

BADANIE WAG PRZEPŁYWOWYCH
Z WYKORZYSTANIEM TECHNIKI SZYBKICH ZDJĘĆ FILMOWYCH

Witold Lewandowski, Lucjan Bokiniec

Politechnika Gdańska

WPROWADZENIE

Dobór określonego typu wag przemysłowych zależy od ich charakterystyki oraz właściwości pozostałych urządzeń danego ciągu technologicznego. Szczególnie istotny jest ten związek dla wag przeznaczonych do pomiaru materiałów ziarnistych w ruchu ciągłym. Obok powszechnie stosowanych dotychczas wag przenośnikowych (taśmowych) w użyciu jest nowy typ, tzw. wagi przepływowe. Łatwość włączania wag przepływowych, prostota budowy oraz duża niezawodność działania zdecydowały o ich szybkim rozpowszechnieniu. Należy jednak pamiętać, że dokładność ich jest niewielka, a zakres zastosowania ogranicza się do typowych wag technologicznych. Stosowanie wag przepływowych do celów rozliczeniowych jest ograniczone wskutek dużego wpływu zmian parametrów materiału (wilgotność, granulacja) na błędy wskazań.

ANALIZA STOSOWANEJ METODY POMIAROWEJ

W stosowanej w wagach przepływowych metodzie pomiarowej dla określenia siły F wykorzystuje się zasadę zachowania pędu strumienia masy materiału.

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (1)$$

w którym p_1 i p_2 oznaczają pędy przed i po uderzeniu w szalkę wagi.

Traktując strumień materiału jako zbiór punktów, równanie (1) można zapisać w postaci

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt = \sum m_{2i} \vec{v}_{2i} - \sum m_{1i} \vec{v}_{1i} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 \quad (2)$$

Zakładając stałą wysokość opadania h (pomijając jednocześnie wpływ oporów powietrza) można przyjąć, że prędkość v_1 w chwili uderzenia w szalkę w wyniku działania stałego przyspieszenia ziemskiego jest zawsze stała.

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \text{const} = c$$

Ponieważ masa punktu materialnego m_{1i} przed uderzeniem w szalkę jest równa masie punktu materialnego m_{2i} po odbiciu od szalki

$$m_{1i} = m_{2i} = m_i$$

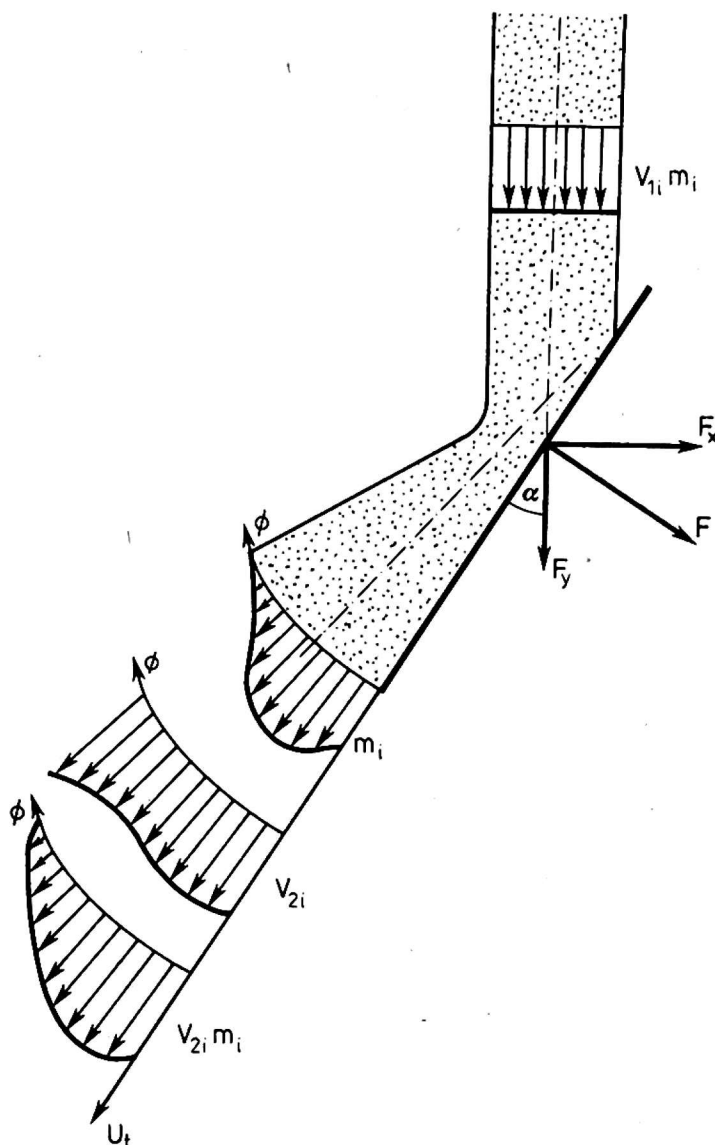
równanie (2) można zapisać w postaci

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = \sum m_i v_{2i} - \sum c m_i \quad (3)$$

Zależność siły F od masy punktów m_i z drugiego członu równania (3) jest wprost proporcjonalna i nie wymaga szczegółowej analizy.

Zależność siły F od sumy pędów, czyli iloczynu wektorów prędkości v_{2i} i poszczególnych mas m_i jest, jak wykazały wstępne badania doświadczalne, bardziej złożona. Przedstawiony na rysunku 1 przybliżony charakter rozkładów $m_i = f(\Phi)$ oraz $v_{2i} = f(\Phi)$ przyjęto na podstawie wstępnych wyników badań uderzenia strugi materiału ziarnistego w ukośnie ustawioną płytkę.

W celu bliższego wyjaśnienia mechanizmu zderzenia swobodnie spadającej strugi materiału ziarnistego z ukośnie ustawioną płytką zastosowano uproszczone modele strumieni materiałów o właściwościach zbliżonych do typowych najczęściej występujących w praktyce ośrodków. Przyjęcie takich modeli umożliwiło wprowadzenie przybliżonych wzorów na siłę pomiarową F_x .



Rys. 1. Analiza metody pomiarowej

ANALIZA BŁĘDÓW

Maksymalny błąd wskazań masy e można określić z wzoru

$$e = \sqrt{\frac{100}{Q} + e_n^2 + e_w^2 + e_m^2}$$

w którym:

- e - maksymalny błąd wskazań (%),
- Q - natężenie przepływu występujące podczas pomiaru,
- e_n - 0,5% błąd wagi jako narzędzia pomiarowego, określany na podstawie danych technicznych producenta wag,

- e_w - 0,28% błąd wzorcowania, wynikający z konieczności skalowania materiałem (wymagania PKNiM),
- e_m - błąd metody powstający podczas przetwarzania Q/F_x .

Błąd narzędzia e_n można określić na podstawie parametrów podawanych przez producentów poszczególnych wag. Dla wagi przepływowej WZI 200 produkcji Zakładów Mechaniki Precyzyjnej i Automatyki błąd $e_n \approx 0,5\%$ i zależy od nastawionego zakresu pomiarowego. Na wielkość błędu wpływ mają głównie zmiany temperatury, napięcia zasilania, ruchu powietrza wokół szalki, pozycji pracy wagi.

Błąd wzorcowania e_w wynika z konieczności doświadczalnego wyskalowania wagi i wykonania pomiarów na stanowisku pracy. Przyjmując podczas sprawdzania minimum 500 działek licznika masy wagi przepływowej oraz stosując uchylną wagę kontrolną klasy 0,1 + 0,2 błąd wzorcowania $e_w = 0,28\%$.

Błąd metody e_m powstający podczas przetwarzania natężenia przepływu Q na siłę pomiarową F_x wynika z niedotrzymania przyjętych w wagach przepływowych założeń metody pomiarowej. Na błąd metody wpływ mają zmiany parametrów zależnych od zabudowy:

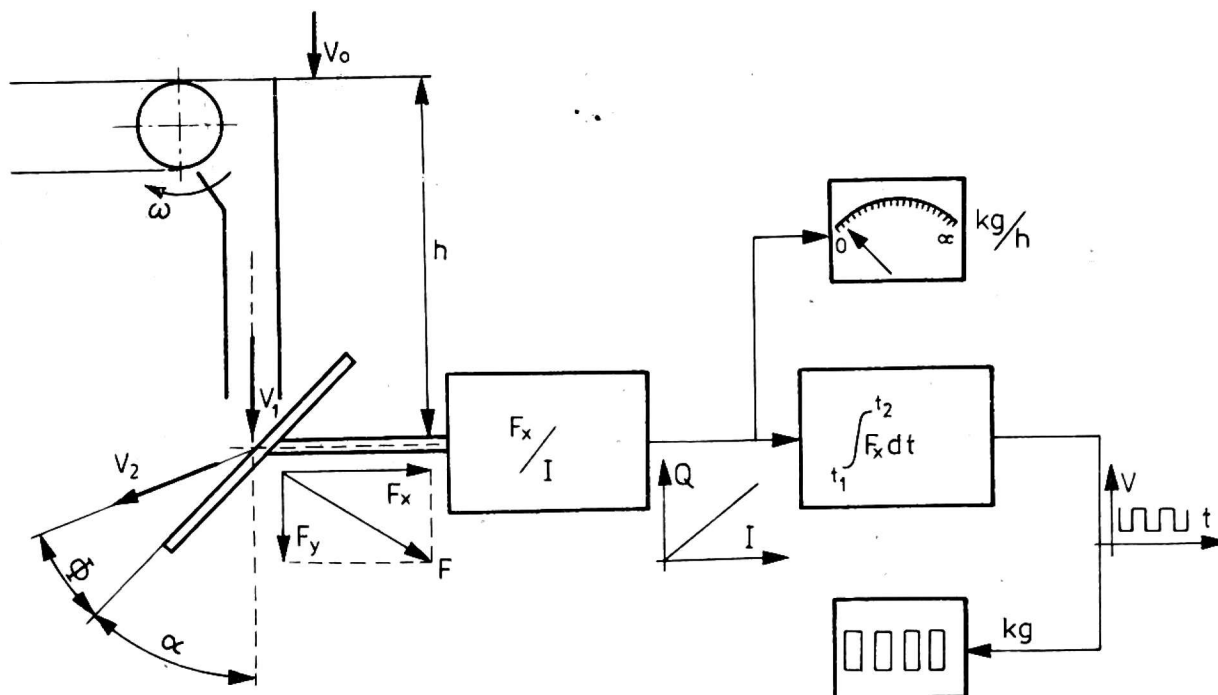
- wysokość opadania h ,
- kąt α ustawienia szalki wagi względem osi strumienia,
- prędkość początkowa V_0 ,
- długość czynna szalki a_c

oraz parametry zależne od zmian właściwości fizykochemicznych materiałów:

- kąt tarcia materiał-szalka δ_s ,
- kąt tarcia wewnętrznego δ_w ,
- współczynnik restytucji R ,
- dynamiczny współczynnik tarcia f_d .

WYNIKI BADAŃ

Podczas badania wag przepływowych typoszeregu WZJ, przeprowadzonego w Zakładzie Doświadczalnym przy Zakładach Mechaniki Precyzyjnej i Automatyki w Gdańsku, stwierdzono, że podstawowym źródłem błędów są zjawiska występujące podczas zderzenia ważonego



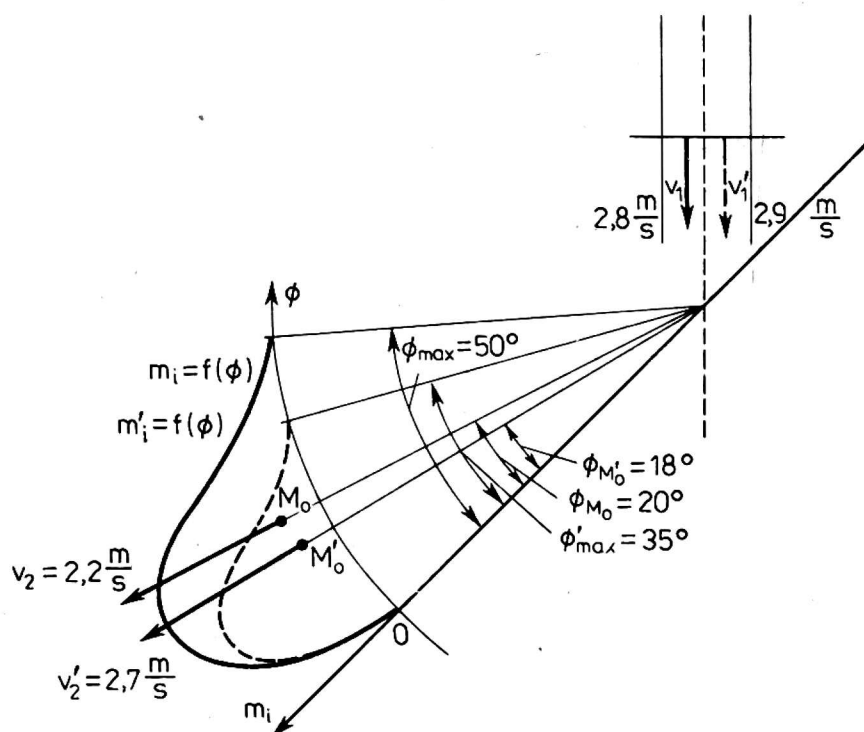
Rys. 2. Schemat zasady pomiaru i budowy wagi przepływowej

materiału ziarnistego z szalką. Zmiany fizykochemiczne właściwości materiałów, jak wykazały pomiary, powodowały błędy wskazań dochodzące do 20%, natomiast błędy przetwarzania siły pomiarowej F_x na wskazania licznika masy, powstające w układzie pomiarowym wagi, nie przekraczały 1%.

W celu poznania mechanizmu zjawisk, występujących w czasie zderzenia strumienia materiału z szalką, wykonano serię zdjęć kamerą filmową Pentazet 16 na specjalnie przygotowanym laboratoryjnym stanowisku badawczym. W wyniku przeprowadzonych prób przy różnych szybkościach zdjęć jako najbardziej przydatną wybrano szybkość 1000 zdj./s. Zdjęcia wykonywano przy użyciu obiektywu 125 mm i odległości kamery od obiektu 3,5 m. Źródłem światła były 3 halogenowe zestawy oświetleniowe. Do filmowania użyto taśmy filmowej ORWO 55. W celu uzyskania odpowiedniego kontrastu ziarna stosowano kolorowe tło. Podczas zdjęć zastosowano znaczniki czasu i znaczniki długości, które umożliwiły dokładne określenie prędkości (m/s) ruchu poszczególnych analizowanych ziarn.

Analiza procesu zderzenia strugi materiału z szalką wagi przepływowej wykazała, że:

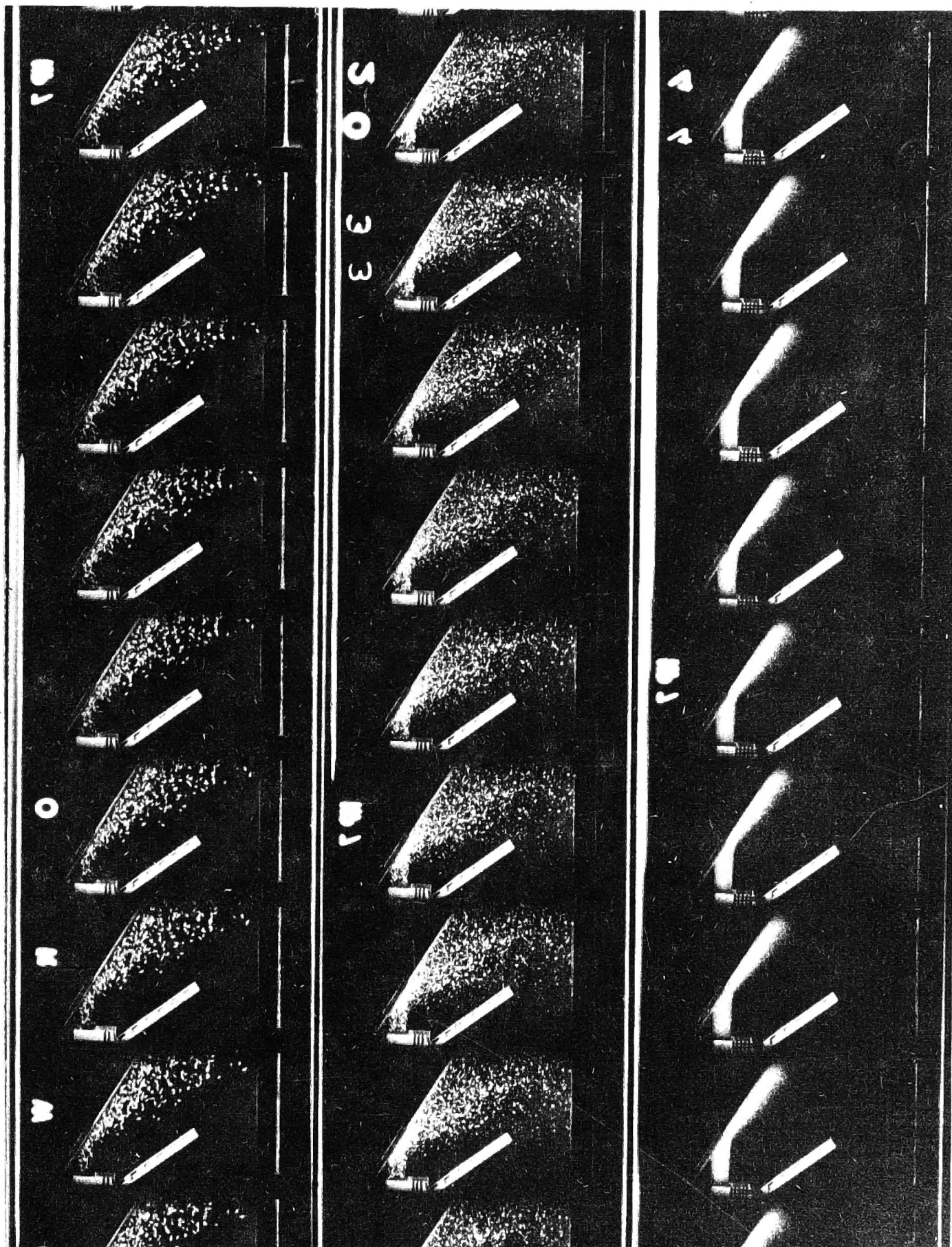
a) przyczyną błędów wag przepływowych, wynikających z zabudowy, jest zmiana prędkości materiału w chwili uderzenia w szalkę, powodowana przez: przypadkowe zmiany wysokości opadania h i przypadkowe zmiany prędkości początkowej V_0 .



Rys. 3. Wykres prędkości v_1 i v_2 kątów odbicia ϕ_{M_0} i ϕ_{max} oraz gęstości strumienia $m_i = f(\phi)$ uzyskanych w wyniku analizy kolejnych zdjęć filmu

b) przyczyną błędów wskazań wag, wynikających ze zmiany właściwości fizykochemicznych materiałów, jest zmiana prędkości V_1 (przed uderzeniem w szalkę), zmiana prędkości V_2 (po odbiciu od szalki), zmiana kąta odbicia ϕ materiału od szalki oraz (V_1 ; V_2 ; ϕ) zmiana właściwości sprężystych materiałów (wsp. restytucji R ; ściśliwości) i współczynnik tarcia (kąt tarcia kinematycznego δ_s między materiałem i szalką, kąt tarcia wewnętrznego materiału, dynamiczny współczynnik tarcia f_d).

Uzyskane wyniki umożliwiły poznanie źródła błędów metody pomiarowej, stosowanej w wagach przepływowych, oraz opracowanie nowej oryginalnej metody pomiarowej i konstrukcji wagi o wielokrotnie mniejszej wrażliwości na zmiany parametrów materiału i układu zasypowego.



Rys. 4. Zdjęcia z filmu jako przykład analizy poklatkowej

T a b e l a 1

Wyniki pomiarów (V_1 ; V_2 ; ϕ_{M_0}) uzyskane po przeprowadzeniu analizy zdjęć filmowych

Materiał	Natężenie przepływu Q	Prędkość początkowa V_1	Prędkość końcowa V_2	Kąt odbicia ϕ_{M_0}
Piasek suchy ($w = 5\%$)	0,5	3	2,8	3
Piasek mokry ($w = 8\%$)	0,5	2,9	2,4	3
Pszenica sucha (wilgotność = 10%)	0,1	2,9	2,3	18
Pszenica sucha (wilgotność = 10%)	0,5	2,9	2,3	16
Pszenica wilgotna (wilgotność = 15%)	0,2	2,9	2,2	14
Miał węglowy	0,5	2,9	2,8	20
Polistyren (kulki $d = 2 \text{ mm}$)	0,5	2,9	2,7	18
Polistyren (sześci- ściany $\phi 2 \text{ mm}$)	0,1	2,8	2,2	20
Woda	0,5	2	1,6	0

WNIOSKI

1. Na podstawie analizy oraz wyników uzyskanych podczas badań stwierdzono, że podstawowym źródłem błędów wskazań wag przepływowych są zmiany właściwości fizykochemicznych materiałów oraz zmiany parametrów zespołu: podajnik materiału - lejek zasypowy - szalka wagi. Błędy wzorcowania oraz błędy wagi jako narzędzia pomiarowego przetwarzającego siłę pomiarową F_x na wskazania licznika ma-

sy są wielokrotnie mniejsze od błędów wynikających z samej metody pomiarowej.

2. Zakres zastosowań wag przepływowych jest ograniczony ze względu na spełnienie bardzo ostrych wymagań odnośnie do niezmienności w czasie właściwości materiału ważonego (wilgotność, granulacja) oraz niezmienności parametrów pracy podajników (prędkość początkowa, wysokość swobodnego opadania).

3. Stwierdzono możliwość zwiększenia dokładności oraz rozszerzenia zakresu zastosowania wag przepływowych poprzez wprowadzenie dodatkowego układu korekcyjnego. Wyniki wstępnych pomiarów wykazały, że układ praktycznie eliminuje występujące dotychczas podstawowe źródła błędów.

4. Zaproponowane rozwiązanie układu korekcyjnego wagi wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań eksploatacyjnych. W przypadku uzyskania pozytywnych wyników układ należy niezwłocznie wdrożyć do produkcji ze względu na konkurencyjność rozwiązania pomiaru strumienia masy materiałów ziarnistych w stosunku do podobnych funkcjonalnie i stosowanych powszechnie wag taśmowych.

Витольд Левандовски, Люцман Бокинец

ИСПЫТАНИЯ ПРОТОЧНЫХ ВЕСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬМОВОЙ ТЕХНИКИ БЫСТРЫХ СЪЕМОК

Р е з ю м е

Испытания проточных весов типоряда WZJ показали, что основным источником погрешностей бывают явления выступающие во время столкновения высеваемого зернового материала с чашкой. Изменения физико-химических свойств материалов вызвали погрешности достигающие 20%, тогда как погрешности в преобразовании измерительной силы F_x на показания счетчика массы, образующиеся в измерительной системе весов не превышали 1%.

С целью изучения механизма явлений выступающих в моменте столкновения струи материала с чашкой была проведена серия съемок кинокамерой Пентазет 16. Была выбрана скорость 1000 кадров в секунду. Съемки выполнялись с использованием объектива 125 мм при расстоянии кинокамеры от объекта 3,5 м, а источник света составляли 3 галогенных осветительных агрегата. Для фильмования использовали пленку

ORWO NR 55. Для обеспечения контраста зерна использовали цветные фоны. Во время съемок применяли показатели времени и длины, которые позволили определить скорость (м в сек.) движения отдельных зерен материала.

Анализ фильма показал, что:

а) причиной погрешностей проточных весов являлось изменение скорости материала в моменте столкновения с чашкой, вызванное:

- случайными изменениями высоты падения h ,
- случайными изменениями начальной скорости V_0 ;

б) источником погрешностей показателей весов, вытекающих из изменений физико-химических свойств материалов, являются:

- изменение скорости V_1 до столкновения с чашкой,
- изменение скорости V_2 после отражения от чашки,
- изменение угла отражения ϕ материала от чашки,
- непосредственной причиной изменений (V_1, V_2, ϕ) является изменение упругих свойств материалов (коэффициент восстановления R , коэффициент сжимаемости ξ) и коэффициент трения (угол кинематического трения θ) между материалом и чашкой (угол внутреннего трения материала, динамический коэффициент трения f_d).

Полученные результаты позволили изучить источники погрешностей измерительного метода проточных весов, а также сделали возможной разработку нового измерительного метода и конструкции весов с многократно меньшей чувствительностью на изменения параметров материала и насыпной схемы.

Witold Lewandowski, Lucjan Bokinieć

TESTING OF FLOW SCALES AT APPLICATION
OF THE FILM TECHNIQUE OF RAPID SHOTS

S u m m a r y

The tests of flow scales of the WZJ type-series have proved that the basic source of errors in indications are the phenomena occurring during the clash of the weighed grainy material with the dish. Changes of physico-chemical properties of materials led to errors reaching 20%, whereas the errors of transformation of the measuring power F_x into indications of the measuring system of the scales did not exceed 1%.

To recognize the mechanism of phenomena occurring during clash of the material stream with the dish a series of shots with the Pentazet 16 film camera was performed. The speed of 1000 frames per second was chosen. The shots were executed using the object of 125 mm at the distance of the camera 3.5 m from the object, whereas the light source constituted there halogenic lighting sets. The reel of ORWO NP55 was used for filming. To ensure the contrast of grain coloured backgrounds were applied. During the shots the indices of time and light enabling to determine the speed (m/s) of the flow of particular grains of the material were used.

The film material analysis has proved that:

a) the source of errors of the flow scales is change of the material at the moment of its clash with the dish, caused by:

- accidental change of the falling height h ,
- accidental changes of the initial speed V_0 ;

b) the source of errors of the scales indication resulting from changes of physico-chemical properties of the materials is:

- change of the speed V_1 before clash with the dish,
- change of speed V_2 the after reoulse from the dish,
- change of the repulsion angle ϕ of the material from the dish,
- a direct cause of changes $(V_1, V_2 \phi)$ is the change of elastic properties of the materials (restitution coefficient R ; compressibility coefficient ζ) and the friction coefficient (kinematic friction angle δ_s) between the material and the dish, interial friction angle of the material, dinamical friction coefficient f_d).

The results obtained enabled to recognize the error sources of the measuring method of flow scales and rendered possible to develop a new measuring method and construction of the scales of the manifold less sensitiveness to changes of properties of the material and the pouring system.