

Kazimierz A. DRESZER, Jan BARWICKI

Metoda oceny jednorodności mieszaniny materiałów sypkich

The Method of Homogeneity of a Mixture of Loose Materials

S y n o p s i s. Dokonano analizy stanu badań nad problemami mieszania i oceny jednorodności surowców sypkich pochodzenia rolniczego. Na podstawie przeprowadzonej analizy przedstawiono prostą i skuteczną metodę oceny jednorodności wielofazowych mieszanin sypkich

S ł o w a k l u c z o w e. Wielofazowe mieszaniny sypkie, metoda oceny jednorodności.

Studia nad procesem mieszania są trudne ze względu na skomplikowany jego przebieg oraz przypadkowy rozkład cząstek układu. Na mieszanie składają się procesy dyfuzji, konwekcji oraz przemieszczania się cząsteczek. Jeśli właściwości materiałów przeznaczonych do mieszania nie pozwalają na występowanie turbulencji lub konwekcji, wówczas możliwe jest mieszanie przez fizyczną separację i przemieszczanie cząsteczek. Ma to właśnie miejsce podczas mieszania materiałów sypkich. Jeśli cząsteczki nie są lotne i zawierają przynajmniej kilkanaście procent wilgoci, wówczas separacja jest utrudniona i w takim procesie mieszania może być wykorzystany mieszalnik typowej konstrukcji, bez specjalnego dodatkowego wyposażenia antysegregacyjnego. Wydajność mieszania zależy w dużym stopniu od struktury materiału, stopnia jego wilgotności, typu mieszadła oraz kolejności załadunku poszczególnych komponentów.

Ważnym elementem jest właściwe wychwycenie momentu osiągnięcia stanu optymalnej jednorodności mieszaniny. W wielu przypadkach dodatkowe mieszanie może spowodować nie tylko stratę energii, ale również może być szkodliwe dla jakości końcowego produktu. Ponadto dodatkowe mieszanie może powodować powstawanie niepożądanego zjawiska segregacji cząsteczek, już uprzednio wymieszanych we właściwych proporcjach. Artykuł zatem zawiera syntezę stanu badań nad wyżej omówioną problematyką oraz sugestię metody oceny stopnia mieszania.

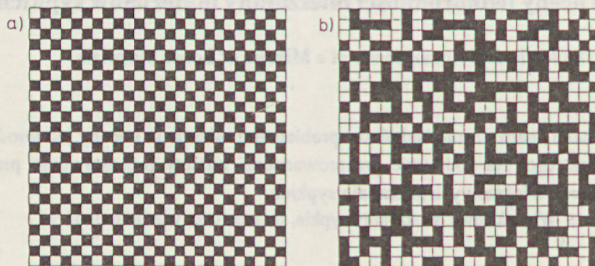
CEL I ZAKRES PRACY

Uwzględniając przedstawione trudności związane z mieszaniem materiałów sypkich w artykule omówiono wybrane metody statystycznej oceny stopnia zmieszania materiałów sypkich. Opierając się na przeprowadzonych badaniach własnych Barwickiego i Barwickiego, Phillipsa, Stafforda (2, 3) oraz na studiach literaturowych zaproponowano prostą metodę oceny jednorodności mieszanin wielofazowych.

ZNACZENIE PROBLEMU I STAN WIEDZY

Nie ma jednolitego poglądu na prawa rządzące ruchem w mieszanym materiale, co jest warunkiem wyjścia przy badaniu i opisie kinetyki mieszania. Mieszanina sypka, złożona z dwóch lub więcej składników, jest układem fizykochemicznym odmiennym niż mieszaniny typowo ciekłe lub gazowe. Wynika to przede wszystkim z odmiennej definicji składnika mieszaniny. Klasyczna definicja termodynamiczna, w myśl której składnikiem mieszaniny jest zbiór cząsteczek o jednakowej budowie chemicznej, nie ma zastosowania w teorii fazy sypkiej, gdyż elementarnymi cząsteczkami fazy nie są cząsteczki chemiczne, lecz materiał ziarnisty.

Składnikiem kluczowym mieszaniny powinien być ten, którego udział jest mały i powinien być rozproszony bardzo równomiernie.



Ryc. 1. Stan całkowitego zmieszania układu dwuskładnikowego wg Bossa (1987) i Stręka (1981); a – zmieszanie, b – stan randomowy

The state of complete mixing of a 2-element scheme according to Boss (1987) and Stręk (1981); a – mixing, b – random state

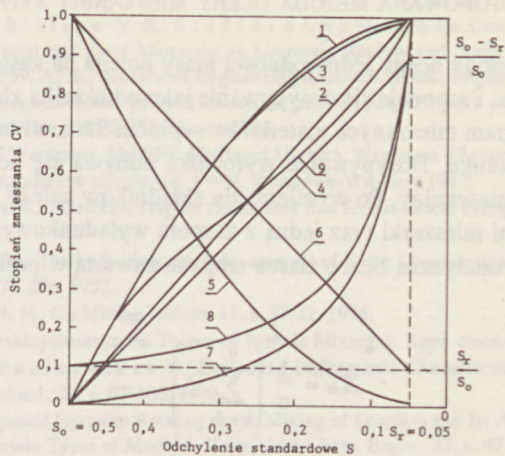
Stanami granicznymi mieszaniny są: stan całkowitego zmieszania lub stan całkowitego rozmieszania. Traktując mieszaninę jako populację statystyczną, możemy do niej stosować teorię prawdopodobieństwa. Tak więc dla stanu całkowitego zmieszania prawdopodobieństwo znalezienia się cząstki dowolnego składnika mieszaniny w dowolnej jej elementarnej objętości osiągnie wartość stałą, równą udziałowi tego składnika w całej mieszaninie. Stan taki nazywamy przypadkowym, losowym lub randomowym. Przykładową ilustrację dwóch mieszanin doskonałej i randomowej przedstawiono na ryc. 1.

Badanie kinetyki procesu mieszania wymaga kontroli stanów pośrednich mieszaniny pomiędzy stanem całkowitego rozmieszania a stanem zmieszania. Informuje o tym wariancja próby s^2 , ale ponieważ wielkość ta jest funkcją składnika kluczowego, nie stanowi ona jednoznacznej oceny stanu mieszaniny. Bardzo przydatny do takiej oceny jest tzw. stopień zmieszania, który określa najogólniej stan oddalenia układu od stanu równowagi mieszaniny idealnej, jakim jest stan randomowy. Jeżeli jako miarę tego oddalenia przyjmiemy różnicę wariancji $S^2 - S_r^2$, wówczas odnosząc tę różnicę do wartości maksymalnej $(s^2 - s_r^2)/(s_0^2 - s_r^2)$ uzyskamy zredukowaną miarę stanu mieszania, czyli stopień zmieszania zmieniający się od 1 do 0.

$$s_0 = \sqrt{p(1-p)} \quad \text{oraz} \quad \sqrt{p(1-p)/n} \quad (1)$$

gdzie: p – rzeczywisty udział badanego składnika w próbkach, n – liczba pomiarów.

W literaturze można spotkać wiele różnych definicji stopnia zmieszania, porównując w odpowiedni sposób zmierzoną wariancję lub odchylenie standardowe z analogicznymi wielkościami stanów granicznych. Zestawienie częściej używanych wzorów do obliczania stopnia zmieszania (wg 1–13) podano w tab. 1. Charakter zmian stopnia zmieszania według różnych definicji podanych w tab. 1 dla umownej mieszaniny idealnej o wartościach $s_0 = 0,5$ oraz $s_0 = 0,05$ przedstawiono na ryc. 2.



Ryc. 2. Krzywe stopnia zmieszania CV wg różnych definicji podanych w tab. 1.
Curves of the degree of mixing CV according to different definitions given in Tab. 1

Tab. 1. Statystyczne definicje określające stopień zmieszania wg [1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13]
Statistical definitions of the degree of mixing according to [1, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13]

Autorzy (rok publikacji)	Nr krzywej na ryc. 2	Definicja stopnia zmieszania	Zakres zmienności dla stanu:	
			idealnego wymieszania	segregacji
wyrażenia dwuparametrowe				
Danckwerts (1952)	5	$CV = \frac{s^2}{s_o^2}$	0	1
Michaels i Puzinauskas (1979)	6	$CV = \frac{s}{s_o}$	0	1
Rose (1959) Yano i Sano (1965)	3, 4	$CV = 1 - \frac{s}{s_o}$	1	0
Lacey (1954)	1, 2, 7, 8	$CV = \frac{s_r}{s}$	∞	$\frac{1}{\sqrt{n}}$
wyrażenia trójparametralne				
Lacey (1954)	1, 2, 7, 8	$CV = \frac{s_o^2 - s^2}{s_o^2 - s_r^2}$	$\frac{n}{n-1}$	0
Fan i Wang (1975)	7, 8	$CV = \frac{(s_o s) - 1}{(s_o s_r) - 1}$	∞	0
Ashton i Valentin (1966)	9	$CV = \sqrt{\frac{\lg s_o^2 - \lg s^2}{\lg s_o^2 - \lg s_r^2}}$	∞	0
wyrażenia z wartością średnią koncentracji $X_{\text{śr}}$				

PROPONOWANA METODA OCENY MIESZANINY SYPKIEJ

Oryginalność metody oceny jednorodności masy polega na zastosowaniu ziaren rzepaku jako wyróżnika. Proponuje się dosypywanie jako wyróżnika ziaren rzepaku w ilości 0,8 g na każdy kilogram mieszanych materiałów sypkich. Stanowi to ok. 150 sztuk ziaren w zależności od gatunku. Dosypywanie wyróżnika odbywa się po załadowaniu wszystkich składników mieszanki. Po wymieszaniu składników należy pobrać 5 próbek, 4 z górnej części skrzyni mieszarki oraz jedną z zespołu wyładunkowego. Następnie należy obliczyć średnią arytmetyczną liczbę ziaren rzepaku zawartą w próbkach, korzystając ze wzoru (2):

$$X_{sr} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \quad (2)$$

gdzie:

X_i – liczba ziaren w i -tej próbce.

Następnie obliczyć odchylenie standardowe z wzoru (3):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - X_{sr})^2} \quad (3)$$

oraz wskaźnik zmieszania określany współczynnikiem zmienności CV z wzoru (4):

$$CV = s/X_{sr} \cdot 100 \quad (4)$$

Kompleksowe badania własne – Barwicki, Phillips, Stafford (1990), Barwicki (1993) – nad procesem mieszania materiałów sypkich pochodzenia roślinnego wykazały, że liczebność 5 prób pobranych w opisany sposób gwarantuje dokładność (błąd pomiaru) zgodną z normą BN-88/9164-04, (14).

Za prawidłową mieszaninę uważa się taką, dla której $CV < 10$; [%].

PODSUMOWANIE

Prawidłowa ocena jakości mieszanki materiałów sypkich jest ważna zarówno z punktu widzenia wartości końcowego produktu, jak i energochłonności samego procesu. Wybór odpowiedniej metody oceny mieszanki, biorąc pod uwagę zaangażowanie aparatury kontrolno-pomiarowej oraz dokładności przeprowadzonej oceny, jest również bardzo istotny. Przedstawiona metoda oceny jednorodności mieszanki wieloskładnikowej jest prosta, tania i skuteczna i może być stosowana podczas oceny efektów mieszania materiałów sypkich w rolnictwie. Skuteczność i zadowalającą dokładność przedstawionej metody oceny potwierdziły przeprowadzone kompleksowe badania własne.

PIŚMIENNICTWO

1. Ashton M. D., Valentin F. H. H.: The Mixing of Powders and Particles in Industrial Mixes. Trans. Inst. Chem. Engrs. 44, s. 166-188, 1986.

2. Barwicki J., Phillips V. R., Stafford J. V.: Methods for Determining the End Point of Processes for Agricultural and Food Materials: A Literature Review and Some Concepts for the Future. Divisional Note DN 1569, AFRC Institute of Engineering Research, Silsoe, England 1990.
3. Barwicki J.: Energochłonność procesu mieszania pasz objętościowych z paszami sypkimi w wozach paszowych. Praca doktorska, IBMER, Warszawa 1993.
4. Warszawa, KTR-PAN Warszawa, MiMiER Melitopol Ukraina. Warszawa 17 czerwca 1994 r., s. 74-79.
5. Boss J.: Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa-Wrocław 1987.
6. Chudzikiewicz R.: Mierzenie stopnia zmieszania mas formiarskich. Przegląd Odlewni, vol. 11, nr 5, s. 141-146, 1961.
7. Dankwerts P. V.: The Definition and Measurement of Some Characteristics of Mixtures. Appl. Sci. Res. A3, (Haque), s. 279-296, 1952.
8. Fan L. T., Wang R. H.: On Mixing Indices. 11, s. 27-32, 1975.
9. Lacey P. M. C.: Developments in the Theory of Particle Mixing. J. Appl. chem., 4, s. 257-268, 1954.
10. Michaels A. L., Puzinauskas V.: Evaluating Performance Characteristics of Mechanical Mixing Processes. Powder Technol., 22, s. 97-100, 1979.
11. Rose H. E.: A Suggested Equation Relating to the Mixing of Powders and Its Application to the Study of the Performance of Certain Types of Machine. Trans. Inst. Chem. Engrs., 37, s. 47-64, 1959.
12. Stręk F.: Mieszanie i mieszalniki. WNT, Warszawa 1981.
13. Yano T., Sano Y.: Some Considerations on Expressions for the Degree of Solid. Kagaku Kogaku, 29, s. 214-223, 1965.
14. Mieszanki granulowane. Norma Branżowa - Pasze. BN 88/9164-04. PKN, Warszawa 1988.

SUMMARY

The studies analysed the state of research on the problems of mixing and estimating the homogeneity of loose materials from farming. On the basis of the analysis, a simple and effective method of estimating the homogeneity of multi-phase loose mixtures was presented.