

A new design of the spiral-type residue cleaner has been developed. It improves the performance of potato harvesting machines preventing operating elements from sticking with wet soil (by installing spirals with mutual overlapping). The separation intensity is achieved by eccentric installation of spirals.

A mathematical model of the movement of a tuber along the cleaning surface formed by two spirals is developed in order to substantiate the optimal kinematics and design parameters of a new spiral-type potato cleaner. On the basis of computer-calculated analytical expressions, graphical dependences between the parameters of the considered process of movement of a tuber between two adjacent spirals were constructed. That allowed identifying the optimal design and kinematics parameters of the spiral separator. While analyzing the kinematics of movement of a tuber along the surface of the spiral-type cleaner under conditions of contact of the tuber at two points to one spiral and at one point to another, we established that as the angular velocity of the spiral rotation increases, the transporting capacity of the operating element also increases, and the separation capacity is somewhat reduced.

potato, harvesting, cleaning from residues, movement, mathematical model, computer calculations

Одержано (Received) 29.11.2019

Прорецензовано (Reviewed) 04.12.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019

УДК 631.33

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2019.49.59-66>

К.В. Васильковська, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: vasilkovskakv@ukr.net

Визначення раціональних параметрів пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок та інерційним видаленням зайвого насіння

В статті запропоновано нову конструкцію пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок на висівному диску та пасивним пристроєм, що дозволяє видаляти зайве насіння інерційним способом та забезпечити точний висів насіння просапних культур. Проведена серія досліджень запропонованого висівного апарата для насіння цукрових буряків дозволила визначити вплив розрідження у вакуумній камері висівного апарата та колової швидкості комірок на коефіцієнт заповнення комірок. Запропонована конструкція нового пневмомеханічного висівного апарата дозволяє значним чином знизити вакуум в системі, при цьому збільшується колова швидкість комірок висівного диска до значень поступальної швидкості посівного агрегату, що забезпечує сталу точку скидання насіння з висівного диска та однакові траєкторії їх польоту до борозни при якісному заповненні комірок. Для досягнення поставлених задач з визначення раціональних параметрів та режимів роботи висівного апарата використовувався метод планування багатофакторного експерименту. При цьому були визначені основні рівні та інтервали варіювання факторів для висіву насіння цукрових буряків при визначенні коефіцієнта заповнення комірок висівного диска. За допомогою пакету прикладних програм Statistica 6.0. для параметра оптимізації – коефіцієнта заповнення комірок побудовано поверхню відгуку та лінії рівного виходу.

пневмомеханічний висівний апарат, висівний диск, експеримент, коефіцієнт заповнення комірок, розрідження, колова швидкість комірок

К.В. Васильковская, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Определение рациональных параметров пневмомеханического высевающего аппарата с периферийным расположением ячеек и инерционным выдалением лишних семян

В статье предложено новую конструкцию пневмомеханического высевающего аппарата с периферийным расположением ячеек на высевающем диске и пассивным устройством, которое позволяет удалять лишние семена инерционным способом и обеспечивает точный высев семян просапных культур. Проведенная серия исследований предложенного высевающего аппарата для семян сахарной свеклы позволила определить влияние разрежения в вакуумной камере высевающего аппарата и круговой скорости ячеек на коэффициент заполнения ячеек. Предложенная конструкция нового пневмомеханического высевающего аппарата позволяет значительным образом снизить вакуум в системе, при этом увеличивается круговая скорость ячеек высевного диска до значений поступальной скорости посевного агрегата, что обеспечивает постоянную точку сбрасывания семян с высевного диска и одинаковые траектории их полета к борозне при качественном заполнении ячеек. Для достижения поставленных задач с определением рациональных параметров и режимов работы высевного аппарата использовался метод планирования многофакторного эксперимента. При этом были определены основные уровни и параметры варьирования факторов для посева семян сахарной свеклы при определении коэффициента заполнения ячеек высевного диска. С помощью пакета прикладных программ Statistica 6.0. для параметра оптимизации – коэффициента заполнения ячеек построено поверхность отклика и линии ровного выхода.

пневмомеханический высевающий аппарат, высевающий диск, эксперимент, коэффициент заполнения ячеек, разрежение, круговая скорость коморок

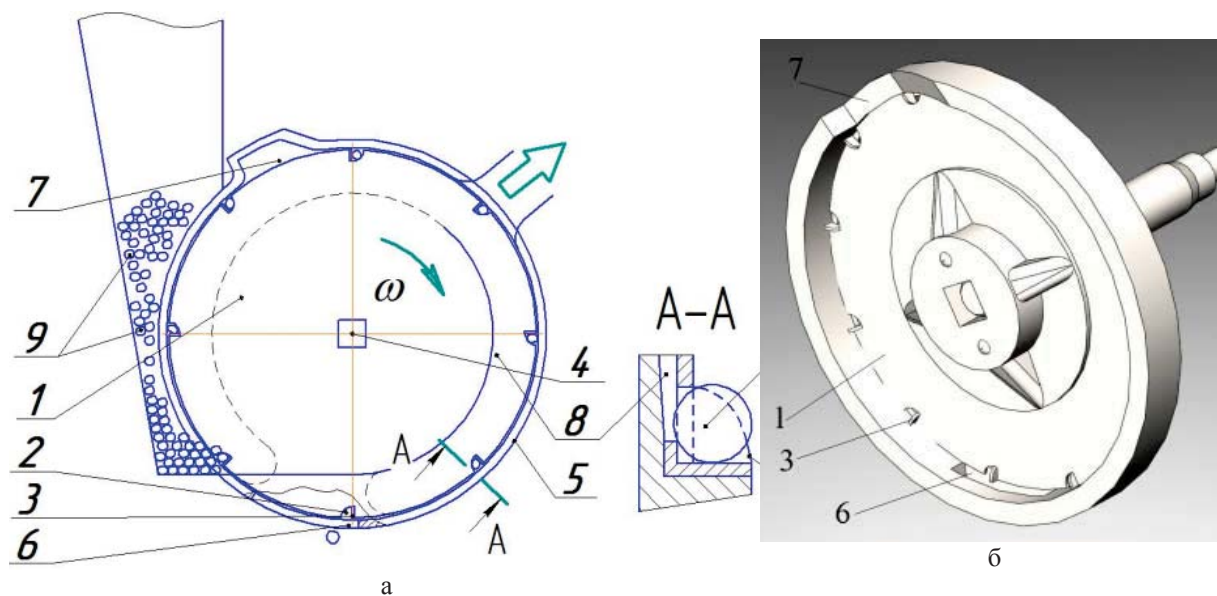
Постановка проблеми. Першочерговою умовою точного землеробства є отримання насінною своєї площі живлення, таким чином паросток отримує свій ореол існування та розвивається найкращим чином. Тому вибір обладнання для сільськогосподарського виробництва на початковому етапі, а саме: сівалки для точного висіву насіння – є першочерговою умовою майбутнього врожаю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні пневмомеханічні висівні апарати для точного висіву, мають недоліки, серед яких: недостатня дозуюча здатність, що викликана обмеженістю колової швидкості висівного диска ($V_k \leq 0,5$ м/с) та присутністю випадкового неконтрольованого перерозподілу інтервалів між насіннями в борозні, який є наслідком великої відносної швидкості насіння при контакті з дном борозни під час руху сівалки на номінальних швидкостях ($V_c = 1,5 \dots 2,5$ м/с). Для виключення перерахованих недоліків пропонується збільшити коловою швидкість висівного диска та узгодити її з поступальною швидкістю посівного агрегату. [1-7].

Постановка завдання. Відомі конструкції сучасних пневмомеханічних висівних апаратів не в повній мірі дозволяють вирішити дану задачу технологічно з урахуванням того, що однонасінневий потік насіння утворюється ще на початковому етапі його формування.

До того ж якість дозування насіння до дна борозни залежить від рівномірності розташування насіння на висівному диску. Тому вибір форми отворів диска є визначальною початковою умовою рівномірного дозування [6].

Виклад основного матеріалу. З метою підвищення технологічної ефективності точного висіву насіння на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету сконструйовано та виготовлено дослідний зразок секції нової пневмомеханічної сівалки для точного висіву насіння просапних культур (рис. 1) [1, 2, 7].



а – схема; б – трьохвимірний модель
 1 – висівний диск; 2 – комірка; 3 – лопатка; 4 – приводний вал; 5 – корпус; 6 – висівне вікно;
 7 – пасивний пристрій для видалення зайвого насіння; 8 – вакуумна камера; 9 – насіння
 Рисунок 1 – Запропонований пневмомеханічний висівний апарат:

Джерело: розроблено авторами із використанням [7]

Головною перевагою нового висівного апарата є наявність особливого висівного диска 1 з периферійним розташуванням комірок 2, за якими на його внутрішній поверхні розмішені лопатки 3 для примусового захоплення насіння в робочій камері апарата та подальшого його транспортування до зони скидання в борозну.

Висівний диск 1 з комірками 2 закріплено на приводному валу 4 та вставлено в циліндричну порожнину корпуса 5 апарата.

При обертанні висівного диска 1, комірки 2 з лопатками 3 входять в шар насіння, де під дією тиску зернового шару та сил тяжіння насінина самостійно потрапляє в комірку висівного диска. За допомогою лопатки 3 відбувається захоплення насінини висівним диском при першому контакті її із шаром насіння, тоді як інші насінини лише підштовхують ту, яка вже контактує з лопаткою, глибше до комірки 2. Таким чином відбувається надійне захоплення насінини та присмоктування її за допомогою повітряного потоку і утримання її в комірці. Після чого захоплена насінина рухається разом із диском.

Форму комірок висівного диска (рис. 2) виконано з розширенням в радіальному напрямку в бік нерухокої циліндричної поверхні корпуса, яка замикає їх об'єм та створює нерухомі зовнішні стінки від зони заповнення до зони висіву. В зоні висіву, на циліндричній поверхні корпуса виконано висівне вікно б, яке розкриває комірки диска та забезпечує вільне випадіння насіння до дна борозни під дією сил тяжіння та залишкових відцентрових сил.

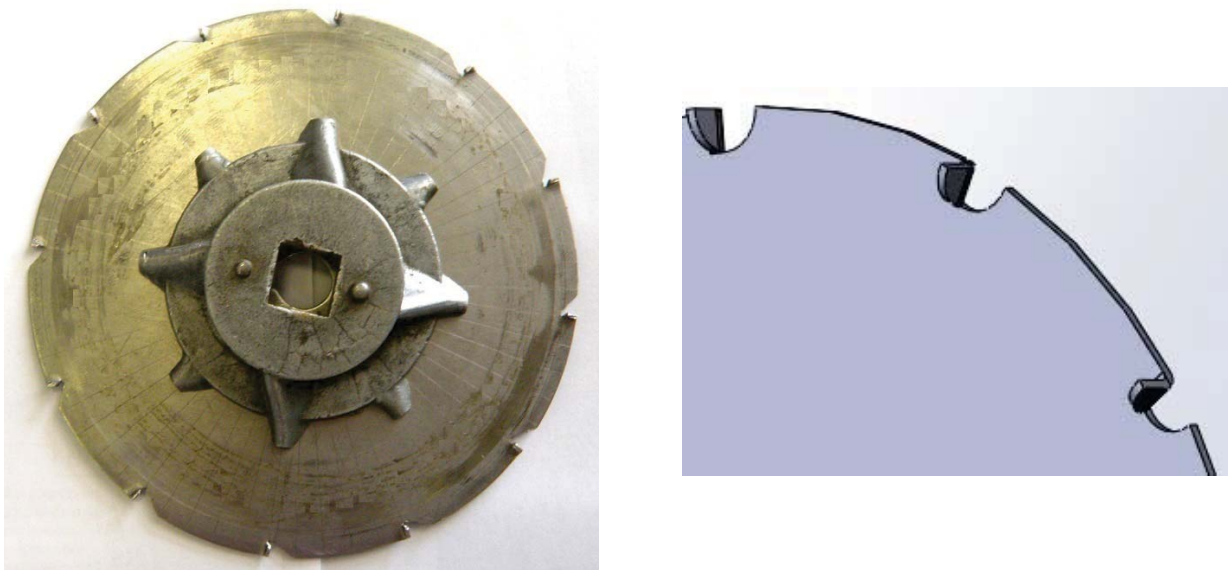


Рисунок 2 – Загальний вигляд та схема висівного диска з периферійним розташуванням комірок
Джерело: розроблено авторами із використанням [7]

З метою видалення зайвого насіння з комірок висівного диска у верхній частині циліндричної поверхні корпуса, над зоною заповнення, виконано пасивний пристрій 7, яким є спеціальна порожнина, до якої потрапляють зайві насінини, відокремлюються від диска, а потім падають в зону заповнення робочої камери.

Запропонована вдосконалена конструкція пневмомеханічного дискового висівного апарата збільшує надійність процесу заповнення комірок висівного диска, підвищує ефективність видалення зайвого насіння та надійність звільнення комірок в зоні висіву, до того ж унеможливує прояви основних недоліків базової конструкції. Забезпечення сталої точки скидання насіння із висівного диска та однакової траєкторії їх польоту до борозни, позитивно впливає на рівномірність розподілу інтервалів між насінням в борозні. Все це дає змогу підвищити колову швидкість висівного диска та збільшити продуктивності висівного апарата.

Перед реалізацією експериментальних досліджень було проведено рандомізацію дослідів для нівелювання впливу факторів, що не контролюються, та забезпечення об'єктивності їх при виборі об'єкта.

Для визначення оптимальних режимів роботи висівного апарата та раціональних його параметрів був використаний метод планування багатофакторного експерименту.

Серія проведених дослідів дозволила реалізувати матриці плану 2^2 Бокса-Хантера, в результаті чого встановлено вплив розрідження у вакуумній камері (ΔP) та колової швидкості комірок висівного апарата (V_k) на якість їх заповнення.

Матриця планування експерименту наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту 2^2

Номер дослідів	ΔP , кПа	V_k , м/с
	x_1	x_2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

Висівна здатність висівного апарату визначалась коефіцієнтом заповнення комірок, який дорівнює відношенню кількості фактично висіяного насіння за певний проміжок часу до кількості комірок висівного диска, що пройшли точку скидання за той же проміжок часу.

Оптимальний розподіл насіння в рядку може бути досягнуто при заповненні комірок без пропусків, тому критерієм оптимізації прийнято коефіцієнт заповнення комірок висівного диска.

Встановлено основні рівні та інтервали варіювання факторів для висіву насіння цукрових буряків для коефіцієнта заповнення комірок (табл. 2).

Таблиця 2 – Рівні факторів при висіві насіння цукрового буряка

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодові		
				верхній	нульовий	нижній	верхній	нульовий	нижній
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Розрідження у вакуумній камері, <i>кПа</i>	ΔP	x_1	$\pm 0,2$	0,5	0,3	0,1	+1	0	-1
Колова швидкість комірок, <i>м/с</i>	V_k	x_2	$\pm 0,5$	2,5	2,0	1,5	+1	0	-1

Для цього етапу експериментальних досліджень використовувався диск з периферійним розташуванням комірок, кількість яких z дорівнювала 12 шт.

Розрідження у вакуумній камері вибрано на основі результатів досліджень [2, 6], відповідно до яких $\Delta P=0,1; 0,5$ кПа та додатково $\Delta P=0,3$ кПа.

Колову швидкість комірок V_k м/с вибрано на основі рекомендацій досліджень, результатів пошукового експерименту [7], відповідно до яких $V_k=1,5; 2,5$ м/с та додатково $V_k=2$ м/с.

Кут розкриття порожнини пасивного пристрою для видалення зайвого насіння в дослідженні становив $\varepsilon=25^\circ$ [7].

Отримано результати реалізації матриці планування експерименту (табл. 3).

Таблиця 3 – Отримано результати реалізації матриці планування експерименту 2²

Номер дослідження	Фактори		Критерій
	Розрідження в вакуумній камері; ΔP , кПа	Колова швидкість комірок висівного диска; V_k , м/с	Коефіцієнт заповнення комірок; K , %
	x_1	x_2	y_2
1	0,1	1,5	83,4
2	0,5	1,5	128,6
3	0,1	2,5	59,1
4	0,5	2,5	114,6

Під час проектування експериментальної установки її конструкція була виконана з можливістю регулювання кожного з параметрів, які мали вплив на процес висіву насіння [2, 6].

Для обробки експериментальних даних застосовувався прикладний пакет STATISTICA 6.0 [8, 9], що дозволило побудувати статистичну математичну модель для коефіцієнта заповнення комірок висівного диска K , ($Y_1=K$).

Статистична оцінка отриманих результатів дозволяє зробити висновки, що досліді рівноточні, оскільки розрахункове значення критерію Кохрена G^P для параметра оптимізації Y при $n=4$ і $f_u=2$ становить $G^P=0,478$ і є меншими за табличне значення $G^P=0,7679$ [10-12], тому робимо висновки, що процес відтворюється. Дисперсія відтворюваності (помилка досліді) дорівнює 0,183.

За допомогою прикладного пакету STATISTICA 6.0 отримано рівняння регресії:

$$Y_1 = 96,425 + 25,175x_1 - 9,575x_2 + 2,575x_1x_2 \quad (1)$$

Після отримання рівняння регресії для коефіцієнта заповнення комірок висівного диска K , були побудовані поверхні відгуку та лінії рівного виходу (рис. 3).

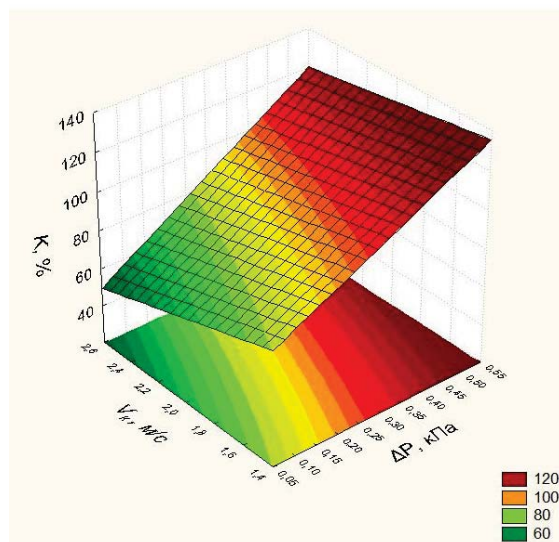


Рисунок 3 – Поверхня відгуку та лінії рівного виходу для коефіцієнта заповнення комірок висівного диска

Джерело: розроблено авторами

Аналіз поверхні відгуку та ліній рівного виходу для оптимального значення коефіцієнта заповнення комірок K , дозволяє отримати раціональні значення досліджуваних факторів, зокрема:

– величина раціонального розрідження у вакуумній камері $x_1 \rightarrow \Delta P$, повинна знаходитись в межах від 0,20 до 0,30 кПа;

– раціональне значення колової швидкості комірок висівного диска $x_2 \rightarrow V_k$, повинно знаходитись в межах від 2,0 до 2,5 м/с.

Найбільш впливовим фактором на процес заповнення комірок висівного диска дослідного пневмомеханічного висівного апарату є величина розрідження, яка для досягнення коефіцієнтом заповнення комірок значення $K=100\%$, повинна становити $\Delta P=0,2 \dots 0,3$ кПа при колій швидкості комірок $V_k=2,0 \dots 2,5$ м/с.

Збільшення величини розрідження та зменшення колової швидкості комірок призводить до зростання коефіцієнту заповнення внаслідок погіршення умов скидання зайвого насіння.

Висновки. Найбільш впливовим фактором на процес заповнення комірок висівного диска дослідного пневмомеханічного висівного апарату є величина розрідження, яка для досягнення коефіцієнтом заповнення комірок значення $K=100\%$ повинна становити $\Delta P=0,2\dots 0,3$ кПа при коловій швидкості комірок $V_k=2,0\dots 2,5$ м/с.

Таким чином, конструкція досліджуваного пневмомеханічного апарата дозволить збільшити колову швидкість комірок та зменшити їх кількість на висівному диску, і в значній мірі зменшити розрідження у вакуумній камері.

Запропонований пневмомеханічний висівний апарат дозволяє підвищити технологічність процесу висіву насіння просапних культур та зменшити його енергоємність.

Список літератури

1. Пневмомеханічний висівний апарат; заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет: пат. 77191 U Україна: МПК А01С 7/04 (2006.01). №u201203339; заявл. 20.03.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
2. Vasytkovska K.V., Vasytkovskyi O.M., Sviren M.O., Kulik G.A. Analysis of the works performed by pneumatic and mechanical seeding device without using vacuum, *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol.56, No.3. Bucharest / Romania, 2018. pp. 25-30.
3. Sydorchuk O., Lub P., Malanchuk O. Impact of meteorological conditions on the need in adaptive performing of technological operations of soil tillage and crop sowing, *ECONTECHMOD: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes*. V. 3, No. 4. Lublin-Rzeszów / Poland, 2014. pp. 35-39.
4. Rybar R. Influence of elements of the sowing machine on the yield and developmental dynamics of the grown sugar-beet, *Listy cukrov, 115/3*. Prague / Czech Republic.1999. pp. 74-76.
5. Mursec B., Vindis, P., Janzekovic, M., Cus, F., Brus, M. Analysis of the quality of sowing by pneumatic sowing machines for sugar beet. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 22.1. Gliwice / Poland, 2007. pp. 85-88.
6. Васильковська, К.В.; Васильковський О.М. Вплив форми і типу комірок висівного диска на якість дозування насіння, *Eastern European Journal of latest technology*, Vol.6, No.7 (72). Kharkov / Ukraine, 2014. pp. 33-36. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29272.
7. Васильковська К.В. Обґрунтування параметрів універсального пневмомеханічного висівного апарата точного висіву: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Кіровогр. нац. техн. ун-т. Кіровоград, 2014. 200 с.
8. Боровиков, В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
9. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL: учебн. пособ. Москва: Форум, 2008. 464 с.
10. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки: навч. посіб. для студ. агротехн. спец. . Харків: Мачулін, 2019. 164 с. ISBN 978-617-7767-56-4.
11. Петренко, М. М. Основи наукових досліджень в сільськогосподарському машинобудуванні. Кіровоград: Кіровоградське державне видавництво, 1997. 148 с.
12. Хайліс, Г. А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навч. посіб. Київ: НМКВО, 1992. 320 с.

Referencis

1. Petrenko, M.M., Vasytkovsky, M. I., Vasytkovska, K.V. (2013), Pat. 77191 U Ukraine, IPC A01S 7/04 (2006.01). Pneumo-mechanical seeding machine. №201203339; stated. March 20, 2012; has been published Feb 11, 2013, Bul. No. 3. [in Ukrainian].
2. Vasytkovska, K.V., Vasytkovskyi, O.M., Sviren, M.O. & Kulik, G.A. (2018). Analysis of the works performed by pneumatic and mechanical seeding device without using vacuum, *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol.56, No.3. – Bucharest / Romania, pp. 25-30 [in English].
3. Sydorchuk, O., Lub, P. & Malanchuk, O. (2014), Impact of meteorological conditions on the need in adaptive performing of technological operations of soil tillage and crop sowing, *ECONTECHMOD*:

- an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes.* V. 3, No. 4, - Lublin-Rzeszów / Poland, pp. 35-39;. [in English].
4. Rybar R., (1999), Influence of elements of the sowing machine on the yield and developmental dynamics of the grown sugar-beet, *Listy cukrov, 115/3.* pp. 74-76, Prague / Czech Republic [in English].
 5. Mursec B., Vindis, P., Janzekovic, M., Cus, F., Brus, M., (2007), Analysis of the quality of sowing by pneumatic sowing machines for sugar beet, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering.* 22.1: pp. 85-88, Gliwice / Poland [in English].
 6. Vasylykivska, K.V. & Vasylykovskyy, O.M. (2014). Influence of the shape and type of seed cells drive on the quality of dispensing seeds, *Eastern European Journal of latest technology, Vol.6, No.7 (72),* 33-36 (DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29272) [in Ukrainian].
 7. Vasylykivska, K.V. (2014). Obgruntuvannya parametriv universalnoho pnevmomekhanichnoho vysivnoho aparata tochnoho vysivu: dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk: spets. 05.05.11. «Mashyny i zasoby mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva». Kirovohrad [in Ukrainian].
 8. Borovykov, V. (2003). *STATISTICA. Yskusstvo analiza dannykh na kompiutere: Dlia professionalov.* SPb.: Pyter. 688 p. (in Russian).
 9. Vukolov, E. A. (2008). Osnovy statystycheskoho analyza. Praktikum po statystycheskym metodam y yssledovanyiu operatsiyi s yspolzovanyem paketov STATISTICA y EXCEL: Uchebnoe posobyie. Moscow: Forum [in Russian].
 10. Vasylykovskyy, O.M., Leshchenko, S.M. & Vasylykivska, K.V., Petrenko D.I. (2019). Osnovy naukovykh doslidzhen. Pershi naukovi kroky. Kharkiv: Machulin, 164 p. ISBN 978-617-7767-56-4. [in Ukrainian].
 11. Petrenko, M.M. (1997). *Osnovy naukovykh doslidzhen v silskohospodarskomu mashynobuduvanni.* Kirovohrad: Kirovohradske derzhavne vydavnytstvo [in Ukrainian].
 12. Khailis, H.A. & Konovaliuk, D.M. (1992). *Osnovy proektuvannya i doslidzhennia silskohospodarskykh mashyn:* Navch. Posibnyk. Kyiv: NMKVO [in Ukrainian].

Kateryna Vasylykivska, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Determination of Rational Parameters Pneumomechanical Seeding Machine with Peripheral Arrangement of the Cell and Inertial Edition of Extra Seeds

Modern pneumatic sowing drill devices of high precision, despite a long history of their creation and improvement, have several disadvantages, the main ones are: insufficient dosing capacity caused by limited seed angular velocity of the disk ($V_k \leq 0,5$ m/s) and the presence of uncontrolled redistribution random intervals between the seeds in the furrow, because of the high relative speed of the seed in contact with the latter during the drills movement with nominal speeds ($V_c = 1,5...2,5$ m/s). Eliminating these deficiencies is achieved by increasing the angular velocity of the sowing disk and its harmonization with the drills travelling speed.

In the article we provide the new design of pneumatic sowing machine with peripheral cells on the seed disk and a passive device for removing extra seeds with inertia method for precise seeding of cultivated crops. A series of studies was proposed for sugar beet seeds sowing device, we defined the influence of dilution in a vacuum chamber of sowing device and angular velocity cell seed disk on the cells filling factor. The design of the new pneumatic sowing machine can significantly reduce the vacuum in the system having increased the angular speed in cell seed disk to the values of seeding device travelling speed, thus provide a constant point of seeds drop from the seed disc at the same trajectory of their flight to the furrows and the qualitative cells filling. To determine the rational parameters and modes of sowing device we used method of multifactor experiment planning. We determined the main levels and intervals of varying factors for sugar beet sowing along with determining the filling factor of cell seed disk. With application of package Statistica 6.0. for parameter optimization - cell seed disk filling factor was constructed response surface and line of even output.

Thus, the design of the investigated pneumomechanical apparatus will allow to increase the circular velocity of the cells and reduce their number on the seeding disk, and to a considerable extent reduce the vacuum in the vacuum chamber. The proposed pneumomechanical seeding machine allows to increase the processability of sowing seeds of sown crops and reduce its energy intensity.

Одержано (Received) 29.09.2019

Прорецензовано (Reviewed) 24.10.2019

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2019