**Твердохліб І. В.**

к. т. н., доцент

Спирін А. В.

к. т. н., доцент

*Вінницький національний
аграрний університет***Tverdokhlib I.****Spirin A.***Vinnitsia National Agrarian
University***УДК 631.362.3****До обґрунтування ефективності
повітряно-відцентрової
сепарації і пилоочищення
насіннєвого вороху трав після
теркового пристрою**

Аеробіологічні та фізико-механічні властивості насінників бобових трав не дозволяють їх збирати без втрат виключно комбайновими технологіями. Одним із шляхів підвищення продуктивності процесу виробництва насіння є включення в технологію збирання стаціонарних машин для витирання і сепарації насіннєвого вороху. Суміщення виконання цих важливих операцій однією машиною ще більше підвищить ефективність технологій виробництва насіння бобових трав. Дана робота присвячена розгляду шляхів підвищення ефективності повітряно-відцентрової сепарації і пилоочищення насіннєвого вороху.

Огляд останніх досліджень і публікацій показав що є достатня методична основа для визначення параметрів процесу сепарації вороху і очищення вихідного повітря. Аналіз публікацій дозволив визначити мету досліджень яка полягає в підвищенні ефективності роботи терково-сепаруючого блоку шляхом обґрунтування його схеми і методу теоретичного визначення параметрів процесу сепарації.

За результатами попередніх досліджень запропонована конструктивна схема терково-сепаруючого пристрою. Основними елементами блоку є терковий пристрій який складається з нерухомого і рухомого рифлених дисків та сепаруючого пристрою з роздільними каналами для виходу відсепарованого насіння, солом'яної частини вороху, повітря.

Для підвищення ефективності процесу очищення в сепаруючому пристрої розміщені лопатевий закручувач і жалюзійна насадка які надають повітряному потоку обертового рух навколо вісі корпусу циклона.

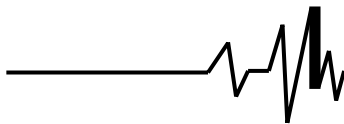
При теоретичних дослідженнях руху частинок в обертальному повітряному потоці були прийняті спрощуючі припущення: частинки мають форму кулі, не деформуються і між собою не взаємодіють, сила інерції спрямована по радіусу циклонної камери, тангенціальна і осьова складові швидкості частинки дорівнюють відповідним складовим швидкості повітря, сила опору частинки визначається за законом Стокса, сила тяжіння набагато менша за відцентрову силу, тому нею нехтуємо.

Отримані формули дозволяють наближено визначити параметри циклонного пристрою який забезпечить сепарацію насіння бобових трав.

***Ключові слова:** ворох, терково-сепаруючий пристрій, повітряний потік, циклон, жалюзійний відокремлювач.*

Постановка проблеми. Перспективним напрямком підвищення ефективності процесу виробництва насіння бобових трав є

удосконалення спеціалізованих стаціонарних машин для витирання та сепарації насіннєвого вороху, конструкція яких включає обертальні



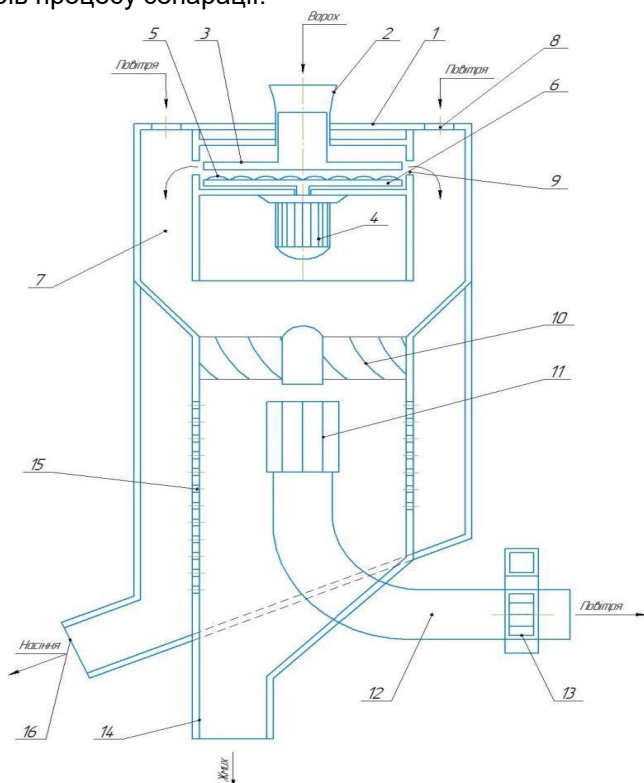
теркові пристрої дискового типу з вертикальною віссю обертання [1]. Розроблені на цей час конструкції таких установок не містять обладнання для очистки як насіння, так і технологічного повітря, що призводить до запиленості робочої зони. Прогресивним напрямком конструювання машин такого типу є суміщення операцій витирання вороху, виділення насіння і знепилення повітряних потоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процесам інерційної сепарації дрібнодисперсних матеріалів у вихрових і обертальних потоках присвячена достатня кількість робіт [1-6]. В роботах [2,3] розглянуті теоретичні основи руху частинок у вихрових і обертальних потоках. В роботах [3,4] наведено методи розрахунків і формули для визначення параметрів прямооточних циклонів ротаційних пиловловлювачів. В останніх наукових працях [5,6] відзначена висока ефективність і перспективність використання прямооточних схем організації процесу сепарації частинок в закручених потоках. Таким чином, є методична основа для визначення параметрів процесу сепарації і їх аналізу.

Мета досліджень. Полягає в підвищенні ефективності роботи терково-сепаруючого блоку шляхом обґрунтуванні його схеми і методу теоретичного визначення параметрів процесу сепарації.

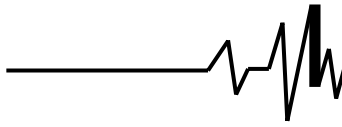
Виклад основного матеріалу дослідження. За результатами попередніх досліджень запропонована конструкція терково-сепаруючого пристрою, що являє собою поєднання дискового теркового пристрою, який має вертикальну вісь обертання, і прямооточного циклона з лопатевим завихрювачем і жалюзійним відокремлювачем. На рисунку 1 показаний можливий варіант конструктивної схеми пропонованого терково-сепаруючого блоку. Детальний опис принципу дії теркового пристрою наведений в роботі [7]. Після теркового пристрою суміш насіння, домішок і пиловидних фракцій через отвори 9 викидається в кільцевий канал 7, де потокам повітря, що подається з вхідних отворів 8 транспортується до циклонного блоку.

Повітряний потік з полідисперсними включеннями проходить через лопатевий закручував 10 і набуває обертального руху навколо вісі корпусу циклона. Частинки матеріалу під дією відцентрової сили рухаються до стінки циклону і вздовж неї потрапляють до вихідного патрубку 14. Повітряний потік очищений від твердої фракції через жалюзійну насадку 11 і канал 12 вентилятором 13 виводиться назовні. Як варіант, використовується решітна поверхня частини корпусу для виведення насінневої фракції.



- 1.- кожух;
- 2.- завантажувальна воронка;
- 3.- диск не рухомий;
- 4.- привід рухомого диску;
- 5.- теркова поверхня;
- 6.- рухомий диск;
- 7.- кільцевий канал;
- 8.- отвір для подачі повітря;
- 9.- отвір виходу обробленого вороху;
- 10.- лопатевий закручував;
- 11.- жалюзійна насадка;
- 12.- канал виведення повітря;
- 13.- вентилятор;
- 14.- канал для відводу солом'яної частини вороху;
- 15.- циліндричне решето;
- 16.- канал для відводу очищеного насіння;

Рис. 1. Схема терково-сепаруючого пристрою



Ефективність сепарації частинок в обертальному повітряному потоці визначимо за спрощеною методикою [2,8] з урахуванням загальноприйнятих спрощуючих припущень: частинки мають форму кулі, не деформуються і між собою не взаємодіють, тобто розглядається рух ізольованої частинки; сила інерції спрямована по радіусу циклонної камери; тангенціальна швидкість частинки дорівнює швидкості повітря; осьова швидкість частинки дорівнює осьовій складовій швидкості повітря; частинка не обертається відносно повітря, тому кориолісове прискорення частинки не враховується; сила опору частинки визначається за законом Стокса; сила тяжіння набагато менша (на два порядки) за відцентрову силу, тому нею нехтуємо; частинка яка досягла стінки корпусу вважається вловленою (осадженою), а інші частинки виносяться. Рух середовища (повітря) відбувається за законом обертання твердого тіла [2,3], тобто тангенціальна швидкість дорівнює:

$$V_{\varphi} = w \cdot R \quad (1)$$

де w – кутова швидкість обертання потоку,
 R – поточна координата частки при рухові за радіусом

На частинку діють сили :

$$\text{- інерції} \quad P_i = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

-опору середовища

$$P_{o.c.} = C(R_e) \cdot S \cdot \rho_{\pi} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (3)$$

$$\text{- відцентрова сила} \quad P_B = m \cdot \frac{V_{\varphi}}{R} \quad (4)$$

де $V_{\varphi}, V = \frac{dR}{dt}$ – відповідно

тангенціальна і радіальна складові швидкості частинки;

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \cdot \rho_{\text{ч}} \quad \text{маса частинки}$$

діаметром d ;

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{міделевий перетин кулястої}$$

частинки;

$$C(Re) = \frac{24}{Re} = \frac{24V}{d \cdot V} \quad \text{коефіцієнт}$$

опору [2];

$$V = \frac{\mu}{\rho_{\pi}} \quad \text{кінематична в'язкість повітря;}$$

$\rho_{\pi}, \rho_{\text{ч}}$ – відповідно густина повітря і матеріалу частинки;

$$\rho_{\pi} \mu \quad \text{динамічна в'язкість повітря ;}$$

t – поточний час.

З урахуванням діючих сил і зазначених співвідношень рівняння, що описує рух частинки, буде мати вигляд

$$\frac{d^2 R}{dt^2} - \frac{1}{\tau} \cdot \frac{dR}{dt} - \omega^2 R = 0, \quad (5)$$

де $\tau = \frac{d^2 \rho_{\text{ч}}}{18\mu}$ – час релаксації (час за який

друга похідна наближається до нуля).

Розв'язок однорідного диференційного рівняння другого порядку (5) відомий і при початкових умовах $t=0$; $R = R_1$; $\frac{dR}{dt} = 0$

матиме вигляд:

$$R(t) = \frac{R_1}{r_1 - r_2} \cdot (r_1 e^{r_2 t} - r_2 e^{r_1 t}), \quad (6)$$

де R_1 – початкова координата частинки в радіальному напрямку руху;

r_1, r_2 – корені характеристичного рівняння

$$r_1, r_2 = -0.5k \pm \sqrt{k^2 - 4\omega^2} \quad (6a)$$

(1)

$$k = \frac{l}{\tau} \quad (6b)$$

Метою теоретичного розрахунку є визначення часу t який витратить частинка на подолання відстані від R_1 (радіуса вставки

завихрувача) до R_2 (радіуса корпусу циклона). Але з рівняння (6) явно визначити t не є можливим.

Якщо знехтувати похідною другого порядку в рівнянні (5), то з отриманого рівняння (4)

$$\frac{dR}{dt} = \tau \omega^2 R \quad (7)$$

можна безпосередньо визначити величину

t . Інтегруючи (7) за початкової умови: $t = 0$

матиме після перетворень:

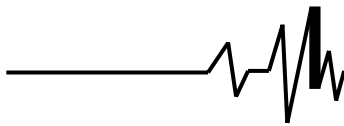
$$t = \frac{l}{\tau \omega^2} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2} = \frac{18\mu}{\rho_{\text{ч}} d^2 \omega^2} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

Тобто частинка діаметром d за час t переміститься від мінімального радіуса R_1 до стінки з радіусом R_2 . З іншого боку, час перебування (обертання) частинки в потоці повітря визначається співвідношенням (7):

$$t = \frac{2\pi}{w \cos \alpha} \cdot n \quad (9)$$

де α – кут нахилу лопаток завихрувала; n – кількість обертів частинки в циліндричній частині циклону.

Прирівнюючи (8) і (9), визначимо мінімальний розмір частинки, яка досягла стінки корпусу:



$$d = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\pi \rho_4 \omega \cdot n} - \ln \frac{R_2}{R_1}} \quad (10)$$

Частинки розміром менші за d виносяться потоком повітря назовні.

Кількість обертів частинки в обертовому повітряному потоці можна визначити наступним чином. Час перебування частинки в потоці t пропорційний куту повороту (обертання) радіус-вектора маси частинки ϕ при кутовій швидкості потоку ω , тобто $t = \frac{1}{\omega} \cdot \phi$, з рівняння (8)

матимемо:

$$\phi(R) = \omega t(r) = \frac{18\mu}{d^2 \rho_4 \omega} \cdot \ln \frac{R}{R_0} \quad (11)$$

Число обертів можна визначити з очевидного співвідношення:

$$n = \frac{\phi}{2\pi} = \frac{9\mu}{\pi d^2 \rho_4 \omega} \cdot \ln \frac{R}{R_0} \quad (12)$$

Кутова швидкість потоку визначається в залежності від середньої (середньовитратної) швидкості осевого потоку U_{zo} :

$$\omega = \frac{U_{zo} \cdot \operatorname{tg} \alpha}{R}, \quad (13)$$

$$U_{zo} = \frac{L_0}{R_2^2 - R_0^2}, \quad (14)$$

де L_0 - об'ємна витрата повітря

Наведені викладки дозволили отримати спрощені формули які дозволяють наближено визначити параметри циклонного пристрою який забезпечить процес сепараційного насіння трав'яних культур.

Висновки. 1. Запропоновано концептуальну схему терково – сепаруючого блоку для суміщення операцій витирання та очищення насінневого вороху бобових трав з одночасним пилоочищенням.

2. Отримані розрахункові формули дозволяють визначити раціональні параметри циклонної камери, що забезпечує процес сепарації.

Список використаних джерел

1. Tverdokhlib I.V., Spirin A.V. Theoretical studies on the working capacity of disk devices for grinding agricultural crop seeds. Inmateh. Agricultural Engineering. (Romania), Bucharest. 2016. Vol. 48. 43–52 p.

2. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха. М.; Стройиздат. 1981. С. 296.

3. Страус В. Промышленная очистка газов. М.; Химия. 1981.С. 615.

4. Степанов Г.Ю., Зицер И. М. Инерционные воздухоочистители. М; Машиностроение. 1986. С. 184.

5. Гаврилів Р.І. Дослідження ефективності прямооточевих циклонів. Автореферат. дис. канд. тех. наук. Львів. 2005.С. 19.

6. Косенко Н.О. Очистка вентиляционных выкидов у вихрових прямооточних апаратах. Автореферат дис. канд. техн. наук. Харків. 2004. С. 18.

7. Твердохліб І.В. Обґрунтування технології та конструктивно – режимних параметрів терково - сепаруючого блоку для обробки вороху трав. Автореферат дис. канд. техн. наук. Вінниця. 2016.-С. 24.

8. Потапов О.П., Кропп А.Д. Батарейные циклоны. М. Энергия. 1977.С. 152.

Список джерел у транслітерації

1. Tverdokhlib I.V., Spirin A.V. (2016). Theoretical studies on the working capacity of disk devices for grinding agricultural crop seeds. Agricultural Engineering. (Romania), Bucharest. 2016. Vol. 48. 43–52 p. [in Romania].

2. Pyrumov A.Y. (1981). Obespylyvanye vozdukh. [Dust removal] M. ; Stroiyzdat. 296. [in Russian].

3. Straus V. (1981). Promyshlennaia ochystka hazov. [Industrial gas cleaning] M. Khymia. 615 p. [in Russian].

4. Stepanov H., Zytser. M. (1986). Ynertsyonnye vozdukhoochystitel. [Inertial Air Purifiers] M. ; Mashynostroeny. 184 p. [in Russian].

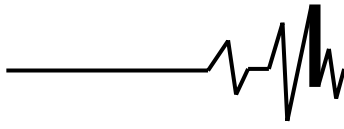
5. Havryliv R.I. (2005) Doslidzhennia efektyvnosti priamotechievykh tsykloniv. [Investigation of the effectiveness of rectilinear cyclones] Avtoreferat. dys. kand. tekhn. nauk. Lviv. 19 p. [in Ukrainian].

6. Kosenko N.O. (2004) Ochystka ventyliatsiinykh vykydiv u vykhrovykh priamotochnykh aparatakh. [Cleaning of ventilation emissions in vortex flow devices] Avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk. Kharkiv. 18 p. [in Ukrainian].

7. Tverdokhlib I.V. (2016) Obhruntuvannia tekhnolohii ta konstruktyvno–rezhymnykh parametriv terkovo - separuiuchoho bloku dlia obrobky vorokhu trav. [Substantiation of technology and structural and operational parameters terkovo-separating unit for processing voroch herbs] Avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk. Vinnytsia. 24 p. [in Ukrainian].

8. Potapov O.P., Kropp A.D. (1977). Batareinye tsyklony. [Battery cyclones] M. ; Enerhiya. 152p. [in Russian].

**К обоснованию эффективности
воздушно-центробежной сепарации и
пылеочистки семенного вороха трав после
терочного устройства**



Агробиологические и физико-механические свойства семенников бобовых трав не позволяют собирать их без потерь исключительно комбайновыми технологиями. Одним из путей повышения производительности процесса производства семян является включение в технологию сборки стационарных машин для вытирания и сепарации семенного вороха. Совмещение выполнения этих важных операций одной машиной еще больше повысит эффективность технологий производства семян бобовых трав. Данная работа посвящена рассмотрению путей повышения эффективности воздушно-центробежной сепарации и пыле очистки семенного вороха.

Обзор последних исследований и публикаций показал, что есть достаточное методическая основа для определения параметров процесса сепарации вороха и очистки выходящего воздуха. Анализ публикаций позволил определить цель исследований которая заключается в повышении эффективности работы терочно-сепарирующего блока путем обоснования его схемы и метода теоретического определения параметров процесса сепарации.

По результатам предыдущих исследований предложена конструктивная схема терочно-сепарирующего устройства. Основными элементами блока являются терочное устройство, которое состоит из недвижимого и движимого рифленых дисков сепарирующего устройства с отдельными каналами для выхода семян, соломенной части вороха, воздуха.

Для повышения эффективности процесса очистки в сепарирующем устройстве размещены лопастной завихритель и жалюзийная насадка которые предоставляют воздушному потоку вращательного движения вокруг оси корпуса циклона.

При теоретических исследованиях движения частиц в вращательном воздушном потоке были приняты упрощая предположение: частицы имеют форму шара, не деформируются и между собой не взаимодействуют, сила инерции направлена по радиусу циклонической камеры, тангенциальная и осевая составляющие скорости частицы равны соответствующим составляющим скорости воздуха, сила сопротивления частицы определяется по закону Стокса, сила притяжения гораздо меньше центробежной силы, поэтому ею пренебрегаем.

Полученные формулы позволяют приближенно определить параметры

циклонного устройства который обеспечит сепарацию семян бобовых трав.

Ключевые слова: ворох, терочно-сепарирующее устройство, воздушный поток, циклон, жалюзийный отделитель.

On the substantiation of the effectiveness of air-centrifugal separation and dust cleaning of seed heap of herbs after the grate device

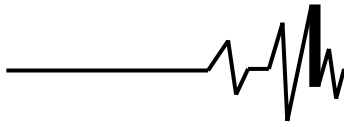
The agrobiological and physico-mechanical properties of leguminous seed plants do not allow them to be harvested without loss exclusively by combine technologies. One way to increase the productivity of the seed production process is to include stationary machines in the assembly technology for wiping and separating seed heaps. Combining these important operations with one machine will further increase the efficiency of legume seed production technologies. This work is devoted to considering ways to increase the efficiency of air-centrifugal separation and dust cleaning seed heaps.

A review of recent studies and publications has shown that there is a sufficient methodological basis for determining the parameters of the process of separation of the heap and purification of the exhaust air. An analysis of the publications made it possible to determine the purpose of the research, which is to increase the efficiency of the grater-separation unit by substantiating its scheme and the method of theoretical determination of the parameters of the separation process.

According to the results of previous studies, a structural scheme of the grater-separating device is proposed. The main elements of the block are a grater device, which consists of a motionless and movable corrugated discs of the separating device with separate channels for the exit of seeds, straw part of the heap, air.

To increase the efficiency of the cleaning process, a blade swirler and a louvre nozzle are placed in the separating device, which provide the air flow with rotational movement around the axis of the cyclone body.

In theoretical studies of the motion of particles in a rotational air flow, the simplified assumption was adopted: the particles are spherical, do not deform, and do not interact with each other, the inertia force is directed along the radius of the cyclonic chamber, the tangential and axial components of the particle velocity are equal to the corresponding components of the air velocity, and the particle resistance force determined by the Stokes law, the force of



attraction is much less than the centrifugal force, so we neglect it.

The obtained formulas allow one to approximately determine the parameters of the cyclone device that will ensure the separation of the seeds of legumes.

Keywords: heap, grater and separator, air flow, cyclone, louver separator.

Відомості про авторів

Твердохліб Ігор Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Спирін Анатолій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету: м. Вінниця, вул. Сонячна 3, ВНАУ, 21008, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com.

Твердохлеб Игорь Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Спирин Анатолий Владимирович - кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета: г. Винница, ул. Солнечная 3, ВНАУ, 21008, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com.

Tverdokhlib Igor – candidate of technical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com.

Spirin Anatoly - candidate of technical sciences, associate professor of the department of general technical disciplines and occupational safety, Vinnytsia National Agrarian University: Vinnytsia, st. Sonyachna 3, VNAU, 21008, e-mail: spirinanatoly16@gmail.com.