать поосное взвешивание ТС. Однако этот способ на данный момент имеет множество ограничений, которые налагаются на взвешиваемые автомобили. В свою очередь, способ поосного взвешивания можно подразделить на одновременное и последовательное взвешивание [7].

Для оперативного контроля нагрузок, приходящихся на каждую ось, способ одновременного взвешивания не подойдет, поскольку он предполагает одновременный наезд ТС всеми колесами на отдельные весоизмерительные конструкции. В условиях разнообразия колесных баз грузовых автомобилей этот способ неприменим в действительности. Таким образом, предпочтение отдается способу последовательного взвешивания. Однако согласно исследованиям, описанным в статье [7] и проведенным компанией «ТензоМ», была выявлена низкая точность данного способа, которая возникает из-за перераспределения осевых нагрузок между осями автомобиля. Данное перераспределение характеризуется конструкцией и эксплуатационным состоянием подвески автомобиля [4]. Исследования, проведенные в статье [7], выполнялись с проездом пункта контроля на малых скоростях (менее 5 км/ч). Это служило дополнительным ограничением для автомобилей, вес которых измеряется данным способом.

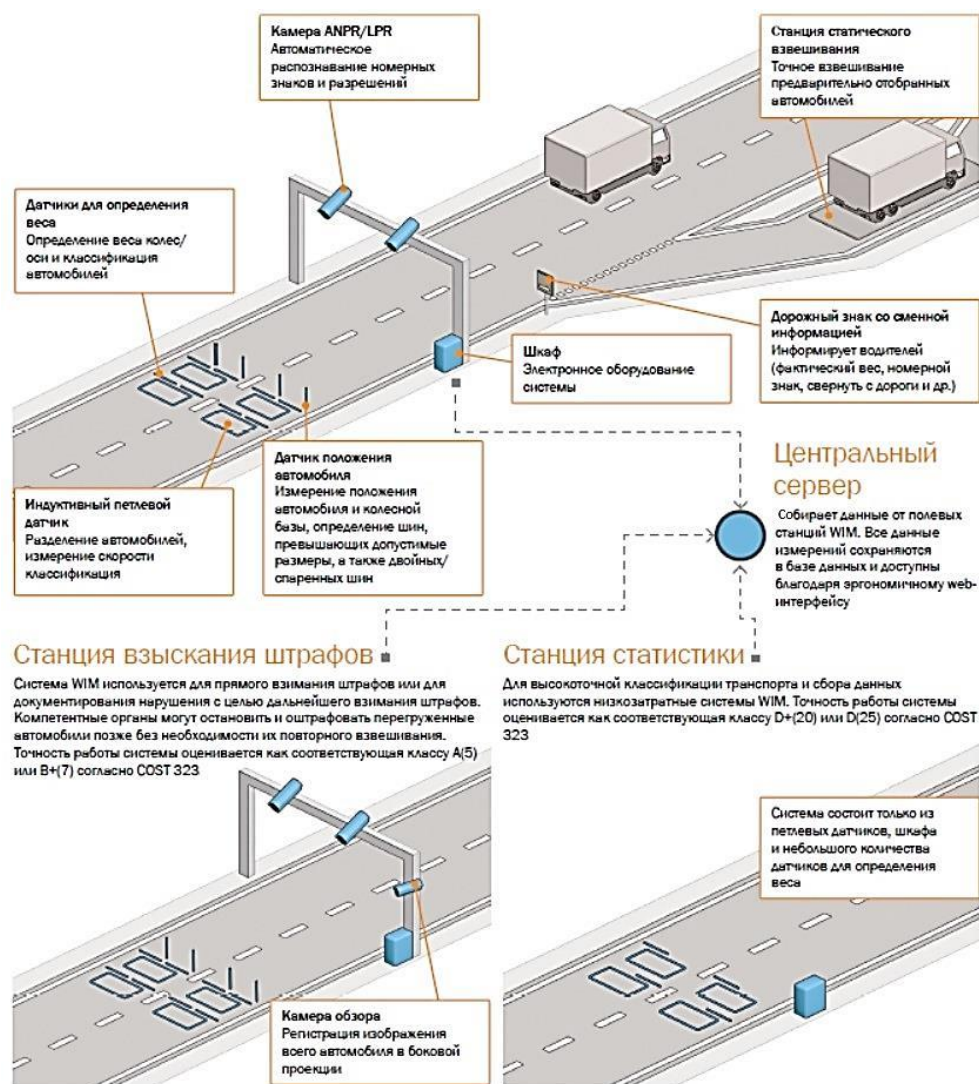
Еще одним ограничением служит равномерность движения ТС через устройство контроля. При ускорении автомобиля возникает сила инерции, действующая на грузы и на автомобиль в целом, что приводит к смещению центра тяжести ТС и разгрузке одной из осей. В частности, в статье [8] выведена закономерность, позволяющая определить ускорение ТС, которое может спровоцировать смещение частиц сыпучего вещества и, как следствие, изменение положения центра тяжести, смещение которого перераспределяет нагрузки на оси. В случае транспортировки незакрепленных крупногабаритных грузов ситуация остается такой же.

Таким образом, возникает потребность в разработке системы, которая будет определять вес автомобиля независимо от его конструкции, количества осей, скорости и равномерности его движения. Для решения данной задачи требуется разработать систему, состоящую из нескольких весоизмерительных датчиков, расположенных в определенном порядке и на заданном удалении друг от друга, а также программного комплекса, который позволит определять вес автомобиля с достаточной точностью.

Система взвешивания автомобиля в движении. С 1 октября 2016 г. Росавтодором запущен новый проект автоматизированной системы весового и габаритного контроля, предусматривающий взвешивание большегрузных автомобилей во время движения по дороге специализированной системой [9]. В иностранной литературе такие системы называются Weight In Motion. Именно они были взяты за основу при разработке системы UnicamWIM.

Дорожный весовой контроль позволяет предварительно выделить из общего транспортного потока потенциальных нарушителей — автомобили, превы-

шающие весогабаритные нормативы, — и перенаправить их на пункт статического взвешивания, для определения более точных значений массы. Структурная схема системы UnicamWIM представлена на рисунке.



Структурная схема системы UnicamWIM

Основные характеристики системы:

- высокоскоростной весовой контроль;
- измерение массы ТС в диапазоне 3 500...200 000 кг;
- определение количества осей ТС;
- измерение превышения скорости в диапазоне 5...250 км/ч с погрешностью не более 2 %;
- измерение габаритов ТС;
- классификация транспорта по типам [10].

К недостаткам данной системы можно отнести:

- высокую стоимость системы;
- возможность частичного взвешивания осей автомобиля;
- требования к плавности движения автомобиля;
- неучет перераспределения нагрузок между осями;
- неучет смещения центра тяжести при резком торможении или ускорении.

Кроме того, по точности измерений весы динамического действия проигрывают весам статического действия. Помимо инструментальной погрешности, которая составляет 2 %, прибор имеет предельную допустимую относительную погрешность при измерении полной массы и нагрузки от группы осей 5 %, при измерении осевой нагрузки — 10 %. [11].

Предложенный метод расчета массы автомобиля в движении. Для определения массы автомобиля предлагается использовать имитационную модель проезда автомобиля через пункт весового контроля. В роли входных параметров модели выступают сила тяжести груза, скорость автомобиля и две координаты приложения силы тяжести груза. Список входных параметров можно увеличивать, добиваясь большей гибкости при расчетах. Выходным параметром модели является временной ряд значений, полученных от весоизмерительного датчика, входящего в состав имитационной модели. После получения временного ряда из имитационной модели его сравнивают с временным рядом, полученным с реального датчика, который установлен по месту измерения. Затем рассчитывают погрешность и калибруют входные параметры имитационной модели, после чего все действия повторяют до тех пор, пока показания с реального и виртуального датчиков не станут одинаковыми. Таким образом, имитационная модель описывает сложную функцию, которая задает пространство выходных параметров.

Этот метод позволяет использовать вместо имитационной модели обученную нейронную сеть, которая будет описывать пространство выходных параметров так же, как имитационная модель. Применение нейронных сетей в этом методе позволяет облегчить разработку системы для сложного объекта, однако из минусов стоит отметить требование к обучению нейронной сети, что является достаточно затруднительным.

Выводы. На сегодняшний день остается актуальной задача создания автоматизированной системы, которая будет определять вес автомобиля независимо от его конструкции, количества осей, скорости и равномерности его движения.

Рассмотренная выше система UnicamWIM начинает активно эксплуатироваться на дорогах Российской Федерации. Несмотря на все недостатки данной системы, по заверению разработчиков, она хорошо справляется с выявлением из общего потока автомобилей превышающих весовой порог.

Предложенный метод позволяет избавиться от требования к плавности движения автомобиля, учесть перераспределение нагрузок между осями и смещение центра тяжести при резком ускорении или замедлении, повысить точность, уменьшить стоимость системы за счет снижения количества используемых датчиков.

мых датчиков. Точность системы, которая будет разработана с использованием данного метода, будет увеличиваться пропорционально увеличению сложности имитационной модели и количеству учтенных свойств процесса проезда автомобиля через пункт контроля.

Литература

- [1] Торобеков, Охотников В.И. Разработка стенда автоматизированного пункта весового контроля (АПВК). *Известия КГТУ им. И. Раззакова*, 2015, № 3, с. 144–148.
- [2] Вебер М. Как тяжелый грузовой транспорт влияет на состояние дорог в России (системы взвешивания в движении WIM — weight in motion на Российских улицах). *Вестник транспорта*, 2013, № 2, с. 42–44.
- [3] Бражникова А.М., Бражников А.М. Разработка стенда для изучения принципов измерения изношенности дорожного покрытия. *Вестник современных исследований*, 2018, № 11.1, с. 217–222.
- [4] Группа компаний «ФизТех». URL: https://phystech.ru/about/articles/stat_576_85/ (дата обращения: 11.03.2021).
- [5] Петякина А.Е. Весовой контроль. *Дорожники*, 2015, № 3, с. 42–46.
- [6] 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.
- [7] Сенянский М.В. Методологические особенности поосного взвешивания автомобилей. *Законодательная и прикладная метрология*, 2013, № 1, с. 36–45.
- [8] Кирколуп Е.Р., Харламов И.В. Экспериментальное исследование влияния смещений сыпучего груза на изменение осевых нагрузок грузового автотранспорта. *Вестник СибАДИ*, 2019, т. 16, № 2, с. 156–165.
- [9] Зенов В.В., Стариков А.В. Автоматизированная система динамического весового и габаритного контроля грузового автотранспорта. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2018, т. 6, № 4, с. 311–315.
- [10] Система весового контроля на дорогах. *parktime.ru: веб-сайт*. URL: <https://www.parktime.ru/sistema-vesovogo-kontrolya> (дата обращения: 11.02.2021).
- [11] Чмых Н.В., Абдуллин В.А., Морозов И.А. Опыт использования автоматизированной системы весогабаритного контроля в Пермском крае. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*, 2020, № 3, с. 44–51.

Колчин Игорь Алексеевич — студент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства», МГТУ им. Н.Э. Баумана, 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. Анализ проблем действующей системы взвешивания автомобилей в движении и их решение при помощи предложенного метода. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 05(58). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-05-699>

ANALYSIS OF THE PROBLEMS OF THE CURRENT WEIGHING SYSTEM OF CARS IN MOTION AND THEIR SOLUTION USING THE PROPOSED METHOD

I.A. Kolchin

ig.ko@bk.ru

SPIN-код: 4744-0362

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The problem of weighing a car in motion and the reasons for its occurrence are described. The advantages and disadvantages of the current weighing system are considered and a fundamentally new method for calculating the mass of a car in motion is proposed, which is based on the application of a simulation model of the process. The presented method is able to eliminate the main disadvantages of the existing system: the requirement for the smooth ride of the vehicle and the reduced accuracy of determining the mass of the vehicle associated with the redistribution of loads between the axles of the vehicle. It is concluded that despite a number of shortcomings, the current system copes sufficiently with the detection of vehicles exceeding the weight threshold, and the system created using the proposed method can become a good alternative to the current system.

Keywords

Weighing, vehicles, movement, weighing system, simulation model, mass calculation method, axle weighing, weighing in motion

Received 20.04.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Torobekov, Okhotnikov V.I. Development of stand automated point weight control (APWC). *Izvestiya KGTU im. I. Razzakova*, 2015, no. 3, pp. 144–148 (in Russ.).
- [2] Veber M. Freight traffic effect on road conditions in Russia (WIM — weight in motion on streets of Russia). *Vestnik transporta*, 2013, no. 2, pp. 42–44 (in Russ.).
- [3] Brazhnikova A.M., Brazhnikov A.M. Test bench development for study on road wear measurement principles. *Vestnik sovremennykh issledovaniy*, 2018, no. 11.1, pp. 217–222 (in Russ.).
- [4] Gruppya kompaniy “FizTekh” (in Russ.). URL: https://phystech.ru/about/articles/stat_576_85/ (data obrashcheniya: 11.03.2021).
- [5] Petyakina A.E. Weight control kontrol'. *Dorozhniki*, 2015, no. 3, pp. 42–46 (in Russ.).
- [6] Dol'nikova E.I., Safiullin R.N. Prospects of development and problems of intellectual systems for weight control of vehicles. *Aktual'nye 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.).
- [7] Senyanskiy M.V. Methodological features of weighing of cars on axes. *Zakonodatelnaya i prikladnaya metrologiya*, 2013, no. 1, pp. 36–45 (in Russ.).
- [8] Kirkolup E.R., Kharlamov I.V. Experimental research of the friable load offsets' effect on the vehicles' axial cargo changing. *Vestnik SibADI* [The Russian Automobile and Highway Industry Journal], 2019, vol. 16, no. 2, pp. 156–165 (in Russ.).

- [9] Zenov V.V., Starikov A.V. An automated system of dynamic weight and dimensional control trucks. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI: teoriya i praktika* [Current Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2018, vol. 6, no. 4, pp. 311–315 (in Russ.).
- [10] Sistema vesovogo kontrolya na dorogakh [System of road weight control]. *parktime.ru: website* (in Russ.). URL: <https://www.parktime.ru/sistema-vesovogo-kontrolya> (accessed: 11.02.2021).
- [11] Chmykh N.V., Abdullin V.A., Morozov I.A. Trial of using an automatic weight control system in the perm territory. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport Facilities. Ecology], 2020, no. 3, pp. 44–51 (in Russ.).

Kolchin I.A. — Student, Department of Computer Systems of Manufacturing Automation, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

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

Please cite this article in English as:

Kolchin I.A. Analysis of the problems of the current weighing system of cars in motion and their solution using the proposed method. *Politekhicheskiy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 05(58). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-05-699.html> (in Russ.).