УДК 621.793

СЕПАРАЦІЯ НАСІННЯ РІПАКУ

О. О. Богомолов

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: a_bogomolov@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – квітень 2020.

Бібл. 8, рис. 2, табл. 1.

Анотація. Розглянуті питання очищення насіннєвого матеріалу ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин. Встановлено, що на пневмо-решітних сепараторах загального призначення, які як правило використовують і для очищення насіння ріпаку видаляється значна кількість насіння бур'янів, мінеральних та органічних домішок, але повністю видалити важковідокремлюване насіння таких, наприклад бур'янів як мишій, куряче просо, підмареник чипкий та інших не вдається. Запропоновано очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок проводити кидком у повітряне середовище з поданням частинок суміші обертів, використовуючи таким чином окрім аеродинамічних властивостей під час сепарації і гіраційний ефект та ефект Магнуса.

Розраховані початкова швидкість польоту частинок суміші, кутова та окружна їх швидкість при яких можливий процес сепарації на гіраційному сепараторі.

Метою статті є визначення основних конструктивно-кінематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі з валками розташованими один над одним, в якому нижній валок обертається зі швидкістю більшою за верхній, а саме кутові і окружні швидкості вальців, початкову швидкість вильоту насіння, вихід очищеної фракції та енергоємність процесу сепарації.

Проведені дослідження дозволили визначити конструктивно-кінематичні параметри процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі. Ці параметри такі: початкова швидкість частинок після проходження крізь вальці 3,3 м/с, кутова швидкість 1650 1/с, та окружна швидкість 1,65 м/с. Експериментальними дослідженнями встановлено, що за один прохід можна виділити із суміші до 91,1 % насіння ріпаку засміченістю до 2 %, при вихідній 6,6, тобто отримати кондиційне насіння при продуктивності до 100 кг/годину на 0,2 м довжини валка.

Ключові слова: насіння ріпаку, сепарація, гіраційний сепаратор, конструктивно-кінематичні параметри.

Постановка проблеми

Виробництво насіння ріпаку у світі з кожним роком збільшується. Підвищений інтерес до ріпаку обумовлений гарною пристосованістю цієї культури до помірного клімату, високою продуктивністю сучасних сортів прогресивною технологією оброблення, збільшенням потреб у виробництві рослинної олії та високобілкових кормів.

Так, насіння ріпаку є важливим джерелом одержання дешевої рослинної олії та високобілкових кормів. Воно містить до 40...49 % олії, 21...23 % білку, 6...7 % клітковини. Ріпакова олія належить до групи харчових використовується в натуральному вигляді, при виробництві жирів та маргарину, а також у металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній промисловості.

Ріпак можна успішно вирощувати для виробництва кормів (зелена маса, сінаж, силос, трав'яне борошно) в різних посівах, у чистому вигляді та у суміші з іншими культурами. За біохімічними якість ріпаку перевершує інші кормові культури. В 1 кг зеленої маси ріпаку міститься значно більше протеїну, ніж у зеленій масі кукурудзи, соняшнику, ячменю, гороху. Протеїну в ріпаковому силосі більше, ніж у кукурудзяному, в 3 рази.

Ріпак також є гарною сидеральною культурою. Кожний гектар його зораної біомаси при середніх врожаєх еквівалентний внесенню восени та навесні 45...55 тон органічних добрив. Внаслідок того, що при сидеранні необхідність у навантаженні, транспортуванні та розкиданні добрив відпадає то вона набагато вигідніше внесення гною та більш економічна.

Застосування ріпаку як сидерату може підвищити врожай озимої пшениці на 2,8 ц/га, озимого жита – на 3,5 ц/га, ярового ячменю – на 3,3 ц/га, кукурудзи – на 7,5 ц/га, силосної маси кукурудзи на 49 %, картоплі на 50 % і більше.

Озимий ріпак представляє великий інтерес як ранній медонос. Велика кількість нектару у квітках та тривале цвітіння (25...30 днів) дозволяє збирати з кожного гектара ріпаку навесні до 90 кг меду.

Ріпак є одним з кращих попередників пшениці у сівоzmінах. Дослідженнями, проведеними у країнах

Західної Європи, відзначається підвищення врожайності пшениці, що оброблялась після ріпаку більш, ніж на 20% [1, 2].

Останнім часом у деяких країнах, у тому числі й в Україні, ведуться наукові дослідження питань одержання з насіння ріпаку дешевого заміниника дизельного палива [3]. Недостатня вивченість питань очищення насіння ріпаку від насіння бур'янистих рослин мишію, курячого проса та інших стримують його розповсюдження в Україні. Як показала практика насінницьких господарств, однією з основних проблем очищення насіннєвого матеріалу ріпаку є очищення його від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин. Типовою є ситуація коли, після проходження всього циклу післязбиральної обробки, вихід насіння ріпаку I класу становить 35...40 %, а ще 35...40 % повноцінного насіння, по всіх інших показниках задовольняючих вимогам стандарту, не вдається довести до рівня I класу по змісту насіння бур'янистих рослин. Розв'язок цієї проблеми дозволить суттєво підвищити забезпеченість виробничих господарств високоякісним насіннєвим матеріалом ріпаку, одержати значний економічний ефект [4].

Для сепарації насіння ріпаку використовують, як правило, пневмо-решітні сепаратори, що випускаються промисловістю для очищення зернових культур. Трієри не використовуються з-за забивання чарунок олійними домішками. Значна кількість насіння бур'янистих рослин видаляється на зазначених машинах, але повністю видалити насіння таких бур'янів як мишію, курячого проса, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого не вдається. Тому пошук методів та засобів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень

Поділ зернових і інших сумішей кидком у повітряне середовище, як метод сепарації відомий давно.

Для цього застосовуються кидачі сипких матеріалів різних конструкцій. Найпоширенішим є кидач, що складається з двох валків, які обертаються з однаковими кутовими швидкостями в протилежних напрямках, завантажувального пристрою привода та приймачів продуктів поділу [5].

Замість двох валків можна використовуватися один рифлений, на сутність процесу це суттєво не впливає.

Основним недоліком таких кидачів є низька якість сепарації зерна якщо вони використовуються як сепаратори, а не пристрої для його переміщення.

Для підвищення якості сепарації зерна методом кидка в повітряне середовище в запропоновано використовувати й обертовий рух часток суміші, тобто використовувати для сепарації гіраційний ефект і ефект Магнуса. Гіраційний сепаратор запропонований в [6] має значні конструктивні переваги, які полягають у зниженні габаритних розмірів сепаратора та підвищенні якості сепарації насіннєвих сумішей. Схема цього сепаратора представлена на рис. 1.

Сепаратор складається з робочого органа, виконаного з верхнього 1 і нижнього 2 валків, бункера 3 і приймачів продуктів поділу 4. Привод валків з метою забезпечення можливості регулювання частоти обертання здійснюється від електродвигунів постійного струму. Можливо також конструктивне виконання привода від електродвигунів змінного струму через варіатор та клинопасову передачу. На рис. 2 представлений загальний вид гіраційного сепаратора.

Рис. 1. Принципова схема гіраційного сепаратора: 1 – верхній валок, 2 – нижній валок, 3 – бункер, 4 – приймачі продуктів поділу.

Fig. 1. Schematic diagram of the gyration separator: 1 – upper roll, 2 – lower roll, 3 – hopper, 4 – receivers of separation products.

Рис. 2. Загальний вид гіраційного сепаратора.
Fig. 2. General view of the gyration separator.

Мета досліджень

Метою даних досліджень є визначення основних конструктивно-кінематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі.

Результати досліджень

При сепарації зернової суміші в гіраційному сепараторі використовується в сукупності сім ознак подільності: питома вага, довжина, ширина, товщина, форма, шорсткість і аеродинамічні властивості часток. Значимість кожного з ознак проявляється в різному ступені залежно від виду й характеристик зернової суміші, а також режимів руху частки – частоти її обертання й поступальної швидкості.

На зерно що рухається й одночасно обертається в повітряному потоці, крім сили ваги й сили лобового опору, діє ще й сила Магнуса (f_m), яка відхиляє траєкторію зерна, що обертається від траєкторії зерна, яке не обертається (у випадку падіння від прямої лінії) убік, де вектор лінійної швидкості зерна, що обертається збігається з вектором швидкості повітряного потоку, що набігає. При цьому, чим більше буде частота обертання частки, тим більше сила Магнуса. Тому зерна з більшою частотою обертання будуть відхилятися більше, ніж зерна з меншою частотою або ті що зовсім не обертаються. Необхідно також відзначити, що зерна, поперечний переріз яких відрізняється від кругового (плоскі, витягнуті й т.п.), при виході з міжвалкового зазору або зовсім не одержують обертання, або закручуються менше, чим зерна, форма яких близька до кругової. Тому вони в повітряному потоці будуть переміщатися з меншим відхиленням і впадуть в приймачі розташовані, ближче до осі живильника, тобто в ті які розміщені ближче до осі робочого органа.

При цьому якщо частота обертання верхнього

валка менше ніж нижнього, то частки, що мають більшу частоту обертання, завдяки силі Магнуса й поступальній швидкості, перемістяться в далекі від живильника приймачі, а частки з меншою частотою обертання надходять у приймачі, розташовані ближче.

Зазор між вальцями сепаратора вибирається меншим середнього діаметра сепаруємих часток для забезпечення їхньої захвату в робочу зону. При цьому частка виконує два рухи: обертається навколо своєї осі з кутовою швидкістю ω_0 і рухається поступально зі швидкістю V_0 . Вальці з радіусами $R_{ep1}=R_{ep2}=R$ з кутовими швидкостями ω_{1ep} і ω_{2ep} відповідно.

Радіус частки – r . Позначимо окружні швидкості вальців V_1 і V_2 . Тоді

$$\begin{aligned} V_1 &= \omega_{1ep} R_{ep1}; \\ V_2 &= \omega_{2ep} R_{ep2}. \end{aligned} \quad (1)$$

З кінематичних міркувань будемо мати:

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{1}{2}(V_1 + V_2) = \frac{R_{ep1}}{2}(\omega_{1ep} + \omega_{2ep}); \\ \omega_{0ep} &= \frac{1}{2r}(V_1 - V_2) = \frac{R_{ep2}}{2r}(\omega_{1ep} - \omega_{2ep}). \end{aligned} \quad (2)$$

Співвідношення (2) дають можливість обчислювати з урахуванням геометричних розмірів і частот обертання вальців поступальну й обертальну швидкості частки на початку її польоту.

З аеродинаміки відомо [5, 7], що ефект Магнуса в максимальному ступені проявляється за умови

$$U = 4 \cdot V_0, \quad (3)$$

де U – окружна швидкість обертання частки, м/с.

$$\text{У нашому випадку } U = \omega_{0ep} \cdot r = \frac{\pi n_0}{30}.$$

Звідки з урахуванням (3)

$$n_0 = \frac{120 \cdot V_0}{\pi \cdot r}. \quad (4)$$

Остаточно одержимо

$$\frac{n_2}{n_1} = 0,6. \quad (5)$$

Для прикладу були проведені розрахунки початкової, кутової і окружної швидкостей вильоту насіння ріпаку після проходження через вальці при частоті обертання верхнього вальця $n_1=90 \text{ с}^{-1}$, нижнього – $n_2=150 \text{ с}^{-1}$ і зазору між вальцями $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

При цьому кутові швидкості вальців ($\omega_{\text{вр}}, \text{ л/с}$) будуть відповідно рівні

$$\omega_{1\text{вр}} = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{\pi}{30} 900 \approx 90 \text{ л/с}$$

$$\omega_{2\text{вр}} = \frac{\pi n_2}{30} = \frac{\pi}{30} 1500 \approx 150 \text{ л/с}.$$

Окружна швидкість ($V, \text{ м/с}$) верхнього вальця становить:

$$V_1 = \omega_{1\text{вр}} \cdot R = 90 \cdot 0,0275 = 2,475 \text{ м/с};$$

а нижнього

$$V_2 = \omega_{2\text{вр}} \cdot R = 150 \cdot 0,0275 = 4,125 \text{ м/с},$$

де R – радіус вальців, м; $R=0,0275 \text{ м}$;

V_1, V_2 – окружні швидкості вальців, м/с.

Враховуючи окружні швидкості вальців, можна розрахувати початкову ($V_0, \text{ м/с}$), кутову ($\omega_{\text{вр}}, \text{ л/с}$) і окружну ($u, \text{ м/с}$) швидкості польоту насіння ріпаку.

Початкова швидкість ($V_0, \text{ м/с}$) вильоту насіння ріпаку становить:

$$V_0 = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) = \frac{1}{2}(2,475 + 4,125) = 3,3 \text{ м/с}$$

Кутова швидкість ($\omega_{0\text{вр}}, \text{ л/с}$) насіння ріпаку становить:

$$\omega_{0\text{вр}} = \frac{1}{2r}(V_2 + V_1) = \frac{1}{2 \cdot 0,001}(4,125 - 2,475) = 1650,0 \text{ л/с}.$$

де r – радіус насіння ріпаку, м; $r=0,001 \text{ м}$.

Тоді окружна швидкість ($u, \text{ м/с}$) насіння ріпаку

$$u = \omega_{0\text{вр}} \cdot r = 1650 \cdot 0,001 = 1,65 \text{ м/с}.$$

Насіння ріпаку при проході крізь вальці отримують початкову швидкість польоту, рівну 3,3 м/с, кутову швидкість – 1650 л/с і окружну швидкість – 1,65 м/с.

В таблиці 1 представлені результати експериментальних досліджень процесу сепарації насіння ріпаку засміченістю 6,6 % з урахуванням здрібненого насіння ріпаку.

Таблиця 1. Результати сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі.

Table 1. The results of separation of rapeseed on a gyration separator.

Найменування показників	Номера фракцій (приймачів)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Розподіл суміші по фракціях, %	1,2	0,3	0,6	2,1	2,7	15,4	70,2	7,5
Насіння ріпаку, %					2,3	14,7	69,1	7,3
Легкі домішки, %	1,2	0,3	0,6					
Здрібнене насіння ріпаку, %		0,9	0,7	0,5				
Бур'яниста домішка, %					0,4	0,7	1,1	0,2

З табл.1. видно, що легкі домішки (пил, полова, шматочки стебел і т.п.) потрапили в перші чотири приймачі. В 5-8 приймачі потрапили насіння ріпаку й бур'яниста домішка. Аналіз таблиці показує, що при об'єднанні вмісту 6-8 приймачів можна одержати 91,1 % насіння ріпаку із засміченістю до 2 %. Продуктивність сепаратора становила 90 кг/годину, при довжині валків 0,2 м.

Енергоємність процесу сепарації з використанням гіраційного ефекту та ефекту Магнуса визначали експериментально на розробленому гіраційному сепараторі при частоті обертання верхнього вала 90 с^{-1} , нижнього – 150 с^{-1} . У результаті випробувань встановлено, що питома витрата енергії на процес сепарації становить усього 0,11 кВт·г/т, що в 2,5 рази менша, ніж у пневматичних сепараторів і більш ніж у 30 разів нижча, за пневмосортувальні столи.

Висновки

1. Таким чином проведені дослідження дозволили визначити конструктивно-кінематичні параметри процесу сепарації насіння ріпаку на гіраційному сепараторі. Ці параметри такі: початкова швидкість

частинок після проході крізь вальці 3,3 м/с, кутова швидкість 1650 л/с, та окружна швидкість 1,65 м/с.

2. Експериментальними дослідженнями встановлено, що за один прохід можна виділити із суміші до 91,1 % насіння ріпаку засміченістю до 2 %, тобто отримати кондиційне насіння при продуктивності до 100 кг/годину на 0,2 м довжини валка.

Список літератури

1. Скрыпник А. В. О программе развития агропромышленного сектора юго-восточной части Украины до 2003 года. Збірник наукових праць інституту олійних культур УАН, 1999. Вип. 4. С. 213–216.
2. Лукьяненко В. М. Обоснование параметров процесса сепарации семян рапса и сурепки на вибрационной машине: Автореф. дис., канд. техн. наук: 05.05.11 Харьковський інститут механізації і електрифікації сільського господарства. Харків, 2001. С. 20.
3. Серебряный М. И. Тракторные дизели работают на растительном топливе. Тракторы и

сельскохозяйственные машины. 1992. № 3. С. 42–44.

4. *Богомолов О. О.* До питання сепарації насіння ріпаку. Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. Харків. 2016. Вип. № 179. С. 59–63.

5. А.с. №994365. СРСР. В65G31/04 Опубл. 7.02.83 Бюл. №5.

6. Деклараційний патент №63054 А Україна, МКВ В07 В7/01, В07В13/10. Спосіб сепарування сипких матеріалів та пристрій для його здійснення: Богомолов О. В. №2002043080, Заявл. 16.04.2002. Опубл. 15.01.2004. Бюл. №1.

7. *Karintsev I. B.* Hydroaeroelasticity [Text]: textbook. Sumy: Sumy State Univ., 2017. 234. ISBN 978-966-657-692-0.

8. *Богомолов А. В.* Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей: монография. Харьков: ХНТУСГ имени Петра Василенка. 2013. 308 с.

References

1. *Skrypnik A. V.* (1999). On the program for the development of the agricultural sector of the south-eastern part of Ukraine until 2003. Collection of scientific works of the Institute of Oilseeds UAAS, Vol. 4. P. 213–216.

2. *Lukyanenko V. M.* (2001). Justification of the parameters of the process of separation of rapeseed and colza seeds on a vibrating machine: Avtoref. dis., Candidate of technical sciences: 05.05.11 Kharkiv Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture. Kharkov, P. 20.

3. *Serebryaniy M. I.* (1992). Tractor diesels run on vegetable fuel. Tractors and agricultural machinery. No. 3. P. 42–44.

4. *Bogomolov O. O.* (2016). On the issue of separation of rapeseed. Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KhNTUSG. Kharkiv. Issue 179. P. 59–63.

5. А.с. №994365. СССР. В65G31/04 Publ. 7.02.83 Bull. №5.

6. Declarative patent №63054 A Ukraine, MKV В07 В7 /01, В07В13/ 10. The method of separation of bulk materials and device for its implementation: Bogomolov O. V. №2002043080, Application. 16.04.2002 Publ. 15.01.2004 Bulletin. №1.

7. *Karintsev I. B.* (2017). Hydroaeroelasticity [Text]: textbook. Sumy: Sumy State Univ. 234 p. ISBN 978-966-657-692-0.

8. *Bogomolov A. V.* (2013). Separation of hard to separate bulk mixtures. Monograph. Kharkov: KhNTUSG named after Petro Vasilenka. 308 p.

СЕПАРАЦІЯ СЕМЯН РАПСА

О. О. Богомолов

Аннотация. Рассмотрены вопросы очистки семенного материала рапса от трудноотделимых семян сорных растений. Установлено, что на пневморешетных сепараторах общего назначения, которые как правило используют и для очистки семян рапса удаляется значительное количество семян сорняков,

минеральных и органических примесей, но полностью удалить трудноотделяемые семена таких, например сорняков как щетинник сизый, куриное просо, подмаренник цепкий и других не удастся. Предложено очистку семян рапса от трудноотделяемых примесей проводить броском в воздушно среду с приданием частичкам смеси вращения, используя таким образом кроме аэродинамических свойств при сепарации также гириционный эффект и эффект Магнуса.

Рассчитаны начальная скорость полета частиц смеси, угловая и окружная их скорость, при которых возможен процесс сепарации на гириционном сепараторе.

Целью статьи является определение основных конструктивно-кинематических параметров процесса сепарации семян на гириционном сепараторе с валками расположенными друг над другом, в котором нижний валок вращается со скоростью большей чем у верхнего, а именно угловые и окружные скорости валцов, начальную скорость вылета семян, выход очищенной фракции и энергоемкость процесса сепарации.

Таким образом проведенные исследования позволили определить конструктивно - кинематические параметры процесса сепарации семян на гириционном сепараторе. Эти параметры таковы: начальная скорость частиц после прохода через валцы 3,3 м/с, угловая скорость 1650 1/с, и окружная скорость 1,65 м/с. Экспериментальными исследованиями установлено, что за один проход можно выделить из смеси до 91,1% семян засоренностью до 2%, при исходной 6,6 %, то есть получить кондиционные семена при производительности до 90 кг / час на 0,2 м длины валка.

Ключевые слова: семена рапса, сепарация, гириционный сепаратор, конструктивно-кинематические параметры.

RAPESEED SEPARATION

O. O. Bogomolov

Abstract. The issues of purification of rapeseed from heavy weeded seeds have been considered. It has been established that general purpose pneumatic separator separators, which are generally used to cleanse rapeseed seeds, remove significant amounts of weed, mineral and organic impurities, but completely remove heavyseparate seeds such as weeds such as mice, chicken millet, the submarine is fragile and the others fail. It is suggested to cleanse rapeseed from heavy impregnated impurities by throwing it into the air with a mixture of rotating particles, thus using, in addition to the aerodynamic properties during the separation, the gyrating effect and the Magnus effect.

The initial flight velocity of the particles of the mixture, the angular and circumferential velocities at which the separation process at the gyratory separator is possible are calculated.

The purpose of the article is to determine the basic structural-kinematic parameters of the process of separation of rapeseed on a gyratory separator with rolls located one above the other, in which the lower roll rotates at a speed greater than the upper, namely angular and

circumferential speeds of the rolls, the initial speed of departure of seeds, exit and the energy intensity of the separation process.

Thus, the studies made it possible to determine the structural-kinematic parameters of the process of separation of rapeseed on a gyratory separator. These parameters are: the initial velocity of the particles after passing through the rollers 3.3 m/s, the angular velocity 1650 1/s, and the circumferential velocity of 1.65 m/s. Experimental studies have established that up to 91.1 % of rapeseed can be separated from the mixture by up to 2 % at the initial 6.6 %, in one pass, ie to obtain conditioned seeds at a productivity of up to 100 kg/h for 0.2 m of roll length.

Key words: rapeseed, separation, gyratory separator, structural-kinematic parameters.

О. О. Богомолов ORCID 0000-0001-8297-2708.