

**А.М. Артюхов, доц., канд. техн. наук, О.В. Оришака, доц., канд. техн. наук,  
В.О. Оришака, доц., канд. техн. наук, Ю.А. Малашенко, асп.**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## Дослідження фізико-механічних властивостей дрібнозернистих сипких матеріалів

Теоретично обґрунтовані та експериментально досліджені фізико-механічні властивості дрібнозернистих сипких матеріалів сільськогосподарського призначення, а саме таких, які використовуються в кормовиробництві. Отримані фізико-механічні властивості досліджених матеріалів дають змогу обґрунтувати основні параметри і режими роботи робочих органів машин, підвищити їх продуктивність при завантаженні дрібнозернистих сипких матеріалів.

**гранулометричний склад, кут природного укосу, кут обвалення, коефіцієнт внутрішнього тертя, коефіцієнт зовнішнього тертя, критична швидкість, сипкий матеріал**

Дрібнозернисті сипкі матеріали сільськогосподарського призначення та їх суміші беруть безпосередньо участь у багатьох технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. До них належить основна частина продукції рослинництва, продукція кормовиробництва, різні види твердих мінеральних та органічних добрив.

Багатьом сипким матеріалам сільськогосподарського виробництва властиві особливості, які за відносно невеликих затрат дають змогу механізувати їх переміщення і зберігання, що істотно відрізняє їх від інших матеріалів.

У сільськогосподарському виробництві багато технологічних операцій пов'язано з переміщенням сипких матеріалів. Це і переміщення вимолоченої зернової суміші робочими органами комбайнів, внесення мінеральних і органічних добрив, завантажувальні і транспортно-навантажувальні операції та ін.

Тому, під час проектування технологічних процесів, робочих органів відповідних машин потрібно знати основні закономірності фізико-механічних і технологічних властивостей сипких матеріалів, а також методи їх визначення.

Мета даної роботи – встановити та дослідити фізико-механічні властивості дрібнозернистих сипких матеріалів, які використовуються у кормовиробництві.

В більшості випадках фізико-механічні властивості сипких матеріалів і сумішей сільськогосподарського призначення (фізичні, розмірні, вагові, фрикційні, аеродинамічні) змінюються в широких межах і взаємопов'язані між собою [1].

Відомо, що найбільш важливими фізико-механічними властивостями сипких сільськогосподарських матеріалів, які впливають на роботу машин, є: гранулометричний склад, об'ємна маса, кут природного укосу, кут зовнішнього тертя, коефіцієнт вітрильності.

Дрібнозернисті сипкі матеріали складаються з часток здебільшого неправильної форми і різної величини. Суміш фракцій різної величини називають рядовим сипким матеріалом (премікс, висівки, крупа кукурудзяна, вітамінне борошно, комбікорм). Гранулометричний склад таких матеріалів визначають методом ситового аналізу, а коефіцієнт гранулометричного складу визначають за формулою:

$$C = \frac{q_{\phi} 100}{Q_n} \% , \quad (1)$$

де  $q_{\phi}$  – вага окремих фракцій, кг;

$Q_n$  – загальна вага проби, кг.

Кут природного укосу характеризує ступінь рухомості часток сипких матеріалів і залежить від величини внутрішнього тертя і зв'язку між частками, від розмірів часток, форми і характеру їх поверхонь, питомої ваги і вологості [4]. Залежно від характеру зв'язків сипкі матеріали поділяють на ідеальні і зв'язні.

Ідеально сипкими матеріалами є такі, в яких між частками твердого тіла існують тільки зв'язки тертя та одnobічного стискання (зерно, пісок, гранульовані мінеральні добрива, тощо).

До зв'язних сипких матеріалів відносяться такі, в яких зв'язки між частками твердого тіла є силами тертя і силами зчеплення (порошкоподібні добрива, борошно, крохмаль та ін.).

Отже, зв'язки в ідеально сипких матеріалах характеризують коефіцієнтом внутрішнього тертя, а в зв'язних – коефіцієнтами внутрішнього тертя і зчеплення. На величину коефіцієнта внутрішнього тертя помітно впливає гранулометричний склад сипкого матеріалу. Це можна пояснити тим, що зі збільшенням розміру часток зростає площа контакту між ними. Водночас підсилюється пошарове зачеплення між двома сусідніми рядами часток, по яких відбувається зміщення шарів сипкого матеріалу. Величина коефіцієнта внутрішнього тертя змінюється від деякого мінімального значення, якому відповідає найбільша рухливість часток сипкого матеріалу, до максимального значення.

Кут природного укосу для добре сипучого середовища визначається за допомогою спеціального приладу, який представлено на рис. 1.

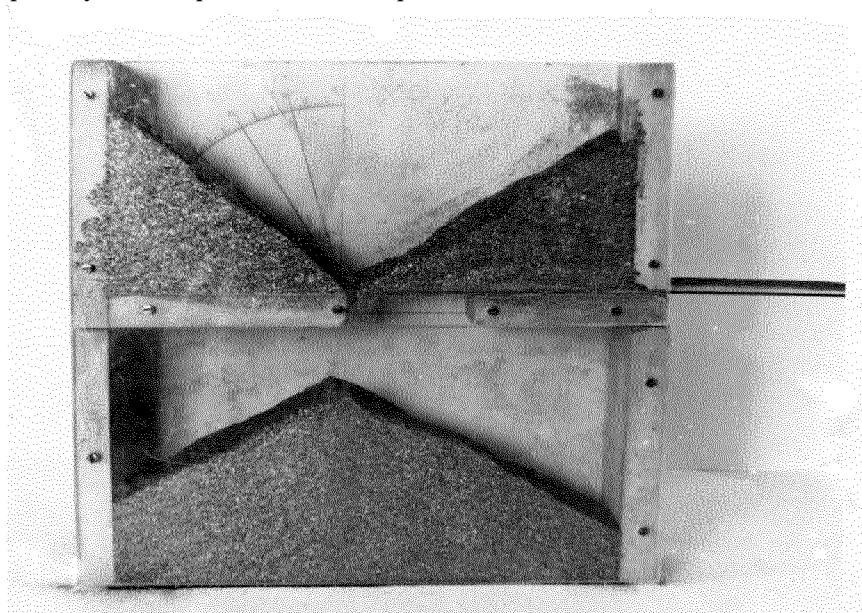


Рисунок 1 – Прилад для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя

Прилад - це ящик, що має перегородку з прорізною, яка перекривається засувкою. Ящик заповнюється сипким матеріалом, а потім засувка повільно висовується і матеріал висипається через щілину на стіл, на який встановлено прилад. В приладі розташовується матеріал під кутом обвалення  $\alpha_{об.}$ , а на столі під кутом насипання  $\alpha$  (для добре сипучих матеріалів  $\alpha_{об.} = \alpha$ ). З кутом природного укосу тісно пов'язаний показник, який також

характеризує рухомість сухого матеріалу – кут обвалення [1]. Кут природного укосу при насипанні може бути прийнятий приблизно рівним куту внутрішнього тертя.

Коефіцієнт зовнішнього тертя характеризує опір сипких матеріалів переміщенню відносно поверхні твердих тіл, викликаний силою тертя. Його визначали за допомогою трибометра, загальний вигляд якого представлено на рис. 2.

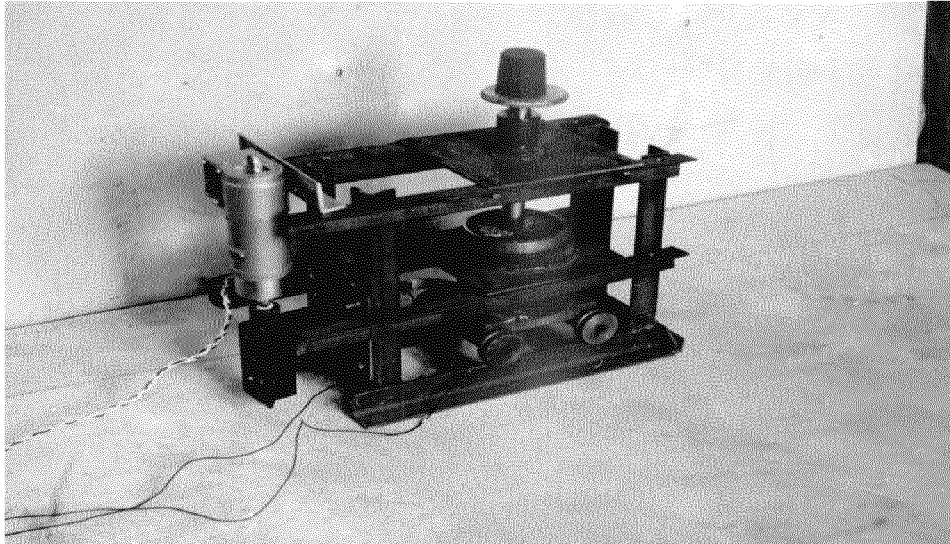


Рисунок 2 – Трибометр

На величину коефіцієнта зовнішнього тертя впливають матеріал і фізичні властивості поверхонь тертя, швидкість переміщення сипкого матеріалу та тривалість контакту поверхонь тертя.

Коефіцієнт зовнішнього тертя знаходять за формулою:

$$f = (F_{zc} - F_p) / Q_m, \quad (2)$$

де  $F_{zc}$  - сила зсуву, Н;

$F_p$  - сила опору рухомої рамки трибометра, Н;

$Q_m$  - сумарна маса притискних пластин і матеріалу в рухомій рамці, Н.

Аеродинамічні властивості сипких матеріалів прийнято характеризувати коефіцієнтом вітрильності і критичною швидкістю. За допомогою коефіцієнта вітрильності можна визначити зусилля, яке діє на частку, що рухається в повітряному потоці. Це зусилля визначається за формулою Ньютона:

$$P = k \rho S (V_n - V_m)^2, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря;

$\rho$  – питома маса повітря,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$S$  – площа міделевого перерізу частки,  $\text{м}^2$ ;

$V_n$  – швидкість повітряного потоку,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$V_m$  – швидкість частки,  $\text{м}/\text{с}$ .

Якщо сила ваги  $G$  дорівнює аеродинамічній силі  $P$ , то частка буде знаходитись у виваженому стані, тобто  $V_m = 0$ .

Швидкість повітряного потоку  $V_n$ , при якій частка знаходиться у виваженому стані називають критичною швидкістю  $V_{кр}$ :

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{G}{k\rho S}}. \quad (4)$$

Критична швидкість для частки не є сталою величиною, а безперервно змінюється в наслідок непостійності швидкості потоку і міделевого перерізу частки. Тому при визначенні критичної швидкості встановлюється верхня і нижня граничні межі.

Після встановлення критичної швидкості визначається коефіцієнт вітрильності за формулою:

$$k_n = \frac{g}{V_{кр}^2}, \quad (5)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$V_{кр}$  – критична швидкість, м/с.

Тоді зусилля, яке діє на частку, що перебуває у повітряному потоці, буде визначатися за такою формулою:

$$P = m k_n (V_n - V_m)^2. \quad (6)$$

Критична швидкість визначається за допомогою аеродинамічної труби.

Основні фізико-механічні властивості дрібнозернистих сипких матеріалів сільськогосподарського призначення наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості сипких сільськогосподарських матеріалів

Матеріали	Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Кут природного укусу, град.	Кут обвалення, град.	Коефіцієнт зовнішнього тертя		
				по сталі	по дереву	по резині
Висівки	375	35	65	1,4	-	1,2
Борошно вітамінне	580	34	60	0,8	0,86	0,91
Крупа кукурудзяна	536	35	45	0,63	0,67	0,72
Комбікорм	440	43	60	0,98	1,04	1,1
Премікс П-55	534	40	58	0,86	0,92	0,98

За результатами викладених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити висновок, що представлені в табл. 1 фізико-механічні властивості сільськогосподарських матеріалів, що є об'єктом дії на них засобів механізації в процесі завантажувальних операцій, дають можливість обґрунтувати основні параметри робочих органів і режимів роботи завантажувальних машин.

## Список літератури

1. Догановский М.Г. Машины для внесения удобрений. Конструкция, теория, расчет и испытания. – М.: Машиностроение, 1972. – 272с.
2. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. – М.: Машиностроение, 1964. – 251с.
3. Карнаушенко Л.И. Исследование и разработка методик для определения механических свойств сыпучих материалов. Автореф. дис... канд. тех. наук. – Кривой Рог, 1970. – 28с.
4. Лукьянов П.И. Аппараты с движущимся зернистым слоем. – М.: Машиностроение, 1974. – 184с.

## **Исследование физико-механических свойств мелкозернистых сыпучих материалов**

Теоретически обоснованы и экспериментально исследованы физико-механические свойства мелкозернистых сыпучих материалов сельскохозяйственного назначения, а именно таких, которые используются в кормопроизводстве. Полученные физико-механические свойства исследуемых материалов дают возможность обосновывать основные параметры и режимы работы рабочих органов машин, повысить их производительность при загрузке мелкозернистых сыпучих материалов.

*A. Artyukhov, O. Orishaka, V.O. Orishaka,*

### **Research of physical and mechanical properties of fine-grained friable materials**

Physical and mechanical properties of fine-grained friable materials for agricultural purpose, namely those used in forage production, were theoretically grounded and experimentally investigated. The obtained physical and mechanical properties of the probed materials enable to ground basic parameters and modes of operation of working organs of machines, to promote their productivity when loading fine-grained materials.

Одержано 05.04.11