

ВИРТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ВЕСОВ

VIRTUAL CONTROL SYSTEM COMBINED WEIGHTS

**A. Davidenko
V. Zueva
D. Karlov**

Summary. Currently, the development of information technologies associated with the use of virtual devices in combined weights is occurring at an accelerated pace.

Combined scales are scales that can measure the weight, both in a static position and when the vehicle is moving. Combined truck scales have high measurement accuracy under all weighing conditions.

The computer is equipped with a set of hardware and software implementing the functions of information-measuring system. The hardware measuring part is realized in the construction of an external device or the motherboard of an industrial computer.

Keywords: combined vehicle scales, load receptor, analog filter, digital filter, strain gauge sensor, virtual control system, active filters on switchable capacitors.

Давиденко Алексей Николаевич

*К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Армавирский государственный педагогический университет»
andavidenko@mail.ru*

Зуева Виктория Николаевна

*К.т.н., доцент, Армавирский механико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»;
victoria_zueva@list.ru*

Карлов Дмитрий Николаевич

*К.т.н., доцент, Армавирский механико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»
karlov-dima@mail.ru*

Аннотация. В настоящее время ускоренными темпами происходит развитие информационных технологий связанных с применением виртуальных приборов в комбинированных весах.

Комбинированные весы — это весы, которые могут производить измерения веса, как в статическом положении так и при движении транспортного средства. Комбинированные автомобильные весы имеют высокую точность измерения при любых условиях взвешивания.

Компьютер оснащается набором аппаратных и программных средств реализующих функции информационно-измерительной системы. Аппаратная измерительная часть реализуется в конструктиве внешнего прибора или материнской платы промышленного компьютера.

Ключевые слова: комбинированные автомобильные весы, грузоприемное устройство, аналоговый фильтр, цифровой фильтр, тензометрический датчик, виртуальная системы управления, активные фильтры на переключаемых конденсаторах.

Развитие виртуальных систем управления комбинированных весов в движении выведет измерение веса на новый качественный уровень, что является актуальной задачей [10, с. 336; 3, с. 29; 5, с. 85].

Сложность реализации виртуальной системы (прибора) комбинированных весов в движении заключается в том, что фильтрацию полезного сигнала необходимо осуществить за время, которое соизмеримо с периодами помех возникающих при движении транспортных средств [6, с. 95; 11, с. 34]. Реализация универсальных средств ввода вывода сигналов, наличие специализированного аппаратно измерительного комплекса и программного обеспечения позволит реализовать комби-

нированные весы в движении на качественно новом уровне.

Комбинированные весы в движении Рис 1. содержат: весовую платформу (размеры которой зависят от типа весов), датчики положения, видеокамеры, светофоры въезд/выезд, информационное табло, устройство дискретного ввода-вывода, рабочее место весовщика, внешний прибор, компьютер.

Взвешивание в движении осуществляется следующими типами весов: комбинированные весы для взвешивания транспортного средства (вагона, автомобиля рисунок 1) весы для потележечного взвешивания (тележки

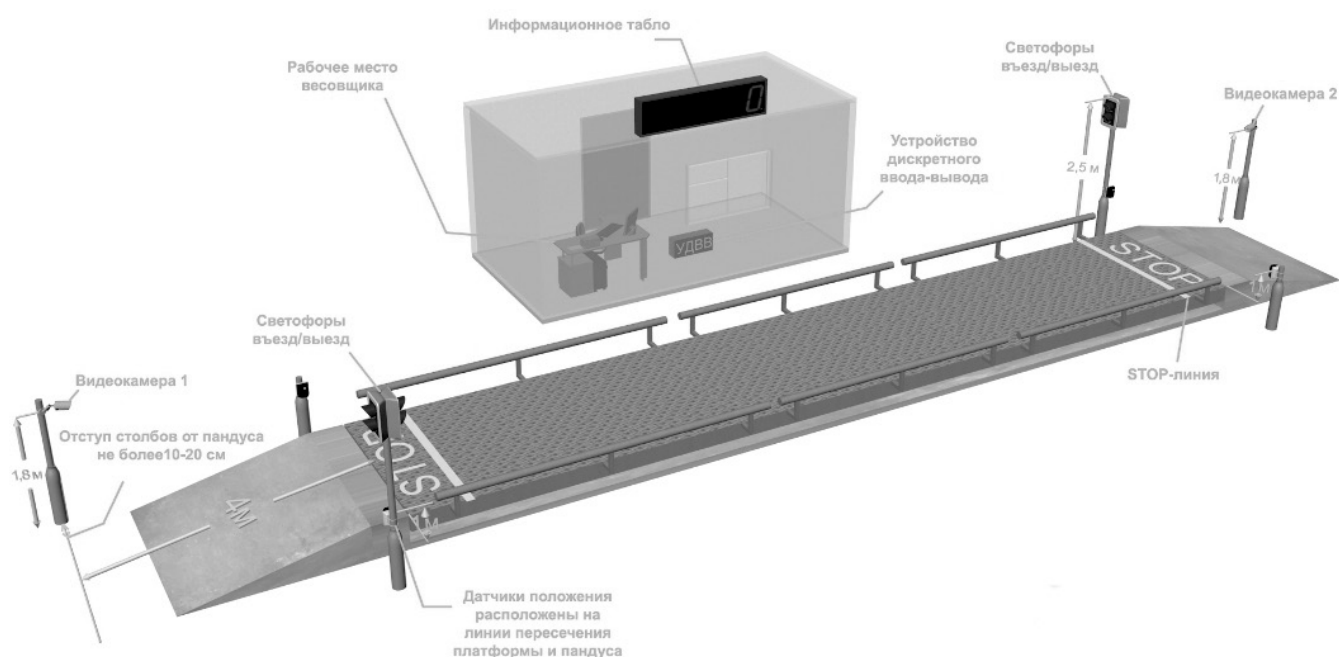


Рис. 1. Комбинированные весы

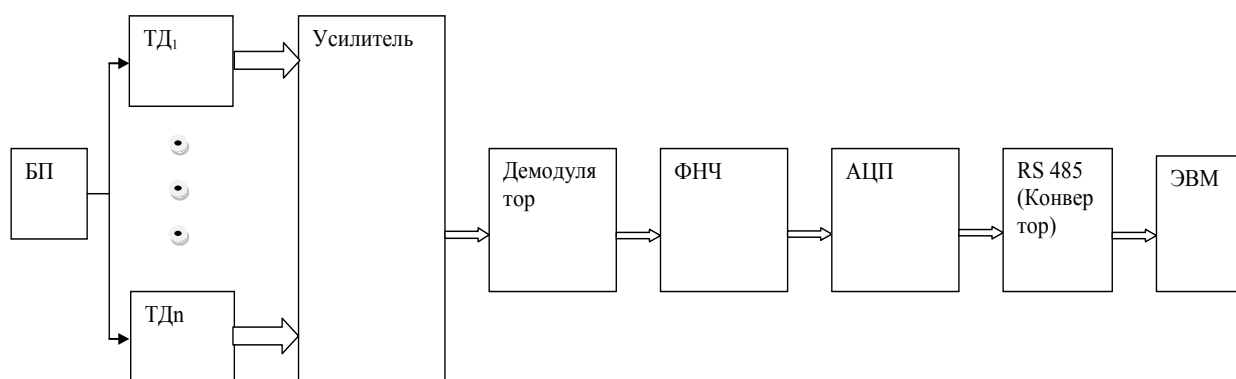


Рис. 2. Структурная схема виртуальной системы управления комбинированных весов

вагона, моста автомобиля), весы для поосного взвешивания.

Структурная схема виртуальной системы управления комбинированных весов (Рис. 2) предусматривает наличие внешнего прибора, который содержит: блок питания для подачи опорного напряжения U_{op} для питания тензодатчиков (ТД), усилителя сигналов, демодулятора,

фильтра низкой частоты (ФНЧ), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), интерфейс типа RS485 подключенного к входу ЭВМ.

Основные требования к АЦП — быстродействие и разрядность, которые должны сочетаться с дискретностью и числом поверочных делений ТД. ФНЧ должен осуществить фильтрацию сигнала за время сопостави-

мое с периодом помех и периодом обработки сигнала T_o [11, с. 32].

$$T_o[\text{сек}] = 3,6 * \frac{L_n[\text{м}]}{V[\text{км/ч}]} \quad (1)$$

Где

L_n — полезный путь;

V — скорость движения объекта.

Интерфейс типа RS-485 обеспечивает подключение ко входу ЭВМ оцифрованных значений сигнала.

Питания ТД переменным напряжением U_{op} синусоидальной формы позволяет уменьшить влияние напряжения смещения и дрейфа. Использование измерительно-го усилителя с несущей частотой (200–500Гц) позволяет улучшить как минимум в 10 раз стабильность нулевой точки весов по сравнению с постоянным U_{op} напряжением питания ТД.

Применение усилителя со стабильным нулем позволяет повысить разрешающую способность весов. Демодулятор осуществляет демодуляцию сигнала несущей частоты (выпрямляет) в сигнал полуволнового напряжения, с последующей фильтрацией ФНЧ [4].

Рассмотрим основные требования, которые необходимо предъявить к ФНЧ от воздействия динамических помех.

Основными методами обработки сигнала являются: применение аналоговых низкочастотных фильтров, интегрирование с весовой функцией, цифровая фильтрация.

Спектр выходных сигналов тензодатчика от динамической помехи определяется колебаниями вагонных весов $\Delta f = f_n \div f_s = 3 \div 8 \text{Гц}$, а платформы автомобильных весов охватывают диапазон $1,3 \div 2,5 \text{Гц}$, с относительными амплитудами

$$A = \frac{A_n}{A_0} = 0,05 \div 0,1,$$

где A_n — амплитуда колебаний, а A_0 — постоянная составляющая сигнала тензодатчика, от статического веса [9, с. 151], таким образом диапазон динамических помех будет $\Delta f = 1,3 \div 8 \text{Гц}$.

В настоящее время широкое применение находит новый класс ФНЧ на переключаемых конденсаторах в низком диапазоне частот [1].

Применение ФНЧ на переключаемых конденсаторах для фильтрации сигнала при взвешивании железнодорожного и автомобильного транспорта позволит

обеспечить высокую точность взвешивания за счет подавления низкочастотных колебаний при взвешивании. Сущность фильтрации сигнала на переключаемых конденсаторах состоит в интегрирующих емкостях $C1$, $C2$ коммутируемых с помощью ключей.

Ключи реализуются на МОП транзисторах, которые управляются от генератора вырабатывающего непрерывающиеся последовательности импульсов.

Период следования импульсов управления T_T , т.е. частота коммутации

$$f_T = \frac{1}{T_T}.$$

Постоянная времени интегрирования определяется частотой коммутации и отношением емкостей

$$\tau = \frac{C2}{f_T * C1}.$$

Частота коммутации f_T значительно выше частоты входного сигнала, поэтому входное напряжение принимается постоянным и неизменным. Частота среза фильтра перестраивается за счет частоты генератора тактовых импульсов, так частота f_T задается в 100 раз больше частоты среза фильтра. Микросхема МАХ 291ФНЧ Баттерворта восьмого порядка, МАХ 292 ФНЧ фильтр Бесселя 8-го порядка обеспечивает малый уровень выбросов и имеет быстрое время установления, диапазон рабочих частот 0,1Гц до 25кГц, напряжение питания $\pm 5\text{В}$, температурный диапазон от -40°C до -86°C .

Коэффициент передачи интегратора зависит от соотношения значений емкости двух конденсаторов, коммутируемый конденсатор имитирует входной резистор схемы с сопротивлением равным

$$R = \frac{1}{f_T * C1},$$

кроме этого f_c (частота среза ФНЧ)

$$f_c = f_T \frac{C1}{2\pi * C2}$$

на уровне (-3дБ) формируется за счет изменения частоты коммутации. ФНЧ на переключаемых конденсаторах построен на основе метода переменного состояния, частота которого пропорциональна коэффициенту передачи интегратора. Использование фильтров на переключаемых конденсаторах дает выигрыш в габаритах, стоимости и точности.

Блок питания вырабатывает синусоидальный сигнал заданной амплитуды и частоты. Формирование синусоидального сигнала для амплитудной модуляции сигнала ТД, получаем из меандра, путем деления частоты

кварцевого генератора, применяя фильтр на переключающихся конденсаторах. Фильтрация осуществляется выделением первой гармоники сигнала, за счет подавления высоких гармонических составляющих. Высокая точность частоты за счет кварцевого генератора и низкий коэффициент гармоник, позволяет поддерживать частоту и амплитуду синусоидального U_{op} сигнала ТД в заданных точностных параметрах.

Динамические помехи вызванные колебаниями грузоприемной платформы относятся к помехам нормального вида (синусоидальный) $Ug(t) = U_{nm} * \sin(\omega_{nm} * t + \varphi_{nm})$, где U_{nm} , ω_{nm} , φ_{nm} есть амплитуда, частота и фаза помехи [9, с. 152] амплитуда и фаза которых является нормальным (гауссовым) случайным процессом.

Достоинством применения метода аналоговой и цифровой фильтрации есть простота схемной реализации и программного обеспечения.

Измерительный сигнал представляет собой $U_{вых}(t) = U_0 + Ug(t)$, U_0 — статический сигнал, $Ug(t)$ — сигнал помех, статический сигнал (полезный) отличается от сигнала помехи и содержит только постоянную составляющую, сигнал помехи меняется во времени и не содержит постоянной составляющей.

Базовый способ обработки измерительного сигнала для устранения влияния вибропомехи заключается в низкочастотной фильтрации, как можно более низкой частоты среза.

Оцифрованное среднее значение арифметическое сигнала помехи

$$Ug(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ug(\Delta t),$$

где N — количество отчетов в реализации, Δt — шаг по времени между взятием отчетов.

Алгоритм вычисление среднего значения

$$U_{вых}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n U_0 + Ug(\Delta t) = U_0 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n Ug(\Delta t) = U_0 + \delta(N),$$

где $\delta(N)$ — абсолютная погрешность получаемая от усреднения по N отчетам.

Конкретное значение N , при которой $\delta(N)$ не превышает заданного значения может определяться исходя из статической информации $Ug(\Delta t)$, как случайного процесса. Таким образом сигнал полученный от ТД содержит кроме статической доли также динамическую долю, которую можно отфильтровать аналоговым фильтром, оцифровать, а затем цифровым ФНЧ усреднить, при этом динамическая доля передается в виде помехи нормаль-

ного вида. Следует отметить, что подавление помехи при любом методе обработки возможно, если в упругом элементе ТД выполняется принцип линейной суперпозиции.

Для определения основных параметров системы управления примем, что частотный диапазон помехи составляет $\Delta f = f_n \div f_s = 1 \div 10 \text{ Гц}$.

Период обработки сигнала

$$T_a[\text{сек}] = 3,6 * \frac{L_n[\text{М}]}{V[\text{км/ч}]} = 3,6 * \frac{6}{8} = 2,7 \text{ сек}$$

Аналоговый ФНЧ, фильтр Бесселя 8-го порядок, при $f_c = 1 \text{ Гц}$, время нарастания $0,7c$, таким образом время обработки сигнала (окна) $t_o = 2 \text{ сек}$ Для ФНЧ на переключаемых конденсаторах при $f_c = 1 \text{ Гц}$, $f_T = 100 \text{ Гц}$

Период дискретизации для АЦП [2, с. 160],

$$T \leq \frac{\pi}{\omega_s} \leq \frac{1}{2f_s}$$

принимаем

$$T = \frac{1}{2f_s} = \frac{1}{2 * 10} = 0,05c.$$

Число отчетов АЦП для расчета нерекурсивного фильтра

$$N = \frac{t_o}{T} = \frac{2}{0,05} = 40.$$

где $N = 40$ значений сигнала передаваемого цифровым кодом АЦП. Нерекурсивный цифровой фильтр выполняющий операцию усреднения имеет АЧХ [9, с. 151]

$$|W(j\Omega_s)| = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{N/2} \cos\left(\frac{2k-1}{2} \Omega_s\right)$$

где $\Omega_s = \omega * T$, T — время между отчетами.

При цифровой фильтрации проявляется эффект наложения, который выражается в том, что не ослабляются четные высокие гармоники (равные половине частоты дискретизации), эффект наложения проявляется и зависит от спектра частоты входного сигнала. Использование аналогового ФНЧ Бесселя 8 порядка $f_c = 1 \text{ Гц}$ на частотах $f = 10f_c$ осуществляет подавление сигнала на 114 дБ, т.е. использование аналоговой и цифровой фильтрации усиливает подавление всего диапазона помех. При этом необходимо учитывать время обработки должно быть не менее, чем два периода колебаний низкочастотной сигнала помехи. Применение низкочастотных рекурсивных ЦФ [2, с. 160; 7, с. 210] с различными значениями весовых коэффициентов можно рассчитать степень подавления до 100 дБ в полосе частот 1.10Гц. применение АЦП быстродействием более 400 отсчетов в секунду при



Рис. 3. Алгоритм обработки сигнала вибрационной помехи виртуальной системы управления комбинированных весов в движении.

разрешающей способности $0,5 \cdot 10^6$, что позволяет решать задачу фильтрации динамических помех от колебаний платформы виртуальных весов в движении на качественно новом уровне (рисунок 3).

Использование модуля комбинированных автомобильных весов с платформой $L=6\text{м}$ позволит производить контрольную поверку полученных данных при взвешивании в движении путем статического взвешивания и определения нагрузок на оси для автомобилей с различным числом осей.

При применении комбинированных автомобильных весов состоящей из нескольких модулей, размер окна

для взвешивания в движении корректируется с учетом базового и межосевого расстояния автомобилей [8, с. 124].

Разработка и использование специализированных микросхем на переключаемых конденсаторах ФНЧ с необходимыми АЧХ и минимальным временем восстановления совмещенных с АЦП позволит стабильно и качественно в минимальном объеме и стоимости производить взвешивание в движении. Развитие направления аналоговой и цифровой фильтрации в виртуальной системе управления комбинированных весов является перспективным направлением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гауси М., Лакер К. Активные фильтры с переключаемыми конденсаторами. М.: Радио и связь, 1986.
2. Гольденберг, Лев Моисеевич. Цифровые фильтры [Текст] / Л. М. Гольденберг, Ю. П. Левчук, М. Н. Поляк. — Москва: Связь, 1974.
3. Давиденко А.Н., Давиденко П. Н. Виртуальный прибор по проверки цифровых тензодатчиков весоизмерительных систем. Проектирование и технология электронных средств. Владимир. 2017.
4. Давиденко А.Н., Давиденко П. Н. Электронные весы. Патент РФ RU2517793 С2 МПК G01G 19/413. Опубл. 27.5.2014.
5. Давиденко А.Н., Давиденко П. Н., Голодов Е. А., Лапшин Н. А., Метод безгирной поверки виртуальных электронных весов. Экономика и менеджмент систем управления. Воронеж. 2018.
6. Давиденко П.Н. /Исследование и разработка методов проектирования информационных систем на основе дозаторов дискретного действия// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Таганрог, 2005.
7. Зуева В. Н. Разработка объектно-ориентированной системы управления базами данных Научные труды Кубанского государственного технологического университета. 2016. № 8.
8. Зуева В.Н., Карлов Д. Н., Трухан Д. А., Теория информации и сигналов. Учебное пособие, — Армавир: Армавирский государственный педагогический университет, 2018.
9. Полунов Ю.Л., Гальченко В.Д. Цифровые измерительно-управляющие устройства тензометрических весов и дозаторов / Ю.Л. Полунов, В.Д. Гальченко. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
10. Раннев Г.Г., Тарасенко А. П. Методы и средства измерений. Учебник для вузов. — 2-е изд., стереотип. — М.: Академия, 2004.
11. Скалевой В.В., Скалевая Г. М. О повышении эффективности интегрального метода при взвешивании быстро движущихся объектов. — Приборы и системы управления, 1970, № 9.

© Давиденко Алексей Николаевич (andavidenko@mail.ru), Зуева Виктория Николаевна (victoria_zueva@list.ru),

Карлов Дмитрий Николаевич (karlov-dima@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»