

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАСІННЄВИХ СУМІШЕЙ ПРИ ЇХ ПОДІЛІ НА ВІБРОВІДЦЕНТРОВИХ РЕШЕТНИХ СЕПАРАТОРАХ

Харченко Сергій Олександрович

доктор технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-4883-2565,
kharchenko_mtf@ukr.net

Харченко Фаріда Магомедівна

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-0815-4691
faridakharchenko@gmail.com

Панкова Оксана Володимирівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0003-2866-1858
pankova_oksana@ukr.net

Бакум Микола Васильович

кандидат технічних наук, професор
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0003-1049-0464
bakymshm@gmail.com

Харченко Дмитро Олександрович

аспірант
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0001-5819-6104
harchenkodmitriy@ukr.net

Моделювання динаміки частинок сипких середовищ, якими є насіннєві матеріали, потребують використання максимально точних значень їх властивостей. Властивості насіннєвих сумішей, які є гетерогенним середовищем, залежать від культури, вологості та інших чинників. Процес поділу насіннєвого матеріалу за розмірами на віброрешетах залежить від форми, розмірів, питомої ваги частинок. Узагальненим параметром, який характеризує сипке середовище є в'язкість. При використанні в моделюванні процесів гідродинамічної аналогії псевдозрідженого насіннєвого матеріалу на вібровідцентровому решеті доцільно використовувати саме динамічний коефіцієнт в'язкості. Проведені розрахунки щодо визначення динамічного коефіцієнту в'язкості для насіннєвих матеріалів, які відрізняються формою, розмірами, коефіцієнтами тертя та питомою вагою частинок. Для розрахунків прийнято паспортні конструктивно-кінематичні параметри вібровідцентрових сепараторів типу А1-БЦС. Прийнято умови, що насіннєвий матеріал рухається по внутрішній поверхні циліндричного решета кільцевим шаром товщини, яка залежить від еквівалентних діаметрів частинок насіннєвих матеріалів різних сільськогосподарських культур. Швидкість руху насіннєвого матеріалу направлена уздовж осі вертикальної осі і залежить від радіальної координати. Циліндричне решето обертається навколо вертикальної вісі і виконує вертикальні коливання уздовж неї з амплітудою. Встановлено перелік властивостей насіннєвого матеріалу, які є значущими при обґрунтуванні параметрів процесу поділу частинок на циліндричних віброрешетах відцентрових зернових сепараторів: еквівалентний діаметр та вага частинки; коефіцієнт внутрішнього сухого тертя насіння; коефіцієнт поправки на пористість середовища; густина шару середовища; динамічний коефіцієнт тертя частинок по поверхні решета; висота (товщина) шару середовища. Проведені експериментальні дослідження, які підтвердили математичні розрахунки. Розбіжність ідентифікованих за стандартними та розробленими методиками та відомих показників властивостей: насіння озимої пшениці, кукурудзи, соняшнику, насіння ріпаку не перевищує 5%. Встановлена суттєва відмінність вібров'язкості насіннєвих матеріалів сільськогосподарських культур озимої пшениці, соняшнику, кукурудзи та ріпаку, що пояснюється властивостями частинок. Отримані данні є основою для адекватного моделювання процесів решетного поділу частинок насіннєвих матеріалів насіннєочисних машин та сепараторів.

Ключові слова: насіннєвий матеріал, властивості, частинка, розміри, в'язкість, решето, динаміка.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.12>

Вступ. Насіння сільськогосподарських культур є одним з основних факторів, які визначають майбутню врожайність та валову кількість зерна.

Післязбиральна обробка зерна є відповідальним та важливим елементом в технологіях виробництва насіннєвого матеріалу більшості сільськогосподарських культур. Поділ частинок за розмірами та аеродинамічними властивостями знайшли найбільше поширення, що пояснюється високими технологічними показниками та низькими енерго- та металовитратами. Реалізуються наведені принципи поділу на віброрешетних блоках та пневмосепарувальних пристроях.

Використання математичного моделювання значно скорочує процес проектування та розробки нового обладнання, але потребує точних вхідних параметрів. Так, моделювання динаміки частинки зернової суміші за використанням матеріальної точки (Isaev et al., 2019; Vineet Kumar Bhagat et al., 2019), потребує окрім технологічних параметрів процесу та технічних параметрів конструкції, ще й властивості самої частинки.

Моделювання динаміки сипкого псевдозрідженого середовища за гідроаналогією наведені в роботах (Kharchenko, 2017; Tishchenko et al., 2011), довели свою адекватність. Однак отримані результати передбачали властивості окремих с.г. культур. В роботі (Badretdinov et al., 2020) розглянуті зернові суміші озимої пшениці, в (Shevchenko et al., 2019) соняшник.

Ідентифікація, одночасний аналіз властивостей насіннєвих матеріалів різних с.г. культур надасть можливість визначати напрями можливих підвищень ефективності насіннеочисних машин, сепараторів та калібраторів.

В роботі розглянуто вібровібцентрові решети сепаратори, які мають високу питому продуктивність роботи. Але на сьогодні є потреба в визначенні оптимальних режимів роботи для насіннєвих матеріалів різних с.г. культур.

Мета роботи: провести математичну та експериментальну ідентифікацію властивостей насіннєвих сумішей, встановити відповідні залежності з урахуванням кон-

структивно-кінематичних параметрів вібровібцентрових решет насіннеочисних машин.

Матеріали і методи досліджень. Моделювання руху насіннєвого матеріалу по внутрішній поверхні вертикального циліндричного віброрешета за допомогою гідродинамічної аналогії потребує розгляду однорідної псевдорідини, яка має певну в'язкість. Слід зауважити, що подібна аналогія довела свою адекватність внаслідок подібності псевдозрідженого сипкого насіннєвого матеріалу з властивостями рідини (Тіщенко, 2010; Тіщенко, 2000).

Коефіцієнт вібров'язкості псевдозрідженого насіннєвого матеріалу, під дією вібрації, є змінним та залежить від відцентрової сили.

Для вивчення величини коефіцієнта вібров'язкості необхідно мати розуміння координату розгляду всередині шару середовища. Тому для подальших досліджень приймаємо координату r (рис.1) кільцевого шару від осі обертання циліндричного решета радіуса R_R .

Таким чином, подібне використання конструктивно-кінематичних параметрів циліндричного віброрешета та властивостей насіннєвих матеріалів різних с.г. культур дозволить комплексно оцінити вплив на їх подальшу динаміку.

Приймаємо, що насіннєвий матеріал рухається по внутрішній поверхні решета з радіусом R_R кільцевим шаром товщини h (рис.1). швидкість руху насіннєвого матеріалу $U(R)$ направлена уздовж осі z і залежить від радіальної координати R . Циліндричне решето обертається навколо осі z з кутовою швидкістю ω і виконує вертикальні коливання уздовж неї з амплітудою A і частотою n (рис. 1).

За умови постійного динамічного коефіцієнту в'язкості швидкість псевдозрідженого середовища є рішенням рівняння (Тіщенко та ін., 2007; Тіщенко та ін., 2008):

$$\frac{d^2U}{dR^2} + \frac{1}{R} \frac{dU}{dR} = N, \quad (1)$$

в якому

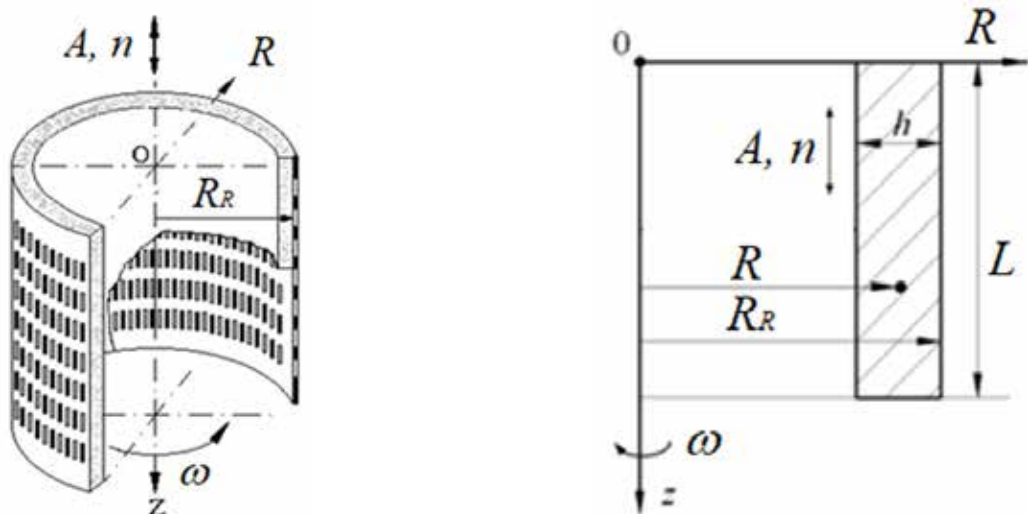


Рис.1. Схеми циліндричного віброрешета

$$N = -\frac{1}{\mu} \left(\frac{\Delta P}{l} + \rho g \right), \quad (2)$$

де $\Delta P/l$ зміна тиску відносно висоти шару псевдозріженого середовища насінневого матеріалу; ρ – густина шару насінневого матеріалу.

Динамічний коефіцієнт в'язкості шару насінневого матеріалу визначаємо за виразом (Тіщенко та ін., 2010; Ольшанський та ін., 2017):

$$\mu = \frac{F_T}{6nd \sqrt{(A)^2 - \left(\frac{\pi F_T}{2m\gamma n^2} \right)^2}}, \quad (3)$$

де $F_T = \frac{f \pi^2 d^2 p \xi}{4}$ – сила тертя, які діє на частинку при

коливаннях середовища, яке представляє насінневий матеріал; d, m – усереднені значення діаметра і ваги однієї частинки насінневого матеріалу; γ – коефіцієнт приєднання маси до рухомої частинки насінневого матеріалу;

$p = \frac{1}{2} \rho \omega^2 \left(\left(R_R - \frac{h}{2} \right)^2 - (R_R - h)^2 \right)$ – внутрішній тиск

в середовищі, яке досліджується; f – коефіцієнт внутрішнього сухого тертя насіння; ξ – коефіцієнт поправки на пористість насінневого матеріалу.

Таким чином, наявні математичні вирази (1)-(3) дозволяють визначити властивості, які впливають на динамічний коефіцієнт в'язкості насінневого матеріалу, і в кінцевому результаті на його динамічні характеристики. Наведемо перелік подібних властивостей насінневого матеріалу: еквівалентний діаметр та вага частинки; коефіцієнт внутрішнього сухого тертя насіння; коефіцієнт поправки на пористість середовища; густина шару середовища; динамічний коефіцієнт тертя частинок по поверхні решета; висота (товщина) шару середовища.

Відсутність єдиних значень, наявність решіт з інтенсифікаторами та активаторами різних типів (Kharchenko et al., 2019) вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень та ідентифікації.

Для досліджень використано насіння різних сільськогосподарських культур, які відрізняються вище переліченими властивостями. До подібних культур відносимо кукурудзу, соняшник, пшеницю та ріпак.

Розміри та форма насіння одним зі значущих параметрів при дослідженні та проектуванні робочих органів машин для поділу частинок сипких матеріалів. Лінійні розміри абсолютними показниками, а для отримання адекватних результатів бажано мати відносні. Тому для досліджень обрано еквівалентний діаметр – діаметр кулі, який рівновеликий за об'ємом частинці насінневого матеріалу.

Визначення ваги частинки насінневих матеріалів виконували на вагах ВЛКТ-500. Зважування проводили трикратно по 1000 насінин та визначали вагу однієї насінини.

Для визначення щільності шару середовища використовували мірну ємність з фіксованим об'ємом та виконували її зважування.

Слід відмітити що вологість насінневого матеріалу впливає на більшість інших фізико-механічних показників. Тому при дослідженнях обирали фіксовану вологість для с.г. культури відповідно до ДСТУ 2240-93, ДСТУ 6068-2008, ДСТУ 4811-2007: озима пшениця – 13%; кукурудза 14%; соняшник 6%; ріпак – 7%.

Оцінити шару насінневого матеріалу, а не окрему частинку, можна використавши пористість середовища. Пористість визначається як доля вільного об'єму в шарі насінневого матеріалу. Для обчислень використаємо відношення щільності насінини ρ_n до густини середовища (шару насінневого матеріалу):

$$\xi = \rho_n / \rho. \quad (4)$$

Технологічний процес роботи насінноочисних та калібрувальних машин передбачає рух насіння по металевим поверхням. Причому насінневий матеріал рухається в шарі, що передбачає тертя частинок одна по одній, а нижній підшар тертя по металеву поверхню.

Обираємо для досліджень коефіцієнт внутрішнього тертя, який враховує тертя між поверхнями однорідних тіл та характеризує рухомість сипкого середовища. Методика визначення є стандартною та складається з визначення кута природнього скоосу, де утворюється вільна поверхня сипкого матеріалу з горизонтальною площиною (Molenda et al., 2002).

Коефіцієнт зовнішнього тертя характеризує тертя, яке виникає між поверхнями неоднорідних матеріалів і залежить від їх поверхні. Використавши нахилену перфоровану поверхню (решето) визначали кут, при якому відбувався рух насіння (Gan Tang et al., 2017).

Максимальна висота шару насінневого матеріалу, яку необхідно використовувати в математичних моделях, складає два підшари висотою з еквівалентний діаметр.

Кількість повторів дослідів при проведенні досліджень склала три, що свідчить про достатню та необхідну точність.

Отримані данні усереднювали за середнім арифметичним.

Результати досліджень. Для повної перевірки адекватності отриманих математичних виразів проведена ідентифікація властивостей насінневих матеріалів пшениці, кукурудзи, соняшника, ріпаку.

Використавши стандартні та розроблені методики визначені властивості насінневих матеріалів.

Визначення ефективного динамічного коефіцієнту в'язкості середовища проводили по виразу (3). Для розрахунків прийнято паспортні конструктивно-кінематичні параметри вібровідцентрових сепараторів типу А1-БЦС (Абдуєва, 2010): радіус решета $R_r = 0,3075$ м; довжина решета $L = 0,49$ м; кутова швидкість обертання решета $\omega = 11,5$ рад/с; частота вертикальних коливань $n = 75,9$ с⁻¹; амплітуда вертикальних коливань $A = 0,006$ м.

Результати ідентифікацій властивостей насінневих матеріалів зведено до табл.1.

Обговорення. Більша частина отриманих результатів узгоджується з даними відомих досліджень. Так, розбіжність ідентифікованих та відомих показників

Фізико-механічні властивості насіннєвих сумішей матеріалів сільськогосподарських культур

Культура	озима пшениця	кукурудза	соняшник	ріпак
Еквівалентний діаметр частинок насіннєвого матеріалу f , м	0,0048	0,0071	0,0053	0,0019
Вага частинки насіннєвого матеріалу m , кг	0,00005	0,00029	0,00011	0,0000047
Коефіцієнт внутрішнього сухого тертя насіння f	0,52	0,5	0,57	0,42
Коефіцієнт поправки на пористість насіннєвого матеріалу ξ	0,36	0,5	0,415	0,38
Густина насіннєвого матеріалу ρ , кг/м ³	740	730	360	610
Динамічний коефіцієнт тертя частинок насіннєвого матеріалу по поверхні решета f_0	0,22	0,25	0,32	0,35
Сила тертя, які діє на частинку при коливаннях середовища F_T , Н	0,0015	0,0063	0,00124	0,00006
Ефективний динамічний коефіцієнт вібров'язкості середовища μ , Па с	0,156557	0,3755	0,088523	0,011

властивостей: насіння кукурудзи (Babic et al., 2013), насіння пшениці (Badretdinov et al., 2020; Fératlégil-Durtmur et al., 2010), насіння соняшнику (Shevchenko et al., 2019), насіння ріпаку (Mehmet Firat Baran et al., 2016) не перевищує 5%. Це свідчить про достатню достовірність обраних методів досліджень та адекватне використання ідентифікованих значень при процесах моделювання руху насіннєвих сумішей по перефорованих віброрешетах насінноочисних машин, сепараторів та калібраторів.

Аналіз отриманих значень узагальненої характеристики середовища (насіннєвого матеріалу) вібров'язкості свідчить про суттєву відмінність в залежності від культури та властивостей частинок. Так, максимальна різ-

ниця результатів в рамках культур насіннєвих матеріалів які досліджувались, склала 34,1 рази.

Таким чином, очевидно, що врахування властивостей насіннєвих матеріалів при математичному моделюванні їх динаміки є обов'язковим, що забезпечить адекватність результатів.

Висновки. Проведенні дослідження дозволили ідентифікувати властивості насіннєвих матеріалів, які є значущими та впливають на їх динаміку при поділу на циліндричних віброрешетах калібраторів. Отримані данні дозволяють підвищити точність математичного моделювання процесів поділу частинок насіннєвих матеріалів за розмірами в насінноочисних машинах, сепараторах та калібраторах.

Бібліографічні посилання:

1. Isaev, Y., Semashkin N., Zlobin V. (2019). Regularities of motion of a particle in the spiral-screwed device. E3S Web of Conferences, 00041.
2. Vineet Kumar Bhagat, Anil Kumar Prasad, Arvind Kumar Lal Srivastava. (2019). Physical and Mechanical Performance of Luffa-Coir Fiber Reinforced Epoxy Resin Based. 5 E3S Web of Conferences 126, 00041. doi.org/10.1051/e3sconf/201912600041 ICMTMTE 2019.
3. Kharchenko, S.O. (2017). Intensification of grain sifting on flat sieves of vibration grain separators. Kharkiv: «Disa+», 220.
4. Tishchenko, L.N., Ol'shanskii, V.P., Ol'shanskii, S.V. (2011). On velocity profiles of an inhomogeneous vibrofluidized grain bed on a shaker. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, Vol. 84, Issue 3, 509 – 514. doi: 10.1007/s10891-011-0498-4
5. Badretdinov, I., Mudarisov, S., Lukmanov, R., Ibragimov, R., Permyakov, V., Tuktarov, M. (2020). Mathematical modeling and study of the grain cleaning machine sieve frame operation. INMATEH Agricultural Engineering. 19–28. 10.35633/inmateh-60-02.
6. Shevchenko, I.; Aliev, E. (2019). Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. 12. 10.15673/fst.v12i4.1209.
7. Tischenko, L.N. (2004). Intensifikaciya separirovaniya zerna [Intensification of grain separation]. Kharkiv : Osnova, 224 (in Russian).
8. Tischenko, L.N. (2000). K opredeleniyu gidrodinamicheskikh harakteristik psevdoozhizhennyh sypuchih sred pri rabote vibrocentrovezhnyh separatorov [To determine the hydrodynamic characteristics of fluidized bulk solids during the operation of vibrating centrifugal separators]. Ecology and agricultural machinery. Collection of works by SZNIIMESH. SPb. Pavlovsk: SZNIIMESH, T. 1, 70–73. (in Russian).
9. Tischenko, L.N., Abdueva F.M., Ol'shanskij, V.P. (2007). K raschetu vyazkosti psevdoozhizhennoj sypuchej zernovoj smesi pri vibrocentrovezhnom separirovanii [To calculation of viscosity of fluidized bulk grain mixture at vibrating centrifugal separation]. Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production. Kharkiv: KhNTUA, Vol. 58, 44–51. (in Russian).
10. Tischenko, L.N., Abdueva F.M., Ol'shanskij, V.P. (2008). Sravnenie dvuh sposobov vychisleniya koefficienta vibro-vyazkosti psevdoozhizhennoj zernovoj smesi pri vibrocentrovezhnom separirovanii [Comparison of two methods of calculating the vibration-viscosity coefficient of fluidized grain mixture at vibration centrifugal separation]. Vibrations in Engineering and Technology, №1 (50), 96–100. (in Russian).
11. Tischenko, L.N., Ol'shanskij, V.P., Ol'shanskij, S.V. (2010). Gidrodinamika separirovaniya zerna [Hydrodynamics of grain separation]. Kharkiv: Miskdruk, 174. (in Russian).

12. Ol'shans'ki, V.P., Bredihin, V.V., Luk'yanenko, V. M., Piven, M.V., Slipchenko, M.V, Kharchenko, S. O. (2017). Teoriia separuvannia zerna: kolektyvna monohrafiia [Theory of grain separation: a collective monograph]. Kharkiv: Planeta-Print, 802. (in Ukrainian).
13. Kharchenko, S., Kovalishin, S., Zavgorodniy, A., Kharchenko, F., Mikhaylov, Y. (2019). Effective sifting of flat seeds through sieve. INMATEH-Agricultural Engineering, Vol. 58. №. 2, 17-26. doi: 10.35633/INMATEH-58-02.
14. DSTU 2240-93. (1993). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Seeds of agricultural crops. Varietal and sowing qualities. Technical conditions]. Kyiv: State Standard of Ukraine, 74. (in Ukrainian).
15. DSTU 6068-2008. (2008). Nasinnia soniashnyku. Sortovi ta posivni yakosti. Tekhnichni umovy [Sunflower seeds. Varietal and sowing qualities. Technical conditions]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 7. (in Ukrainian).
16. DSTU 4811-2007 (2009). Nasinnia oliinykh kultur. Metody vyznachennia volohosti [Oilseeds. Methods for determination of moisture content]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 10. (in Ukrainian).
17. Molenda, M., Horabik, J., Ross, I., Montross, M. (2002). Friction of wheat: Grain-on-grain and on corrugated steel. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 45. 415-420. doi: 10.13031/2013.8522.
18. Gan Tang, Ping Sun, Yanqi Zhao, Lingfeng Yin and Hong Zhuang (2017). Experimental research on friction coefficient between grain bulk and bamboo clappers. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 274 012116. doi: 10.1088/1757-899X/274/1/012116.
19. Abduieva, F. M. (2010). Obruntuвання параметрів процесу і розробка решіт для вібровідцентрового separuvannia nasinnia kukurudzhy [Substantiation of process parameters and development of sieves for vibrating centrifugal separation of corn seeds]. Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11. Kharkiv, 20. (in Ukrainian).
20. Babic, L., Radojcin, M. (2013). Physical properties and compression loading behaviour of corn seed. International Agrophysics, №27, 119–126.
21. Fératlégil-Durmup, E., Sýkorová, A., Šárka, E., Bubník, Z., Schejbal M., Příhoda, J. (2010). Geometric Parameters of Wheat Grain Determined by Image Analysis and FEM Approach. Cereal Research Communications, 38(1), 122–133. doi: 10.1556/CRC.38.2010.1.13.
22. Firat Baran, M., Recai Durgut, M., Aktas, T., Ulger, P., Kayisoglu, B. (2016). Determination of Some Physical Properties of Rapeseed. International journal of engineering technologies, Vol.2, №. 2, 49–55.

Kharchenko S. O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Kharchenko F. M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Pankova O. V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Bakum M. V., Candidate of Technical Sciences, Professor, State Biotechnology University, Kharkiv, Ukraine

Kharchenko D. O., Postgraduate, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Properties identification of seed mixtures at their division into vibro-centrifugal sieve separators

Modeling the dynamics of loose media particles, which are seed materials, requires the use of the most accurate values of their properties. Seed mixtures properties, which are a heterogeneous environment, depend on the culture, humidity and other factors. Division process of seed material by size on vibrating sieves depends on the shape, size and specific gravity of particles. Viscosity is a generalized parameter that characterizes a loose medium. When using the hydrodynamic analogy of fluidized seed material in modeling processes on a vibro-centrifugal sieve, it is advisable to use the dynamic viscosity coefficient. Calculations were carried out to determine the dynamic viscosity coefficient for seed materials that differ in shape, size, friction coefficients and specific gravity of particles. The passport design and kinematic parameters of the A1-BCS type vibro-centrifugal separators were used for the calculations. It is accepted that seed material moves along the inner surface of cylindrical sieve with an annular layer of thickness, which depends on the equivalent diameters of seed materials particles of different crops. The speed of seed material movement is directed along the axis of the vertical axis and depends on the radial coordinate. The cylindrical sieve rotates around the vertical axis and performs vertical oscillations along it with amplitude. The properties list of seed material, which are significant in the grounding parameters of particle separation process on cylindrical vibrating sieves of centrifugal grain separators has been established: particle equivalent diameter and weight; coefficient of internal dry friction of seed; correction factor for porosity of the medium; density of the medium layer; dynamic coefficient of particles friction on the sieve surface; height (thickness) of the medium layer. Mathematical calculations confirmed the experimental studies. The discrepancy between the identified and known indicators of properties according to standard and developed methods: seeds of winter wheat, corn, sunflower, rapeseed does not exceed 5%. A significant difference in the vibroviscosity of agricultural crops seed materials of winter wheat, sunflower, corn and rapeseed was found, which is explained by the particles properties. The obtained data are the basis for adequate modeling of sieve separation processes of seed material particles of seed cleaning machines and separators.

Key words: seed material, properties, particle, size, viscosity, sieve, dynamics.