

## Определение веса объекта в процессе его перемещения по измерительной платформе в условиях воздействия аддитивных помех

Приведено решение задачи определения веса объекта во время его перемещения по измерительной платформе в условиях воздействия аддитивных помех на силоприемные элементы. Задача решена путем оптимизации ширины окна наблюдения в процессе обработки информации об объекте взвешивания на основе анализа взаимодействия двух тел в замкнутой системе тел «объект - измерительная платформа» в инерциальной системе отсчета. Представлен алгоритм определения веса объекта.

**объект взвешивания, измерительная платформа, аддитивная помеха, инерциальная система отсчета**

Определение веса объектов во время их движения является важной частью различных технологических процессов во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. Специальное весоизмерительное оборудование используется для измерения веса автомобильных транспортных средств, железнодорожных вагонов, животных в прерывистом потоке и т.д.

При перемещении объекта через измерительную платформу на силоприемные элементы помимо веса  $G$  объекта взвешивания воздействует дополнительная сила  $F$ , вызванная колебаниями центра массы объекта вдоль осей координат и носящая динамический характер. Эта сила является аддитивной помехой для сигнала, несущего информацию о весе объекта взвешивания и достигает значения 20...30%.

**Анализ исследований и публикаций.** Динамическая составляющая аддитивной помехи может быть представлена в виде затухающей гармонической составляющей самой низкой частоты с амплитудой  $P_m$ . В этом случае, сила, воздействующая на датчики силы, определяется выражением:

$$F(t) = G + \sum_{i=1}^n P \cdot i \cdot e^{-d_i t} \cdot \sin(\omega_i t + \psi_i) + G_{пл}, \quad (1)$$

где  $G$  - вес объекта;

$P$  - амплитуда переменной составляющей нагрузки для  $i$ -той гармоники;

$d_i$  - декремент затухания;

$\omega_i$  - угловая частота;

$i$  - начальная фаза;

$G_{пл}$  - вес платформы.

При использовании тензометрических датчиков силы, выходное напряжение, поступающее с выхода датчиков, имеет величину:

$$U(t) = U_0 + K_{pu} G + K_{pu} P_m \cdot \sin(\omega_t + \psi), \quad (2)$$

где  $U_0$  - начальное выходное напряжение, обусловленное весом измерительной платформы,

$K_{pi}$  - коэффициент передачи (преобразования) датчика.

Становится очевидным, что, если не предпринимать специальных мер для уменьшения влияния аддитивной помехи на результаты измерения веса объекта, то связанная с ней относительная погрешность метода измерения будет определяться амплитудой  $P_m$  аддитивной помехи и может достигать значительной величины. Основная трудность подавления аддитивной помехи вызвана тем, что период аддитивной помехи мал и сравним со временем определения веса объекта.

**Постановка задачи.** Установлено, что существуют принципиальные отличия динамики процесса передвижения механических и биологических объектов [1]. Эти отличия определяют процесс формирования аддитивной помехи, которая является основным фактором, определяющим точность измерения веса движущегося объекта. Поэтому применение традиционных методов и средств подавления аддитивной помехи, используемых при измерении веса движущихся механических объектов [2,3], неэффективно при определении веса животных в движении. Из этого следует, что разработка метода обработки информации об объекте взвешивания, позволяющего повысить достоверность результатов измерений в условиях воздействия аддитивных помех, является актуальной задачей.

**Основная часть.** При реализации разработанного нами метода обработки информации об объекте взвешивания, учитывалось, что объект взвешивания и измерительная платформа образуют замкнутую систему тел, взаимодействующих в инерциальной системе отсчета. Для этой системы ускорение  $a$ , приобретаемое материальной точкой, прямо пропорционально действующей на тело силе  $F$ , обратно пропорционально массе  $m$  точки, и по направлению совпадает с силой  $F$  (второй закон Ньютона) [4]:

$$a = \frac{F}{m}, \quad (3)$$

где  $a$  - ускорение центра массы тела;

$m$  - масса тела.

Уравнение второго закона Ньютона в более общей форме имеет вид:

$$F = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}. \quad (4)$$

Если сила  $F$  постоянна, то

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}, \quad (5)$$

где  $\Delta t$  - промежуток времени, в течении которого на материальную точку  $m$  действовала сила  $F$ ;

$\Delta p = \Delta(mv)$  - изменение импульса тела за этот промежуток времени.

Сила  $F$ , действующая на тело массой  $m$ , равна изменению импульса тела  $\Delta p$  за единицу времени  $\Delta t$  и является мерой изменения импульса тела:

$$F\Delta t = \Delta p = \Delta(mv). \quad (6)$$

Поскольку замкнутая система тел: «измерительная платформа → объект взвешивания» состоит из двух тел, то результирующее ускорение  $a_{\Sigma}$ , получаемое телом массой  $m$  от воздействия на него нескольких сил, определяется выражением:

$$a_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}}{m_1 + m_2} . \quad (7)$$

Если в инерциальной системе отсчета рассматривается система, состоящая из  $n$  материальных точек, то на основании второго закона Ньютона

$$\frac{\Delta(m_1 \cdot v_1)}{\Delta t} = F_{12} + F_{13} + \dots + F_{1n} + F_{1внеш},$$

$$\frac{\Delta(m_2 \cdot v_2)}{\Delta t} = F_{21} + F_{23} + \dots + F_{2n} + F_{2внеш}$$

или:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta(m_i \cdot v_i)}{\Delta t} = F \sum_{внутр} + F \sum_{внешн} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = F \sum_{внутр} + F \sum_{внешн} , \quad (8)$$

где  $\Delta p$  - изменение суммарного импульса системы за промежуток времени  $\Delta t$ ;

$F \sum_{внутр}$  - сумма всех внутренних сил взаимодействия частей системы;

$F \sum_{внешн}$  - сумма всех внешних сил, действующих на тела системы.

Поскольку система: «измерительная платформа → объект взвешивания» является замкнутой, то  $F \sum_{внешн} = 0$ . Тогда:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = 0, \quad \text{или} \quad \Delta p = 0, \quad \text{или} \quad p = const , \quad (9)$$

что означает: в инерциальной системе отсчета суммарный импульс  $p$  замкнутой системы тел с течением времени не изменяется и равен нулю. Взаимодействие между объектом взвешивания и измерительной платформой приводит к изменению моментов импульсов объекта взвешивания и измерительной платформы, но на изменение суммарного импульса системы это взаимодействие влияния не оказывает. Поскольку импульс  $p$  системы равен произведению  $m$  массы системы  $m$  на скорость  $V_c$  ее центра масс:  $p = m \cdot V_c$ , то для замкнутой системы тел справедливо выражение:

$$V_c = const . \quad (10)$$

Поскольку сила  $F$ , приложенная к телу массой  $m$ , перемещает это тело на величину элементарного перемещения  $\Delta r$ , то скалярная физическая величина, равная

$$\Delta A = F \cdot \Delta r \cdot \cos \alpha \quad (11)$$

является элементарной работой  $\Delta A$  силы  $F$ , где  $\alpha$  - угол между векторами  $F$  и  $\Delta r$ .

Из выражения (11) следует, что в зависимости от ориентации векторов  $F$  и  $\Delta r$  элементарная работа  $\Delta A$  может быть величиной положительной, отрицательной или равной нулю. Полная работа  $A$  силы  $F$  на конечном перемещении  $\Delta r$  равна:

$$A = \sum_{i=0}^n F \cdot \Delta r_i \cdot \cos \alpha_i , \quad (12)$$

где  $n$  - число элементарных перемещений  $\Delta r_i$ , на которое разделено суммарное перемещение  $\Delta r$ ;

$\alpha_i$  - угол между вектором силы  $F$  и вектором элементарного перемещения  $\Delta r_i$ .

Из этого следует, что, согласно (9) в замкнутой системе тел в инерциальной системе отсчета нулю равен не только суммарный импульс  $p$ , но и суммарная работа  $A$ .

Принимая, что  $\Delta r = \Delta t = const$ , выражение (12) представим в виде:

$$\Delta A = F_i \cdot \Delta t_i \cdot \sin \alpha_i , \quad (13)$$

откуда следует, что момент импульса  $\Delta p$  за время  $\Delta t = const$  будет равен элементарной работе  $\Delta A$ . Соответственно, полная работа  $A$  за период времени  $T$  определяется выражением:

$$A = \sum_{i=1}^n F \cdot \Delta t_i \cdot \sin \alpha_i , \quad (14)$$

то есть, за период времени  $T$  полная работа  $A$  в замкнутой системе тел равна нулю:

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = 0; \quad \Delta A = 0; \quad A = const . \quad (15)$$

Из сказанного следует вывод, что:

- если за промежуток времени  $t_{2i} - t_{1i}$  суммарный импульс замкнутой системы тел «измерительная платформа → объект взвешивания» не изменился и  $p = A = 0$ , то период времени  $T_n = t_{2i} - t_{1i}$  следует принять в качестве интервала (ширины) окна наблюдения, в котором массы тел  $m_i$  замкнутой системы в инерциальной системе отсчета будут соответствовать своим истинным значениям.

В отношении аддитивной помехи, возникающей при измерении веса движущихся объектов, нами сделано следующее заключение:

- если период аддитивной помехи  $T_\delta$  будет равен ширине окна наблюдения  $T_n$ , то сумма элементарных работ аддитивной помехи будет равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i = 0; \quad \text{при } T_\delta = T_n , \quad (16)$$

то есть, аддитивная помеха не будет оказывать влияния на результаты измерения веса движущихся объектов. Поэтому, отношение ширины окна наблюдения  $T_n$  к относительному периоду аддитивной помехи  $T_\delta$  определяет погрешность метода измерения веса движущегося по измерительной платформе объекта. Из этого следует, что существует возможность создания алгоритма обработки результатов измерения с использованием метода адаптационного изменения ширины окна наблюдения. Такой алгоритм был нами разработан. Алгоритм работает следующим образом:

1. Найти экстремумы функции Э0 - Э8 (рис. 1). Экстремум Э4 является характерной точкой на графике функции динамической помехи и используется в алгоритме обработки полученной информации об объекте взвешивания.

2. Уровень Э4 принять базовым, относительно которого будут вычисляться суммы элементарных работ:

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i; \text{ принимаем: } G = \text{Э4}$$

3. Найти среднее арифметическое величин экстремумов Э1, Э2, Э6, Э7:

$$G1 = \frac{1}{4} \sum \text{Э1, Э2, Э6, Э7}.$$

4. На уровне G1 вычислить в первом приближении вес движущегося объекта. Величина погрешности  $\delta$  в первом приближении будет составлять не более 5% от веса объекта. Следует принять полученный результат за базовый уровень и относительно него в пределах  $\delta = \pm 2,5\%$  осуществлять адаптацию ширины окна наблюдения. Вес объекта в первом приближении:

$$m(G1) = \left(\frac{1}{4} \cdot \sum_{i=0}^n \Delta A_i\right) + G - G_{nl}.$$

5. Установить максимальную ширину окна наблюдения:

$$T_{\max} = T(G1 - \delta).$$

6. Итерация: вычислить сумму элементарных работ в окне наблюдения

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i.$$

7. Проверить условие У1 - сумма элементарных работ  $\Delta A$  в окне наблюдения равна нулю

$$\sum_{i=1}^n \Delta A_i = 0 \pm 1; \quad T_{opt} = T_i.$$

8. Выполнилось условие У1. Это означает, что ширина окна наблюдения является оптимальной:

$$T_{opt} = T_i.$$

9. Вычислить вес объекта. Перейти на пункт 12.

10. Условие У1 не выполнилось. Тогда проверить условие У2. При выполнении расширить границы изменения ширины окна наблюдения вдвое:

$$\delta_+ = \delta.$$

11. Если условие У1 не выполнилось, а в условии У2 достигнуто ограничение  $\delta = \delta_{\max}$ , то принять в качестве  $T_{opt} = T_i$  при  $A = A_{\min}$ .

12. Вычислить вес объекта во втором приближении:

$$G_0 = m(G_0) = \left(\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta A_i\right) + P - G_{пл}.$$

**Выводы.** Решена основная проблема - влияние аддитивной помехи на результат определения веса объекта во время его перемещения по измерительной платформе посредством использования эвристических алгоритмов обработки информации. В частности, разработан и применен метод оптимизации ширины окна наблюдения при обработке информации об объекте взвешивания.

## Список литературы

1. Грдина Я.И. Динамика живых организмов. Екатеринбург / Грдина Я.И. // ЕВГУ, 1910; "Известия ЕВГУ", 1910, вып. 1.
2. ГОСТ Р 8.603-2003 Государственная система обеспечения единства измерений. Весы для взвешивания автотранспортных средств в движении. Методика поверки.
3. МР МОЗМ 134. Международная рекомендация. Международная организация законодательной метрологии. Автоматическое оборудование для взвешивания автотранспортных средств в движении.
4. Яворский Б.М., правочное руководство по физике / Яворский Б.М. Селезнев Ю.А. // – М.: Наука, 1975. – 624 с.

*Н. Смірнова, В. Смірнов*

### **Визначення ваги об'єкта під час його переміщення по вимірювальній платформі в умовах впливу адитивних завад**

Приведено рішення задачі визначення ваги об'єкта під час його переміщення по вимірювальній платформі в умовах впливу адитивних завад на сілоприємні елементи. Задача розв'язана шляхом оптимізації ширини вікна спостереження в процесі обробки інформації про об'єкт зважування на основі аналізу взаємодії двох тіл в замкнутій системі тел «об'єкт - вимірювальна платформа» в інерціальной системі отсчета. Представлено алгоритм визначення ваги об'єкта.

*N. Smirnova, V. Smirnov*

### **The weight of the object determination while it is moving on the measuring platform under the additive action effect**

Determining the weight of an object while it is moving on the measuring platform under the impact of additive noise on silopriemnye elements the problem solution. The problem is solved by optimizing the width of the observation window in the information about weighting processing based on the interaction two bodies in analysis in the system "object - Test Platform". The algorithm for the object weight determining submitted.

Получено 21.09.12