

А.О. КОВАЛЕНКО,
М.Д. БАКНИН, О.Р. КУЗИЧКИН

**Алгоритмы определения
характеристик транспортных
средств по виброакустическим
сигналам**

УДК 625.745

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В данной статье рассматриваются алгоритмы обработки виброакустических сигналов для получения характеристик движущихся транспортных средств виброакустическим методом контроля. Рассматриваемые алгоритмы включают обнаружение автомобиля, подсчет количества его осей, определение типа, скорости и нагрузки по осям.

Исследования проведены при поддержке гранта Администрации Владимирской области № 334 от 29.09.2017 «Разработка системы динамического взвешивания транспортных средств».

Введение

Задача динамического измерения основных параметров транспортных средств, таких как скорость, тип и вес остается актуальной на сегодняшний день. Наибольшую трудность представляет проблема определения веса транспорта в движении. На данный момент контроль веса осуществляется либо стационарно с использованием автомобильных весов, либо динамически тензорезистивным методом контроля, но его практическая реализация позволяет производить контроль лишь точно на стационарных пунктах, которые не могут быть развернуты более масштабно в короткие сроки из-за сложностей установки и больших финансовых затрат.[1-3] Поэтому необходимо применение новых методов и алгоритмов для осуществления

мониторинга транспорта. В данной работе рассмотрены алгоритмы идентификации параметров транспорта по виброакустическим сигналам.

Алгоритмы обработки виброакустических сигналов для получения характеристик автомобиля

Алгоритмы обработки виброакустических сигналов можно разделить на несколько основных этапов, последовательное выполнение которых позволит идентифицировать параметры транспортного средства.

Было выделено восемь основных этапов:

- фильтрация и сглаживание данных с датчика;
- обнаружение автомобиля;
- идентификация отдельно каждой оси автомобиля;
- определение направления движения и позиционирования автомобиля;
- определение скорости;
- определение типа автомобиля;
- расчет нагрузки на каждую ось;
- определение общей массы транспортного средства.

Общая схема алгоритма обработки приведена на рисунке 1.

Рассмотрим каждый этап более подробно.

В первую очередь виброакустические сигналы, получаемые с акселерометра необходимо отфильтровать от низкочастотных и высокочастотных случайных городских шумов, а так же шумов создаваемых близлежащими заводами, железными дорогами или проводимыми ремонтными работами. Таким образом, целесообразнее всего выделить полосу частот, в которой сосредоточено наибольшее количество энергии вибраций создаваемых автотранспортом. Данная полоса была найдена в исследованиях[4] путем проведения спектрального анализа, который выявил наличие в спектре сигнала проезжающего автомобиля частотные составляющих практически от 0 до 4000Гц, но основная часть энергии была сконцентрирована в полосе от 750Гц до 1850Гц. Таким образом, для осуществления первичной фильтрации виброакустического сигнала подойдет полосовой фильтр имеющий уровень ослабления вне полосы пропускания не

ниже 60дБ. Например: полосовой эллиптический (фильтр Кауэра) или фильтр Чебышева первого рода, которые имеют крутой спад АЧХ в области перехода от полосы пропускания к полосе задерживания.

Следующим шагом для упрощения обработки является избавление от отрицательных значений, путем взятия модуля или возведения массива данных в квадрат, а так же сглаживание скользящим средним:

$$x_n = \frac{x_{n+s/2} + \dots + x_{n-1} + x_n + x_{n+1} + \dots + x_{n+s/2}}{s}, \quad (1)$$

где s – величина сглаживающего окна.

Оптимальная величина сглаживающего окна зависит от частоты дискретизации данных и составляет примерно 0,04с.

Для дальнейшей обработки данные необходимо перевести в нормированные единицы измерения. По оси времени в секунды, с учетом частоты дискретизации получения данных, а по величине в ускорения в м/с^2 .

Вторым этапом алгоритма обработки является обнаружение проезжающего автомобиля. Для этого в массиве полученных данных необходимо выявить периоды с высокой амплитудой вибраций. Сначала вычисляется порог обнаружения для каждой оси датчика, и после чего, значения, не превышающие порог обнаружения, обнуляются. Затем осуществляется поиск не нулевых значений и сравнение с максимальным и минимальным временными порогами. Минимальный временной порог фильтрует случайные значения превышающие порог обнаружения, а максимальный позволяет отделять транспортные средства движущиеся друг за другом. Величины этих порогов определяются экспериментальным путем и зависят от средней скорости и интенсивности движения. После этого формируется массив данных времени обнаружения каждого автомобиля.

Третий этап это определение количества осей обнаруженного автомобиля. Он осуществляется поиском локальных максимумов в диапазоне от времени обнаружения автомобиля до его полного проезда (обнуленного значения или следующего автомобиля).

Четвертый этап определение направления движения и позиционирования автомобиля требует наличия, как минимум трех

датчиков и будет подробно изучен и описан в наших дальнейших исследованиях.

Следующим этапом обработки является определение скорости транспортного средства. При наличии двух датчиков на известном расстоянии скорость определяется путем корреляции данных по соответствующим осям акселерометров по формуле (2):

$$B_s(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t-\tau) \cdot s(t) dt; \quad (2)$$

где $s(t)$ – исходный сигнал, а τ – время задержки.

Диапазон корреляции берется от времени обнаружения до полного проезда транспортного средства. Затем находится смещение максимума корреляционной функции, что соответствует времени задержки сигнала или времени проезда автомобилем расстояния между датчиками. По известному времени и расстоянию вычисляется скорость автомобиля.

$$v = \frac{S}{\Delta t}, \quad (3)$$

где v – скорость автомобиля;

Δt – время задержки;

S – расстояние между датчиками.

Тип автомобиля определяется путем подсчета количества осей определенных на третьем этапе и расчетом расстояний между ними, через время и определенную ранее скорость. Кроме того, тип может быть определен путем дополнительного спектрального анализа на интервале обнаружения. Так как грузовые автомобили имеют в частотном спектре дополнительные высокочастотные составляющие согласно [4]. Таким образом, на данном этапе формируется массив описывающий время обнаружения каждой оси автомобиля, его скорость и тип.

Далее осуществляется расчет нагрузки на каждую ось обнаруженного автомобиля. Так как величина амплитуды вибрации напрямую зависит от кинетической энергии автомобиля:

$$\frac{m \cdot v_1^2}{2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} + Q + E_S + E_B, \quad (4)$$

где

v_1 – скорость автомобиля до проезда по неровности;

v_2 – скорость автомобиля после проезда по неровности;

Q – энергия излучаемая в виде теплоты;

E_S – энергия перемещения колеса;

$E_в$ – энергия формирования виброакустической волны.

Зная скорость и некоторый постоянный коэффициент передачи энергии в виброакустическую волну k_n можно рассчитать нагрузку на каждую ось.

$$m = \frac{2 \cdot A^2}{k_n \cdot v^2}, \quad (5)$$

где:

m – нагрузка на ось;

A – амплитуда сигнала обнаруженной оси;

k_n – коэффициент передачи энергии в виброакустическую волну от общей энергии кинетической автомобиля;

v – скорость обнаруженного автомобиля.

Данный коэффициент определяется экспериментальным путем. Он зависит от типов грунта и расстояния от проезда автомобиля до датчика. Определение этого коэффициента и поиск данных зависимостей является направлением дальнейших исследований.

Заключительным этапом является суммирование нагрузок на все оси обнаруженного транспортного средства для определения полной массы автомобиля.

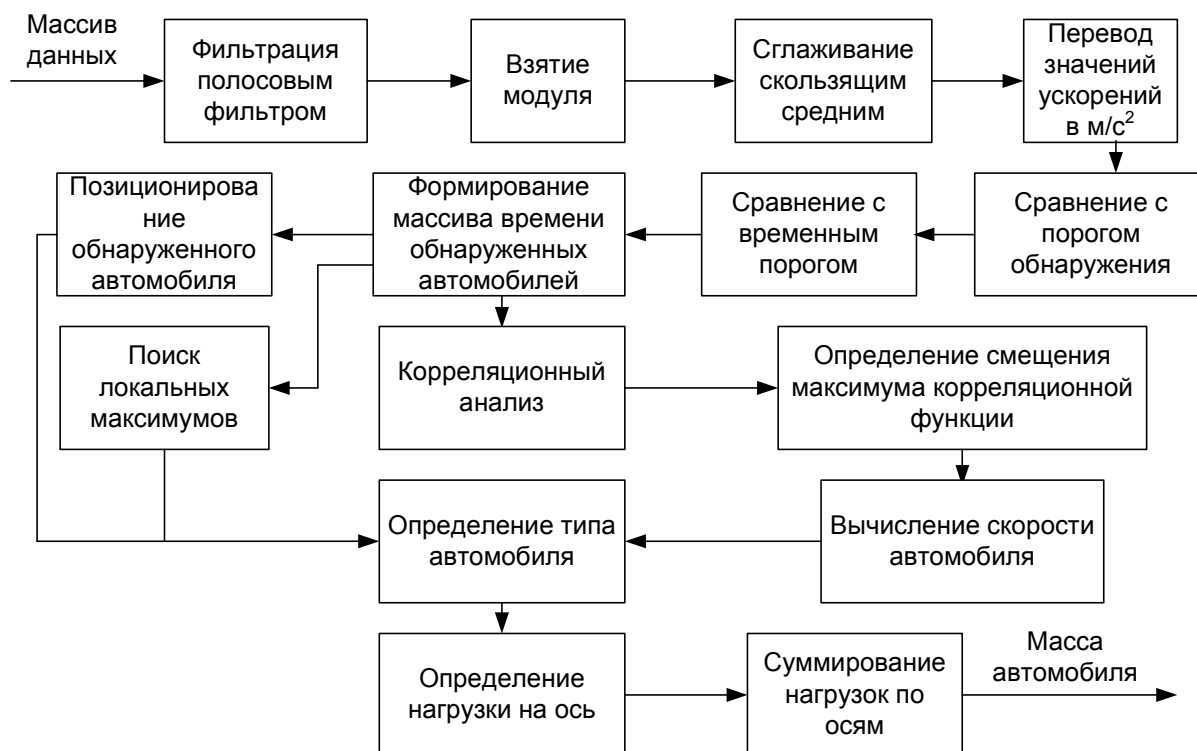


Рис.1 Алгоритмы обработки виброакустических сигналов для получения характеристик автомобиля.

Частично данные алгоритмы были реализованы при обработке данных собранных путем проведения экспериментальных исследований на одной из дорог города Муром и будут описаны в дальнейших публикациях.

Заключение

В данной статье были рассмотрены основные алгоритмы определения параметров транспортного потока по виброакустическим сигналам. Данные алгоритмы позволяют динамически определять такие параметры транспортного средства, как вес, скорость, количество осей и тип. Их применение упростит процедуру мониторинга транспортных потоков путем применения виброакустического метода контроля.

Целью дальнейших исследований является разработка алгоритмов позиционирования транспортных средств по трем датчикам и выявление зависимостей весовых характеристик автомобиля с учетом скоростных показателей и типов грунта от амплитудных составляющих виброакустической волны.

Литература

1. А. Э. Горев Информационные технологии на транспорте. Электронная идентификация автотранспортных средств и транспортного оборудования: учеб. пособие для студентов специальностей 190701 – организация перевозок и управление на транспорте, 190702 – организация и безопасность движения (автомобильный транспорт) / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 96
2. Коваленко А.О., Котов А.Н., Дорофеев Н.В. Виброакустический метод идентификации параметров автомобилей и транспортного потока // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности 2016 №2 с.20-23
3. Панова Ю.Н., Ивакин И.А. Использование интеллектуальных транспортных систем динамического весогабаритного контроля // Логистика - евразийский мост, материалы XI международной научно-практической конференции. Издательство: Красноярский государственный аграрный университет (Красноярск) 2016 с.193-198
4. Обертов Д.Е. Спектральный анализ данных с акселерометров для задач обнаружения и идентификации транспортных средств // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики 2012 № 6(82) с.44-50.