

И.А. Г а и с и н с к а я,
А.П. Л а д а н н и к,
Ф.В. Н е г о д а
(КТИП, г. Киев)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ЛЕНТОЧНОГО
ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ПОТОКОВ ТЕЛ

В пищевой промышленности уровень автоматизации различных технологических процессов зависит, в частности, от степени развития весоизмерительных устройств. Например, в сахарной промышленности необходимо измерять переменные расходы свеклы, свекловичной стружки, жома, которые перемещаются ленточными транспортерами в виде прерывистых пульсирующих потоков. Расход этого сырья определяется ленточными расходомерами, в основу работы которых положена зависимость:

$$\Delta M_{\text{лент}} = \frac{1}{L} \int_{S_1}^{S_2} M_n(S) dS, \quad (1)$$

где $\Delta M_{\text{лент}}$ - масса тел, центры инерции которых покинули рабочую полость; $M_n(S)$ - масса потока тел, центры инерции которых находятся в рабочей полости; S - перемещение ленты транспортера; L - длина рабочей полости; $[S_1; S_2]$ - перемещение ленты от i -го положения до положения $i+1$, т.е. принятое перемещение, для которого определяется $\Delta M_{\text{лент}}$.

Отличительной особенностью этих устройств является измерение массы потока тел с помощью одного весоизмерителя. Однако ленточные расходомеры предназначены для измерения массы в равномерных потоках тел, а при пульсации потока тел (что характерно для свеклосахарного производства) уменьшается точность измерения расхода.

Решение задачи измерения массы в пульсирующих потоках тел позволяет создать, кроме системы контроля, надежную систему стабилизации материальных потоков в свеклоперерабатывающем цехе сахарного завода.

В последние годы на основе положений динамики потока тел как дискретной механической системы переменного состава [1] было получено общее уравнение теории рабочих процессов устройств для измерения массы в пульсирующих потоках тел;

$$\Delta M'_{\text{вых}} = \frac{1}{L} \left\{ \int_{S_1}^{S_e} M_n(s) ds - [M_n(S_e)X_e(S_e) - M_n(S_1)X_e(S_1)] \right\}, \quad (2)$$

где $X_e(S)$ - абсцисса центра инерции потока тел.

Под потоком тел здесь понимается механическая система переменного состава, образованная телами, центры инерции которых в данный момент времени движутся в геометрически ограниченном пространстве - рабочей полости.

Согласно теории рабочих процессов рассматриваемых устройств можно определить дискретные значения $M_n(S)$ и $X_e(S)$, измеряя массу потока тел с помощью двух силоизмерителей. В этом случае уравнение (2) с помощью формулы трапеции приводится к следующему виду [3]:

$$\Delta M'_{\text{вых}} = \frac{\Delta S}{qL} \left(\frac{R_1(S_1) + R_2(S_1)}{2} + \sum_{j=1}^{K-1} [R_1(S_j) + R_2(S_j)] + \frac{R_1(S_K) + R_2(S_K)}{2} \right) - \frac{1}{q} \left([R_1(S_K) \frac{n}{L} + R_2(S_K)(1 - \frac{m}{L})] - [R_1(S_1) \frac{n}{L} + R_2(S_1)(1 - \frac{m}{L})] \right), \quad (3)$$

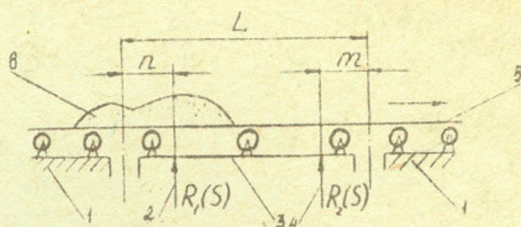
где ΔS - шаг интегрирования; $R_1(S)$ и $R_2(S)$ - вертикальные составляющие реакции опор, измеряемые с помощью двух силоизмерителей; q - ускорение свободного падения; L - длина рабочей полости; n - расстояние от начала рабочей полости до оси первого силоизмерителя; m - расстояние от оси второго силоизмерителя до конца рабочей полости; (i, K) - промежуток аргумента S , для которого вычисляется $\Delta M'_{\text{вых}}$.

Уравнение (3) было проверено на зерне, но пока промышленной реализации соответствующие устройства не получили.

Целью данной статьи является сравнение весоизмерительных устройств, функционирующих по законам (1) и (3), по точности измерения расхода в пульсирующих потоках тел, в частности дискретных порций.

На сахарных заводах используются ленточные конвейеры и, соответственно, конвейерные весы, поэтому прежде всего необходимо проверить уравнение (3) для платформы с опорными роликами под лентой. При этом сначала надо осуществить проверку на телах малых размеров, например, зерне, а затем переходить к потокам более крупных тел, например, свеклы, когда на погрешность измерения будет влиять форма тел, размеры и другие их особенности.

Эксперимент проводился на лабораторной установке, схема которой показана на рисунке. Геометрические размеры рабочей полости следующие: $L = 50,4$ см; $n = 2,1$ см; $m = 2,9$ см.



Устройство для измерения массы в пульсирующем потоке тел (измерительная часть): 1 - неподвижная платформа; 2, 4 - силоизмерители; 3 - весовая платформа; 5 - лента; 6 - поток тел

Установка смонтирована на двух силоизмерителях, но для устройства, функционирующего по закону (I), необходим один силоизмеритель. Однако реакция одной опоры

$$R = R_1 + R_2$$

поэтому выражение (I) с помощью формулы трапеции можно привести к виду

$$\Delta M_{\text{вых}} = \frac{\Delta S}{qL} \left(\frac{R_1(S_1) + R_2(S_1)}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} [R_1(S_j) + R_2(S_j)] + \frac{R_1(S_k) + R_2(S_k)}{2} \right) \quad (4)$$

Опыты проводились на зерне риса в следующей последовательности:

- тарирование силоизмерителей гирей;
- перемещение порции зерна риса через рабочую полость с шагом ленты $\Delta S = 5$ см и отсчет показаний силоизмерителей;
- повторное тарирование силоизмерителей гирей.

По полученным данным по равенствам (3) и (4) вычислялись значения $\Delta M'_{\text{вых}}$ и $\Delta M_{\text{вых}}$ на различных промежутках перемещения ленты. Масса порции зерна M определялась взвешиванием на платформе.

В табл. 1-3 приведены данные, полученные в одном из опытов.

Т а б л и ц а 1

Показания силоизмерителей при тарировке до општа с помощью гири 0,2 кг

Нагрузка на рессору, Н	Показания первого силоизмерителя, дел.				Показания второго силоизмерителя, дел.			
	1	2	3	Среднее	1	2	3	Среднее
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	29,3	30,0	29,1	29,5	28,5	28,2	28,2	28,3

Определяем цену делений. Для первого силоизмерителя

$$\mu_1^{(1)} = \frac{0,2q}{29,5} = 0,00678q \frac{H}{\text{дел}};$$

для второго силоизмерителя

$$\mu_2^{(1)} = \frac{0,2q}{28,5} = 0,00707q \frac{H}{\text{дел}}.$$

Далее снимаем показания силоизмерителей при перемещении порции риса через устройства, когда в начале и конце опыта рабочая полость пуста и длина порции зерна меньше длины рабочей полости (см. табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Показания силоизмерителей при перемещении порции риса через устройство

Номер положения ленты	Перемещение ленты, см	Показания силоизмерителей, дел		Номер положения ленты	Перемещение ленты, см	Показания силоизмерителей, дел	
		I	2			I	2
0	0	0	0	10	50	29,0	58,2
1	5	1,5	0,8	11	55	20,0	66,5
2	10	20,5	1,0	12	60	12,8	61,3
3	15	39,0	1,3	13	65	6,3	48,2
4	20	50,8	5,0	14	70	3,0	34,1
5	25	58,0	15,0	15	75	0	21
6	30	60,0	25,0	16	80	-1	9,1
7	35	58,0	34,0	17	85	0	2
8	40	48,0	44,0	18	90	0	0
9	45	38,0	52,5				

Т а б л и ц а 3

Результаты тарировки индикаторов после опыта гирей 0,2 кг

Нагрузка на весы, Н	Показания первого силоизмерителя, дел.				Показания второго силоизмерителя, дел.			
	I	2	3	Среднее	I	2	3	Среднее
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	29,1	29,2	29,6	29,3	28,0	27,6	29,0	28,2

Определяем цену деления:

для первого силоизмерителя

$$\mu_1^{(2)} = \frac{0,2q}{29,3} = 0,00683q \frac{H}{\text{дел}};$$

для второго силоизмерителя

$$\mu_2^{(2)} = \frac{0,2Q}{28,2} = 0,00709Q \frac{H}{\text{дел.}}$$

Теперь определим среднее значение цены деления силоизмерителей по проведенным до и после опыта тарировкам:

$$\mu_1^{(cp)} = \frac{0,00678 + 0,00683}{2} Q = 0,00681Q \frac{H}{\text{дел.}}$$

$$\mu_2^{(cp)} = \frac{0,00707 + 0,00709}{2} Q = 0,00708Q \frac{H}{\text{дел.}}$$

Найдем вес порции риса путем взвешивания ее на грузовой платформе по данным табл. 2 (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Номер опыта	Вес порции риса		Вес порции риса ($R_1 + R_2$), Н
	Реакции рессор, Н R_1	R_2	
7	0,39498	0,24072	0,63570
8	0,32588	0,31152	0,63740
9	0,25878	0,37170	0,63048
Среднее			0,63485

Следовательно, масса порции риса, найденная взвешиванием, равна 0,63485 кг.

По данным табл. 2 и средним значениям цен делений силоизмерителей находим значения реакций опор грузовой платформы (табл. 5).

Определим массы тел, центры инерции которых покинули рабочую полость на промежутке ($S_0; S_H$).

На этом промежутке центры инерции тел вошли в пустую рабочую полость, а затем полностью ее покинули. Следовательно, $\Delta M'_{\text{вх}}$ и $\Delta M'_{\text{вых}}$ должны равняться массе M порции риса, полученной взвешиванием.

Подставляя численные значения табл. 5 в уравнение (4), получаем

$$\Delta M'_{\text{вх}} = 0,63668 \text{ кг.}$$

Поскольку уравнение (4) аналогично первой части уравнения (3), то можно записать:

$$\Delta M'_{\text{вх}} = \Delta M'_{\text{вых}} - \frac{1}{g} \left([R_1(S_H) \frac{n}{L} + R_2(S_H)(1 - \frac{n}{L})] - [R_1(S_0) \frac{n}{L} + R_2(S_0)(1 - \frac{n}{L})] \right). \quad (5)$$

Т а б л и ц а 5

Реакции опор грузовой платформы

Номер положения ленты	Реакции рессор, Н		Номер положения ленты	Реакции рессор, Н	
	R_1	R_2		R_1	R_2
0	0,0	0	10	0,19749	0,41206
1	0,01022	0,00566	11	0,1362	0,47082
2	0,13961	0,00708	12	0,087168	0,43400
3	0,26559	0,00920	13	0,042903	0,34126
4	0,24948	0,0354	14	0,02043	0,24143
5	0,39498	0,1062	15	0	0,14868
6	0,4086	0,177	16	-0,00681	0,06443
7	0,39498	0,24072	17	0	0,01416
8	0,32686	0,31152	18	0	0
9	0,25878	0,3717			

Далее вычисляем $\Delta M'_{\text{лнк}}$ по уравнению (5), используя данные табл. 5 и геометрические параметры рабочей полости:

$$\Delta M'_{\text{лнк}} = 0,63668 \text{ кг.}$$

Определим погрешность измерений:

$$\eta = \eta' = \frac{0,63668 - 0,63485}{0,63485} = 2,88 \cdot 10^{-3} \approx 0,3\%.$$

Таким образом, погрешность измерения массы риса ленточными расходомерами с одним и двумя силлизмерителями одинакова на промежутке, соответствующем полному циклу работы устройства, когда порция вошла в рабочую полость и полностью вышла из нее.

Теперь оценим погрешность измерений на промежутке $[5_0, 5_1]$.

На этом промежутке центры инерции тел полностью вошли в пустую рабочую полость. Следовательно, масса тел на выходе из рабочей полости равна нулю. Формулы (4) и (5) должны дать такой же результат.

Вычисляем выражение (4):

$$\Delta M_{\text{лнк}} = 0,26441 \text{ кг.}$$

Далее вычисляем выражение (5):

$$\Delta M'_{\text{лнк}} = -0,02309 \text{ кг.}$$

Определяем погрешность измерения:

$$\eta = \frac{0 - 0,26441}{0,63485} = 0,448 = 44,8\%;$$

$$\eta' = \frac{0 + 0,02309}{0,63485} = 0,00364 \approx 3,6\%.$$

Следовательно, на промежутке $[S_5; S_8]$ ленточный расходомер с одним силоизмерителем дает погрешность измерения 44,8%, что примерно в 12,4 раза больше погрешности измерения, показанной расходомером с двумя силоизмерителями (3,6%).

Оценим также погрешность измерения на промежутке $[S_3; S_8]$. Масса порции риса, вышедшая из рабочей полости, должна быть равной массе порции, определенной взвешиванием. Проверим это по формулам.

Находим значение $\Delta M_{\text{вых}}$ по выражению (4):

$$\Delta M_{\text{вых}} = 0,35257 \text{ кг.}$$

Далее вычисляем $\Delta M'_{\text{вых}}$ из выражения (5):

$$\Delta M'_{\text{вых}} = 0,65978 \text{ кг.}$$

Определяем погрешности измерений:

$$\eta = \frac{0,63485 - 0,35257}{0,63485} = 0,445 = 44,5\%;$$

$$\eta' = \frac{0,65978 - 0,63485}{0,63485} = 0,0393 \approx 3,9\%.$$

Отметим, что и в этом случае погрешность измерения расхода ленточным расходомером с одним силоизмерителем значительно превосходит погрешность измерения расхода ленточным расходомером с двумя силоизмерителями – примерно в 11 раз.

Таким образом, при равномерном потоке тел точность измерения ленточными расходомерами с одним и двумя силоизмерителями одинакова и достаточно высока – относительная погрешность измерения 0,3%. При пульсации потока погрешность измерения расхода ленточным расходомером с одним силоизмерителем резко возрастает по сравнению с погрешностью расходомера с двумя силоизмерителями – более, чем в 11 раз.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что проведенный эксперимент подтвердил целесообразность создания устройства для измерения массы в пульсирующих потоках тел на основе зависимости (3) в случае, когда грузовая платформа, расположенная под лентой транспортера, снабжена роликами и двумя силоизмерителями, а поток тел представляет собой дискретную порцию растительного сырья.

Библиографический список

1. Литвинов А.И. Динамика потоков тел//Учеб.пособие /РИСХМ. Ростов-на-Дону. 1979. 100 с.