

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.104-110>

**О.М. Васильковський**, проф., канд. техн. наук, **С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Нестеренко**, доц., канд. техн. наук, **Д.І. Петренко**, доц., канд. техн. наук, **С.М. Якименко**, доц., канд. фіз.-мат. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: olexa74@ukr.net*

## Обґрунтування конструктивної схеми пневморешітного сепаратора зерна

Статтю присвячено удосконаленню конструкції відцентрового пневморешітного сепаратора для розділення компонентів зернових сумішей. Базова конструкція задовільно виконує технологічний процес, однак має відносно великі вертикальні габарити за рахунок використання замкненої системи аспірації з подвійним очищенням зернової маси повітряним потоком. В роботі наведено концепцію удосконалення системи аспірації, що дозволить суттєво зменшити висоту, а також викладено методику проектного конструкторського розрахунку параметрів удосконаленої машини.

**сепаратор, зерно, обґрунтування, конструкція, розрахунок, параметри, аспірація**

**Постановка проблеми.** Попереднє очищення зерна від домішок дозволяє не тільки підвищити його товарну цінність, а й запобігти псуванню в процесі зберігання. Зростаючі темпи виробництва зерна в Україні і світі вимагають забезпечення сільськогосподарських товаровиробників сучасною якісною, продуктивною, надійною, економічною і дешевою технікою. Останні пункти названих вимог особливо важливі для малих фермерських господарств, які виробляють близько 50% всієї сільськогосподарської продукції [1], проте, внаслідок невеликих індивідуальних об'ємів виробництва не мають достатньої кількості обігових активів для закупівлі високовартісних машин. Таким чином, забезпечення належної технологічної ефективності очищення зерна, поряд зі зменшенням вартості зерноочисних машин є актуальною задачею аграрного виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день в господарствах України широко використовуються пневматичні [2–5] та пневморешітні зерноочисні машини, які оснащені коливальними решетами і системами аспірації, які об'єднані у єдину конструкцію [6–12]. Основним недоліком таких машин є низька питома ефективність решітної сепарації, обумовлена протіканням процесу розділення в полі дії лише гравітаційної сили, яка має невелику величину і не дозволяє проходовим часткам швидко просіюватись крізь отвори. Крім того, наявність гострих крайок класичних пробивних решіт в сукупності з жорсткими очисниками отворів є джерелами пошкодження зерна і підвищеного шуму на робочому місці, особливо у закритих приміщеннях, ангарах тощо.

Зазначені вище недоліки вимагають від науковців і конструкторів створення принципово нової зерноочисної техніки, яка б задовольняла сучасні потреби виробників аграрної продукції.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету створено оригінальну конструкцію сепаратора

зерна [13], в якій органічно поєднано систему аспірації і решітну частину завдяки використанню єдиного активного робочого органу – лопаткового ротора. Розроблений сепаратор є прямоточним, при цьому дуговидне решето оригінальної конструкції позбавлене гострих крайок, не потребує очищення отворів від забивання і забезпечує розділення зернової маси у відцентровому силовому полі [14].

Основним недоліком такої схеми є відносна складність регулювання системи аспірації, яка є замкненою, з двократним очищенням від легких домішок. Крім складності регулювання за рахунок перерозподілу швидкостей повітряного потоку, дана система має збільшену масу і габарити.

**Постановка проблеми.** На основі зазначеного вище можна сформулювати робочу гіпотезу: спрощення конструкції даної машини і зменшення розмірів при забезпеченні задовільних показників ефективності очищення зерна дозволить підвищити її привабливість для потенційних користувачів.

**Виклад основного матеріалу.** Розробку нової зерноочисної машини почнемо зі створення схеми, узгодження питань взаємного розташування основних робочих органів і елементів конструкції. Схему запропонованого сепаратора наведено на рис. 1. Спрощення конструкції даної машини і зменшення розмірів при забезпеченні задовільних показників ефективності очищення зерна, на нашу думку, дозволить підвищити її привабливість для потенційних користувачів.

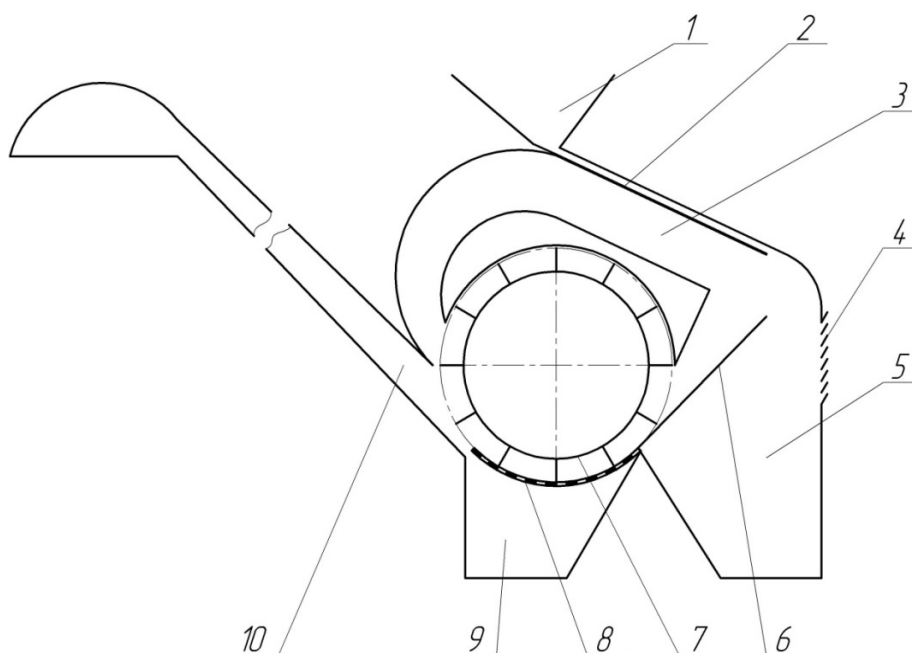


Рисунок 1 – Конструктивна схема відцентрового пневморешітного сепаратора з однократним очищенням зерна повітряним потоком

*Джерело: розроблено авторами*

Колосове решето, що встановлене на машині є нерухомим, прутковим без поперечних перетинок. Для переміщення зернової маси, кут встановлення колосового решета  $\alpha$  (рис.2) повинен бути більшим ніж кут тертя часток оброблюваного матеріалу по ньому

$$\alpha > \varphi.$$

Кут тертя по сталі зерна більшості вирощуваних сільськогосподарських культур становить  $\alpha = 0,35 \dots 0,5$ . Таким чином, кут нахилу колосового решета повинен бути

$$\alpha > \arctg(0,35 \dots 0,41) = 19,3 \dots 22,3^\circ.$$

Реальне значення кута встановлення нерухомого пруткового (струнного) колосового решета визначимо експериментально.

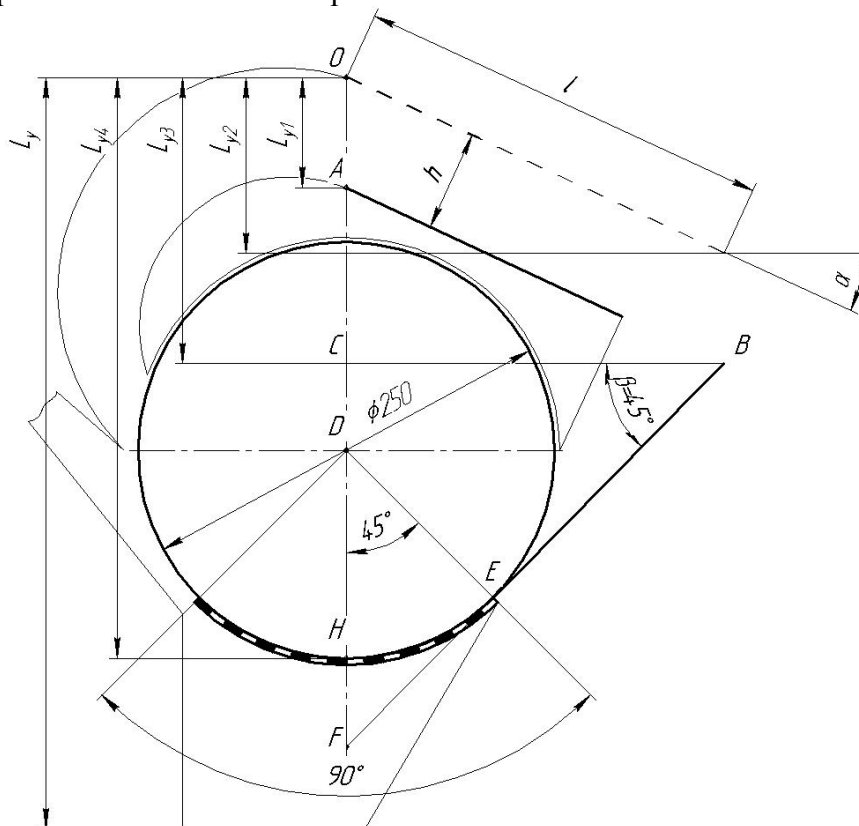


Рисунок 2 – Схема до визначення вертикального габариту запропонованого сепаратора  
Джерело: розроблено авторами

Довжина колосового решета становитиме

$$L = \frac{q_b}{q_F},$$

де  $q_b$  – кг/дм·год. – допустиме питоме завантаження одиниці ширини колосового струнного решета при потрібній повноті виділення домішок;

$q_F$  – допустиме питоме завантаження одиниці площі нерухомого струнного колосового решета.

Глибина повітряного каналу повинна бути регульованою, оскільки від неї залежить швидкість повітряного потоку. За створення повітряного потоку відповідає лопатевий ротор, який ще виконує функції прискорювача зерна для руху по дуговидному підсівному решету, очисника його отворів і викидача очищеного зерна. Попередніми дослідженнями [14, 15] встановлено, що для задовільної повноти розділення різних зернових сумішей на підсівному решеті, показник кінематичного режиму повинен бути близьким до значення  $K=314$ , що відповідає частоті обертання ротора 1500 об/хв. при зовнішньому діаметрі 250 мм. З урахуванням зазначеного вище, регулювання швидкості повітряного потоку шляхом зміни частоти обертання ротора є недоцільним і варіювання швидкості руху повітря у каналі раціонально здійснювати

шляхом регулювання його висоти  $h$ . Встановлення робочої висоти повітряного каналу будемо здійснювати експериментально, тому, для теоретичного визначення габаритів запропонованого сепаратора скористаємося позначенням найбільшої висоти каналу  $h_{\max}$ .

Таким чином, вертикальна проекція (габарит) повітряного каналу становить

$$L_{y1} = \frac{h_{\max}}{\cos \alpha}.$$

Вертикальна проекція (габарит) колосового решета (рис. 1) становить

$$L_{y2} = l \cdot \sin \alpha = \frac{q_b}{q_F} \cdot \sin \alpha.$$

Таким чином, максимальний вертикальний габарит колосового решета з повітряним каналом складе

$$L_{y3} = L_{y1} + L_{y2} = \frac{h_{\max}}{\cos \alpha} + \frac{q_b}{q_F} \cdot \sin \alpha.$$

Параметри підсівного решета і ротора приймаємо як і у базової машини, оскільки вони будуть використовуватися без змін:

- діаметр ротора  $D = 250$  мм;
- центральний кут підсівного решета  $\frac{\pi}{4}$  ;
- радіус решета  $R = 125$  мм;
- кут встановлення підсівного решета  $\alpha_{II} = 45^\circ$  .

Вісь обертання решета встановлюємо на вертикалі, опущеній з початку повітряного каналу (точка  $A$ ), причому початок підсівного решета (точка  $E$ ) з'єднається з кінцем повітряного каналу (точка  $B$ ) напрямним жолобом таким чином, щоб кут  $BED$  становив  $90^\circ$ . Дана умова необхідна для уникнення ефекту «завихрення» зерна при переході з жолоба до решета.

Визначимо вертикальний габарит  $L_{y4}$ .

$$L_{y4} = L_{y3} + CH$$

$$CH = CD + DH = CD + R.$$

Очевидно, що

$$CD = CF + DF,$$

де складові рівняння визначиться як

$$CF = CB \cdot \operatorname{tg} \beta = l \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{q_b}{q_F} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta,$$

$$DF = \frac{DE}{\cos \beta} = \frac{R}{\cos \beta}.$$

Таким чином, з урахуванням знайдених величин:

$$CD = \frac{q_b}{q_F} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{R}{\cos \beta}.$$

З урахуванням знайдених складових запишемо:

$$CH = \frac{q_b}{q_F} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{R}{\cos \beta} + R.$$

Тож вертикальний габарит  $L_{y4}$  становитиме

$$L_{y4} = \frac{h_{\max}}{\cos \alpha} + \frac{q_b}{q_F} \cdot \sin \alpha + \frac{q_b}{q_F} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{R}{\cos \beta} + R.$$

$$L_{y4} = \frac{q_b}{q_F} (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta) + \frac{h_{\max}}{\cos \alpha} - R \left( \frac{1}{\cos \beta} - 1 \right).$$

З урахуванням встановлення під ротором приймального дрібних домішок  $H_d$ , загальний вертикальний розрахунковий габарит (висота) запропонованої схеми відцентрового пневморешітного сепаратора становитиме

$$L_{y4} = \frac{q_b}{q_F} (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta) + \frac{h_{\max}}{\cos \alpha} - R \left( \frac{1}{\cos \beta} - 1 \right) + H_d.$$

Очевидно, що загальна висота є меншою ніж у базової машини, вертикальний габарит якої становить близько 1400 мм, однак оцінити кількісно дану різницю можна буде лише після проведення експериментальних досліджень і визначення конкретних значень технологічних параметрів  $q_b$  і  $q_F$ .

**Висновки.** На основі проведення попередніх розрахунків можна зробити наступні висновки:

- використання запропонованої схеми дозволить, напевно, зменшити висоту і масу відцентрового пневморешітного сепаратора зерна;
- заміна двократного повітряного очищення однократним дозволить спростити регулювання машини;
- експериментальне встановлення показників технологічної ефективності  $q_b$  і  $q_F$  запропонованого сепаратора дозволить теоретично визначати габарити і автоматизувати процес проектування зерноочисних машин, створюваних за подібною схемою.

## Список літератури

1. Малі фермери та домогосподарства в сільському господарстві та сільській економіці: оцінка їх ролі та заходи з підтримки їх сталого розвитку. веб-сайт. URL: <https://kse.ua/wp-content/uploads/2021/07/Smallholders-KSE.pdf> (дата звернення: 10.10.2021).
2. Котов Б. І., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2003. Вип. 33. С.53-59.
3. Васильковський О. М., Петренко Д. І. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2005. Вип. 35. С. 286–288.
4. Дідур В. А., Чебанов А. Б. Обґрунтування технологічних режимів пневмосепараторів з пилоосаджувальною камерою при сепарації рушанки насіння ризици. *Механізація сільськогосподарського виробництва.* 2011. Вип.107, т.1. С. 319 – 325.
5. AEROMEN – Виробник зерноочисного обладнання: веб-сайт. URL: <https://aeromeh.com.ua/catalog/separatory-sad/> (дата звернення: 10.10.2021).
6. Машина предварительной очистки МПО-50М. Руководство по эксплуатации МПО-50.00.0 МРЭ. Воронеж: ООО «Воронежсельмаш», 2017. 55 с.
7. Лузан П. Г., Васильковський О. М. Нові конструкції решіткових сепараторів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 1999. Вип. 27. С. 123-127.
8. Півень М. В. Обоснование процесса сепарирования зерновых смесей плоскими вибрационными решетками. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin.* 2015. Vol.17 №.7. 163–169.
9. Tishchenko L., Kharchenko S., Kharchenko F., Bredykhin V., Tsurkan O. Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. *Eastern-European*

- Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2. № 7 (80). 63–69. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65920
10. Ямпілов С. С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян . Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. 262 с.
  11. Кожуховский И. Е. Зерноочистительные машины . М.: Машиностроение, 1974. 200 с.
  12. Сисолін П. В., Петренко М. М., Свірень М. О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння: підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладн. с.-г. вир-ва". Кн. 3. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
  13. Повітряно-решітний сепаратор: пат. 85117 Україна: МПК В07В 13/08 (2006.01), В07В 7/00, В02В 3/00. № а200703659; заявл. 03.04.2007; опубл. 25.12.2008, Бюл.№ 24, 2008 р
  14. Васильковский О. М. Разработка конструкции та обґрунтування параметрів відцентрового решітного сепаратора зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11. Кіровоград, 2001. 18 с.
  15. Васильковский О. М., Васильковский М. І., Осипов І. М. Обґрунтування конструктивних параметрів інерційного прямооточного сепаратора зерна. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 1999. Вип. 29. С. 234-238.

## References

1. Mali fermery ta domohospodarstva v silskomu gospodarstvi ta silskii ekonomitsi: otsinka yikh roli ta zakhody z pidtrymky yikh staloho rozvytku [Small farmers and households in agriculture and rural economy: assessment of their role and measures to support their sustainable development]. veb-sait. Retrieved from <https://kse.ua/wp-content/uploads/2021/07/Smallholders-KSE.pdf> [in Ukrainian].
2. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P. & Pastushenko, M. H. (2003). Tendentsii rozvytku konstruktсии mashyn ta obladnannia dlia ochyshchennia i sortuvannia zerno materialiv [Trends in the design of machinery and equipment for cleaning and sorting grain materials]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s-h mashyn*. Kirovohrad, Vol. 33, 53-59 [in Ukrainian].
3. Vasytkovskyi, O. M. & Petrenko, D. I. (2005). Pidvyshchennia efektyvnosti povitrianoho ochyshchennia zerna. [Improving the efficiency of air cleaning of grain]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. Kirovohrad, Vol. 35, 286–288 [in Ukrainian].
4. Didur, V. A. & Chebanov, A. B. (2011). Obgruntuvannia tekhnolohichnykh rezhymiv pnevmoseparatoriv z pyloosadzhuvalnoiu kamerou pry separatsii rushanky nasinnia rytsyny. [Substantiation of technological modes of pneumoseparators with dust-depositing chamber during separation of castor bean seedlings]. *Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva*. Kharkiv, Vol 107, t.1, 319-325 [in Ukrainian].
5. АЕРОМЕН – Выробник зерноочысного обладнання: veb-sait [АЕРОМЕН - Manufacturer of grain cleaning equipment]. *aeromeh.com.ua*. URL: <https://aeromeh.com.ua/catalog/separatory-sad/> [in Ukrainian].
6. Mashyna predvartelnoi ochystky MPO-50M. (2017). [Machine pre-cleaning MPO-50M]. Rukovodstvo po ekspluatatsii MPO-50. Voronezh: ООО «Voronezhselmash». [in Russian].
7. Luzan, P.G. & Vasilkovsky, O.M. (1999). Novi konstrukcii reshitkovy`x separatoriv [Design, manufacture and operation of agricultural machinery]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. Vol. 27, 123-127. [in Ukrainian].
8. Piven, M. V. (2015). Obosnovanye protsessa sepyarovaniia zernovykh smesei ploskymy vybratsyonnyimi reshetamy [Justification of the process of separation of grain mixtures with flat vibrating sieves]. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin, Vol.17 (7), 163-169 [in Russian].
9. Tishchenko, L., Kharchenko, S., Kharchenko, F., Bredykhin, V. & Tsurkan, O. (2016). Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, № 7 (80), 63-69. [in English].
10. Yampilov, S.S. (2003). *Tekhnolohicheskoe i tekhnicheskoe obespechenie resurso-energoberegaiushchykh protsessov ochistki i sortirovaniia zerna i semian* [Technological and technical support of resource-energy-saving processes of cleaning and sorting of grain and seeds]. Ulan-Ude: VSHTU [in Russian].
11. Kozhukhovskii, Y.E. (1974). *Zernoochistytelnie mashyny* [Grain Cleaning Machines]. Moscow: Mashynostroenie [in Russian].
12. Sysolin, P.V., Petrenko, M.M. & Sviren, M.O. (2007). Silskohospodarski mashyny: teoretychni osnovy, konstruktciia, proektuvannia. Mashyny ta obladnannia dlia pererobky zerna ta nasinnia [Agricultural machinery: theoretical foundations, construction, design. Machines and equipment for grain and seed processing]. (3d ed.). Kyiv: Feniks [in Ukrainian].

13. Povitriano-reshitnyi separator [Air-lattice separator], pat. 85117 Ukraina: MPK (2006) B07B 13/08, B07B 7/00, B02B 3/00. №a200703659; zaiavl. 03.04.2007; opubl. 25.12.2008, Biul. № 24 [in Ukrainian].
14. Vasytkovskyi, O.M. (2001). Rozrobka konstruktsii ta obgruntuvannia parametriv vidtsentrovoho reshitnoho separatora zerna [Development of design and substantiation of parameters of centrifugal sieve grain separator]. *Extended abstract of Doctor's theses*. Kirovohrad [in Ukrainian].
15. Vasytkovskyi O. M., Vasytkovskyi M. I. & Osypov I. M. (1999). Obgruntuvannia konstruktyvnykh parametriv inertiinoho priamotocnoho separatora zerna [Substantiation of design parameters of inertial direct-flow grain separator]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn. Vol. 29*, 234-238 [in Ukrainian].

**Oleksii Vasytkovskyi**, Prof., PhD tech. sci., **Serhii Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Nesterenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Petrenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Serhii Iakymenko**, Assoc. Prof., PhD phys.&math. sci.

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Substantiation of the Constructive Scheme of the Pneumatic-grain Separator**

The aim of the article is to improve the design of the original centrifugal grain separator. The separator is designed to separate the components of grain materials by size and aerodynamic properties. The basic design satisfactorily performs the technological process, but has large dimensions vertically. Reducing the size will simplify the design and reduce the cost of the machine.

The article proposes to replace the double pneumatic cleaning of grain material with a single one. At the same time the car gets rid of the closed aspiration system. The closed aspiration system has operational advantages, however difficult adjustment reduces indicators of technological efficiency of pneumatic cleaning of grain. The original pneumatic cleaning system allows you to remove light impurities without creating significant air resistance, due to the lack of countercurrent movements. In addition, the use of an inclined pneumatic channel does not require the creation of high-speed airflow. As a result of the proposed improvement simplifies the structure and regulation of the separator, as well as reduces its size and weight. In addition to the modernization of the design of the pneumatic-sieve separator, the article presents the method of design engineering calculation of its basic geometric parameters. Depending on the specific capacity of the upper (ear) sieve and the characteristics of the grain mixture is determined by its length and angle. The remaining geometric parameters are derived from the above.

Based on preliminary calculations, the following conclusions can be drawn. The use of the proposed scheme will reduce the height and weight of the centrifugal pneumatic sieve grain separator. Replacing the double air cleaning with a single one will simplify the adjustment of the machine. Experimental establishment of indicators of technological efficiency of the proposed separator will theoretically determine the dimensions and automate the design process of grain cleaning machines created by a similar scheme.

**separator, grain, substantiation, design, calculation, parameters, aspiration**

*Одержано (Received) 02.11.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 08.11.2021*

*Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021*