

УДК 004.9:681.267.3

И.В. Суровцев

Новая информационная технология поосного взвешивания автомобилей на платформенных весах

Рассмотрены технологии взвешивания транспортных средств на автомобильных весах. Предложены новая информационная технология поосного взвешивания на платформенных весах, методы цифровой фильтрации и моделирования тензометрического сигнала.

The existing weighing technologies vehicles on the car scales are considered. The new information technology of axle-by-axle weighing on the platform scales, the methods of a digital filtering and a tensiometric modeling signal are proposed.

Розглянуто технології зважування транспортних засобів на автомобільних вагах. Запропоновано нову інформаційну технологію поосного зважування на платформних вагах і методи цифрової фільтрації та моделювання тензометричного сигналу.

Введение. Интеграция в мировую экономику приводит к значительному росту крупнотоннажных автомобильных перевозок и, как следствие, увеличению интенсивности износа и разрушению автомобильных дорог. Порядок выполнения весового контроля и осуществление оплаты за проезд дорогами общего пользования с отечественных и иностранных автотранспортных средств, для которых общая масса, нагрузки на одиночную, сдвоенную или строенную оси превышают нормативные, регулируется законом о едином сборе в пунктах пропуска через государственную границу. Для взвешивания транспортных средств используют платформенные статические и поосные автомобильные весы в движении.

Коммерческое определение общей массы большегрузных автомобилей выполняют в статическом режиме на платформенных весах среднего класса точности при использовании медленнодействующего электронного прибора считывания значения веса с тензометрических датчиков. Для платформенных весов грузоподъемностью 30–40 т, 60–80 т, 100–120 т ошибка взвешивания общей массы составляет ± 10 , ± 20 , ± 40 кг соответственно.

При взвешивании на поосных весах автомобиль проезжает по весам или становится каждой осью на весы (длиной 0,7–0,9 м), быстродействующий электронный прибор считывает значения веса с тензометрических датчиков и

передает их в компьютер для определения поосных нагрузок. В соответствии с заданной схемой расположения осей автомобиля, подсчитываются суммарные значения сдвоенных, строенных осей и общей массы. Для поосных весов при взвешивании в движении ошибка определения поосных нагрузок для класса точности 0,5 составляет ± 120 кг, а ошибка определения общей массы – ± 280 кг.

Значительная погрешность определения общей массы автомобиля на поосных весах вынуждает устанавливать на Международных автомобильных пунктах пропуска (далее – МАПП) как статические платформенные весы, так и поосные весы, что значительно увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты на их содержание.

Автором была разработана информационная технология взвешивания автомобилей в движении для поосных весов и для статического взвешивания на платформенных весах. Созданное программное обеспечение автоматизированного рабочего места (АРМ) было внедрено и эксплуатируется по настоящее время на многих МАПП: «Ягодин–Дорогуск *PL*» Вольнской таможни; «Мамалыга–Кривая *MD*», «Росошаны–Бричень *MD*» Черновицкой таможни; «Табаки–Мирное *MD*» Одесской таможни.

Анализ методов взвешивания автомобилей показывает, что необходимо дальнейшее совершенствование весовых технологий. Одно из

возможных решений этой проблемы – использование системы поосного взвешивания транспортных средств на платформенных весах [1].

Новая информационная технология взвешивания автомобиля состоит из подсистемы заезда на платформу, остановки и коммерческого определения общей массы, подсистемы съезда с платформы. Во время движения автомобиля по платформе быстродействующий электронный прибор считывает текущие значения веса с тензометрических датчиков и передает сигнал в компьютер для определения значений поосного взвешивания, которые уточняются по значению общей массы автомобиля. Полученные значения сохраняются и передаются в существующие информационные системы.

Математическая постановка задачи

Во время заезда автомобиля на весовую платформу (съезда с платформы), как правило, состоящей из нескольких секций, сигнал динамического взвешивания с тензометрических датчиков представляет собой непрерывно возрастающий (убывающий) нестационарный сигнал, зашумленный автоколебаниями секций весовых платформ, шумом датчиков и аналогоцифрового преобразователя (АЦП) прибора.

Рассмотрим процесс обработки сигнала динамического взвешивания в подсистеме заезда автомобиля на платформу. В подсистеме съезда с платформы процесс обработки сигнала выполняется аналогично, только порядок следования и анализа осей обратный.

Используем методы цифровой фильтрации данных для устранения аperiодических шумов сигнала динамического взвешивания. В результате получим строго возрастающий исходный сигнал по времени – зависимость изменения нагрузки на платформу w по времени t

$$w = f(t). \quad (1)$$

Воспользуемся принципом структурирования данных теории редукции [2] и преобразуем сигнал (1) в обратную функцию

$$t = f(w). \quad (2)$$

Поскольку сумма поосных значений динамического взвешивания m осей автомобиля

должна равняться общей массе автомобиля, то используя индуктивные методы теории редукции для обнаружения скрытых в сигнале закономерностей [3], представим сигнал (2) как сумму функций $\Delta T_i(w)$, моделирующие значения сигнала для i -й оси взвешивания

$$t = f(w) = \sum_{i=1}^m \Delta T_i(w). \quad (3)$$

Таким образом, для решения данной задачи требуется найти параметры моделей, описывающие функции $\Delta T_i(w)$, что даст возможность предельно сократить объем сохраняемой информации, достаточной для восстановления исходного сигнала взвешивания. Причем сумма найденных поосных значений динамического взвешивания должна равняться общей массе автомобиля при статическом взвешивании.

Решение задачи

В качестве примера будем рассматривать исходный сигнал динамического взвешивания при заезде двухосного автомобиля на платформу, представленный на рис. 1.

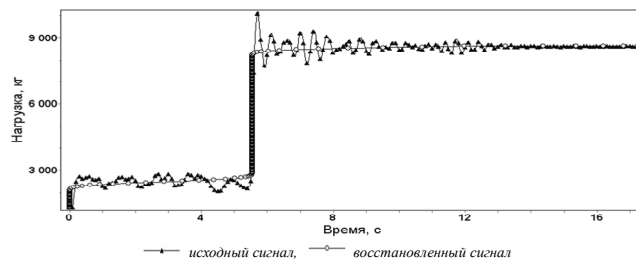


Рис. 1. Исходный и восстановленный сигнал взвешивания

Поскольку физически сигнал $w = f(t)$ по своей природе возрастающий, то к нему можно применить метод цифровой гистограммной фильтрации [4], позволяющий устранить автоколебания секций весовой платформы и другие шумы во время нестационарного движения или остановки автомобиля.

На основе принципов теории редукции [2] будем рассматривать сигнал $t = f(w)$ как интегральную сумму (3), которую необходимо определить. Для этого преобразуем строго возрастающий сигнал (2) в дифференциальный график, а именно в функцию $\Delta T(w)$:

$$\Delta T(w) = \frac{df(t)}{dw} = \frac{\Delta t}{\Delta w}. \quad (4)$$

Фактически эта величина представляет собой интенсивность взвешивания во времени (в мс) каждого интервала нагрузки, равного дискретности отсчета веса (в нашем случае $\Delta w = d$, где $d = 10$ кг – дискретность отсчета веса электронным прибором). Общий вид графика сигнала интенсивности, сглаженного методом текущего среднего и построенного по формуле (4), представлен на рис. 2.

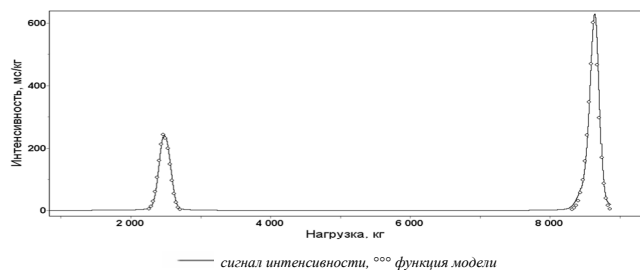


Рис. 2. Сигнал интенсивности и функция модели

Каждая последовательная точка максимума графика соответствует интегральному весу соответствующей оси, а число точек максимума будет равняться числу взвешенных осей автомобиля.

Моделирование сигнала взвешивания

В качестве аппроксимирующего полинома [2] для функции $\Delta T(w)$ используем линейную сумму моделей $p_j(w)$, аппроксимирующих сигнал интенсивности j оси

$$\Delta T = \sum_{j=1}^m p_j(w). \quad (5)$$

Аналогично анализу электрохимического сигнала, детально описанного в [5], будем считать, что сигнал интенсивности для каждой оси в искомой точке w_0 подчиняется нормальному закону распределения случайной величины с высотой H и дисперсией σ .

Представим функцию модели $p_j(w)$ в виде

$$p(w) = H \cdot \exp\left[-\frac{(w-w_0)^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (6)$$

Используем метод наименьших квадратов (МНК) для определения параметров плотности

нормального распределения. Особенность используемого алгоритма [5] дает возможность определения параметров плотности распределения не по всем исходным точкам сигнала, а только по точкам близко лежащим к вершине сигнала, порядка 12–20 точек с разных сторон от точки максимума.

По результатам расчета данного примера аппроксимирующий полином $\Delta T(w)$, для сигнала интенсивности представленного на рис. 2, получен в следующем виде

$$\Delta T(w) = 0,164 \cdot \exp\left[-\frac{(w-2490)^2}{2 \cdot (119,0)^2}\right] + 0,391 \cdot \exp\left[-\frac{(w-8640)^2}{2 \cdot (116,8)^2}\right]. \quad (7)$$

При этом число точек расчета для каждой модели выбирают в соответствии с правилом 3σ для плотности нормального распределения.

На рис. 2 представлен график функции модели $\Delta T(w)$ и сигнал интенсивности взвешивания. Результаты моделирования сигнала интенсивности функцией модели в виде плотности нормального распределения дали следующие среднеквадратические ошибки аппроксимации (СКО₁ и СКО₂):

$$\text{СКО}_1 = 0,000173; \text{СКО}_2 = 0,000824, \quad (8)$$

что меньше одного процента от значения H для каждой модели.

Исходя из формул (2) и (4) интегральная сумма $t = f(w)$ может быть представлена как площадь кривой интенсивности $\Delta T(w)$ по всем N точкам нагрузки $w_i < W_{\max}$, где W_{\max} – коммерческое значение общей массы автомобиля в режиме статического взвешивания

$$t = f(w) = \int_0^{W_{\max}} \Delta T(w) dw = \sum_{i=1}^N \Delta T(w_i). \quad (9)$$

По формуле (9) была рассчитана обратная функция (2) и получен восстановленный сигнал (1), представленный на рис. 1, который показал достаточно полное совпадение его с исходным сигналом $w = f(t)$.

Таким образом, результаты моделирования кривой интенсивности взвешивания, практическое совпадение исходного и восстановленного сигнала подтверждают правомерность использования структурированных данных и индуктивных методов теории редукции [2, 3] для решения данной задачи. При этом достигается предельное сокращение объема информации, которое достаточно для восстановления сигнала. Так, для восстановления исходного сигнала взвешивания двухосного автомобиля необходимо всего девять параметров: w_{01} , σ_1 , H_1 для первой модели; w_{02} , σ_2 , H_2 для второй модели; значение W_{\max} (общая масса автомобиля в статике); N (число точек сигнала взвешивания); значение d (дискретность весового отсчета электронным прибором).

Определение поосных нагрузок взвешивания автомобиля

Поосные нагрузки автомобиля для N_{os} осей определяются по разности найденных значений абсцисс точек максимума w_{0j} функций модели $p_j(w)$, аппроксимирующих сигнал интенсивности j оси:

при наезде на платформу G_j

$$G_j = w_{0j} - w_{0j-1}, \quad (j = 1, \dots, N_{os};$$

$$w_{00} = 0; \quad w_{0N_{os}} = W_{\max}), \quad (10)$$

при съезде с платформы B_j

$$B_j = w_{0j} - w_{0j-1}, \quad (j = 1, \dots, N_{os};$$

$$w_{00} = W_{\max}; \quad w_{0N_{os}} = 0). \quad (11)$$

Для предложенной технологии поосного взвешивания, когда платформа автомобильных весов располагается на одном уровне с поверхностью дорожного покрытия, будем считать, что полученные значения поосных нагрузок для j оси при наезде на платформу G_j и при съезде с платформы B_j – равноточны. Исходя из этого, расчетными значениями поосных нагрузок W_{os_j} будут средние значения

$$W_{os_j} = (G_j + B_j) / 2. \quad (12)$$

Рассмотренную автором технологию можно применить также для случая, когда используется весовая платформа с эстакадным, бесфундаментным вариантом установки или платформа установлена на сборный фундамент из железобетонных плит. Во всех этих случаях платформа располагается на некоторой высоте над уровнем дорожного полотна и комплектуется двумя пандусами для заезда и съезда автотранспорта.

Для указанных вариантов использования весовой платформы при заезде на платформу и съезде с платформы через пандусы центр тяжести автомобиля будет перераспределяться, а это значит, что поосные значения нагрузок для j оси при наезде на платформу G_j и при съезде с платформы B_j будут отличаться, а также будут неравноточными. Наиболее точными будут измерения нагрузок осей, когда почти весь автомобиль располагается на платформе.

Исходя из этого, расчетными значениями поосных нагрузок W_{os_j} будут средние значения для неравноточных измерений, которые могут быть рассчитаны, например, по такой зависимости

$$W_{os_j} = \frac{j \cdot G_j + (N_{os} - j + 1) \cdot B_j}{N_{os} + 1}. \quad (13)$$

Для двухосного автомобиля, согласно формуле (13), поосные нагрузки W_{os_j} будут определяться по зависимостям:

$$W_{os_1} = (G_1 + 2 \cdot B_1) / 3; \quad W_{os_2} = (2 \cdot G_2 + B_2) / 3.$$

Для таких весов обязательно условие – использование быстродействующего режима динамического взвешивания как во время наезда, так и во время съезда автомобиля с платформы.

Заключение. Созданная новая информационная технология поосного взвешивания на платформенных автомобильных весах позволяет определять в статике общую массу автотранспортных средств (автомобилей, прицепов, полуприцепов) с точностью, необходимой для коммерческого учета веса.

Использование предложенных методов цифровой фильтрации и селекции данных дает возможность исключить шумы дискретизации быстродействующего электронного прибора, учесть влияние бокового ветра и вибрации платформы. Методы моделирования тензометрического сигнала и уточнение значений поосных нагрузок при заезде на платформу и съезде автомобиля с платформы позволяют наиболее точно определять поосные значения взвешивания.

По заданной схеме расположения осей автомобиля определяются значения нагрузки для одиночных, двоянных и строенных осей, данные взвешивания сохраняются и передаются в существующие информационные системы.

Таким образом, на МАПП отпадает необходимость установки отдельно поосных и платформенных весов. Показано, что нужный результат взвешивания получен при использовании одних платформенных автомобильных весов. Кроме того, технология позволяет определять общую массу и поосные нагрузки для автотранспортных средств, перевозящих жидкие и сыпучие грузы.

Преимущество предложенной информационной технологии взвешивания в том, что она может быть использована на уже установленных и эксплуатируемых или на новых автомобильных весах, путем установки быстродейст-

вующего электронного прибора и специализированного программного обеспечения. При этом не требуется разрабатывать специальную форму конструкции платформы и устанавливать вспомогательные устройства для идентификации осей, что значительно уменьшает стоимость и время процесса взвешивания.

1. Патент № 106013 України. МПК G01G 19/02. Система поосового зважування на платформних вагах / І.В. Суровцев, О.В. Бабак, О.Є. Татарінов, Ю.А. Крижановський. – Опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.
2. Васильев В.И., Суровцев И.В. Индуктивные методы обнаружения закономерностей, основанные на теории редукции // УСиМ. – 1998. – № 5. – С. 3–14.
3. Васильев В.И., Суровцев И.В. Практические аспекты теории редукции в задачах обнаружения и моделирования закономерностей // УСиМ. – 2001. – № 1. – С. 6–15.
4. Патент № 96367 України. МПК G01N 27/48. Спосіб гістограмної цифрової фільтрації хронопотенціометричних даних / І.В. Суровцев, В.М. Галімова, О.В. Бабак. – Опубл. 25.10.2011. Бюл. № 20.
5. Суровцев И.В., Татарінов А.Э., Галімов С.К. Моделирование дифференциальных хронопотенциограмм суммой нормальных распределений. // УСиМ. – 2009. – № 5. – С. 40–45.

Поступила 15.01.2015
Тел. для справок: +38 044 526-4187 (Киев)
E-mail: dep175@irtc.org.ua, igorsur52@gmail.com
© И.В. Суровцев, 2015

Внимание !

**Оформление подписки для желающих
опубликовать статьи в нашем журнале обязательно.**

В розничную продажу журнал не поступает.

Подписной индекс 71008