УДК 631.331

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ОДНОЗЕРНОВИХ ВИСІВНИХ АПАРАТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МОРФОЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ

Гевко Богдан Матвійович *д.т.н., професор*
Лотоцький Роман Іванович *аспірант*
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Білик Стефанія Григорівна *к.т.н., доцент*
ВП НУБіП «Бережанський агротехнічний інститут»
Пришляк Віктор Миколайович *к.т.н., доцент*
Вінницький національний аграрний університет
Hevko B.
Lototsky R.
Ternopil National Technical University named after Ivan Pul'uj
Bilyk S.
VP NUBiP "Berezhany Agrotechnical Institute»
Pryshlyak V.
Vinnytsia National Agrarian University

Анотація: *приведена конструкція висівного агрегату механічної дії, виведено аналітичні залежності для визначення кутової швидкості, абсолютне прискорення зернин при роботі апарату та інше. На основі розробленої моделі руху частинок висівного апарату проведена структуризація конструкції висівних апаратів для їх вдосконалення на основі теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.*

В результаті синтезу за допомогою морфологічного аналізу ієрархічних груп було згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів механічних апаратів точного висіву насіння, які захищені п'ятьма патентами України на винаходи.

Ключові слова: *математична модель, рух насіння по конічних і плоских поверхнях, висівні апарати, морфологічний синтез.*

Постановка проблеми

Одержання високих і стабільних врожаїв залишається актуальною проблемою сільськогосподарського виробництва. При вирощуванні сільськогосподарських культур особливу увагу необхідно звертати на сівбу, тому що допущені помилки при її виконанні неможливо виправити. Із розвитком технологій покращилась і якість насіння. Тому питання, які ставляться до точного, однозернового висіву насіння набуло актуальності і потребує раціональних рішень і нових.

Аналіз останніх досліджень

Рух частинок по шорстких поверхнях сільськогосподарських машин детально проаналізовано в роботах Василенка П.М. [1], а також в інших джерелах. У випадку, коли частинка рухається по поверхні з прокачуванням, широко використовується модель кулі. В роботі [2] представлено розв'язок задачі про рух кулі по довільній кривій. Ударну взаємодію сферичних частинок із робочими поверхнями машин розглянуто в роботах Морозова І.В. [3], а також роботі Гевко Б.М. [4] наведено модель руху зерна по рухомим поверхням висівних апаратів. Аналіз взаємодії частинок, відмінних від кулі, з робочими органами машин наведено в роботі [1]. Тому, обґрунтування параметрів руху посівного матеріалу по обертових конусних поверхнях висівних апаратів є актуальним і залишається не повністю дослідженим.

Мета досліджень

Метою роботи є розроблення методики розрахунку одно зернових висівних апаратів за допомогою морфологічного синтезу.

Основна частина

Технологічний процес роботи висівного апарата точного висіву, здійснюється наступним чином. В бункер 1 і корпус висівного апарату засипається насіння і включається привід висівного апарату. З центрального привідного вала 2 через конічні шестерні 3, карданний вал 4 крутний момент передається на карданний вал і диск 5. При обертанні диска, насінини 6 заповнюють комірки 7 і переміщаються по колу по доріжці ковзання до виштовхувального кінця одновиткової пружини 8. При зустрічі зернини 6 з виштовхувальним кінцем через отвір, випадають в насінепровід. Останні попадають на лопатки 9 розпридільчого диска 10 і при його провертанні насінини з нульовою горизонтальною швидкістю

випадають на дно канави необхідної глибини нарізаної сошником 11. Після цього канавка загортається загортачами 12, а грунт ущільнюється опорно-копіювальним привідним колесом 13.

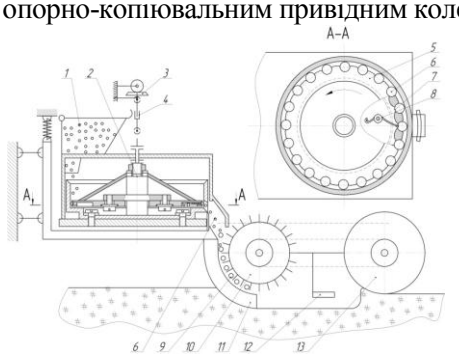


Рис. 1. Висівний апарат точного висіву [8]

Проектування багатьох сільськогосподарських машин, зокрема висівних апаратів, неможливе без визначення кінематичних і динамічних параметрів переміщення матеріалу по поверхнях машин.

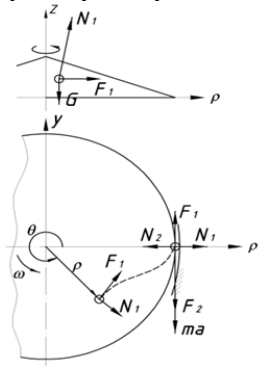


Рис. 2. Розрахункова схема руху насінини по поверхні висівного диска

У випадку посівних апаратів переміщення частинок може відбуватись без взаємодії з іншим посівним матеріалом, а тому, визначення траєкторій руху окремої частинки, визначення параметрів його взаємодії з рухомими поверхнями, деталей апаратів, є важливою наукової задачею, що дозволяє на етапі проектування забезпечувати високі вимоги до їх точності.

Розглянемо рухому конусну поверхню диска висівного апарату діаметром кожуха D_0 в циліндричній системі координат $O\rho\theta z$, що обертається з кутовою швидкістю ω.

Рівняння такої поверхні в циліндричній системі координат

$$\rho_1 = u;\ \theta_1 = \varphi_1;\ z_1 = u_1 \operatorname{ctg}\beta. \tag{1}$$

Рівняння циліндричної поверхні кожуха:

$$\rho_2 = D_0/2;\ \theta_2 = \varphi_2;\ z_2 = u_2, \tag{2}$$

де u_i та φ_i - відповідно лінійний та кутовий незалежні параметри кожної із поверхонь.

Згідно закону збереження енергії для зернини під час кочення виконується рівність:

$$\frac{m v_c^2}{2} + \frac{I\dot{\phi}_e^2}{2} + \frac{k_t \dot{\phi}_e^2}{2} = mg\Delta h \tag{3}$$

де m - маса зерна; v_c - швидкість руху центра мас зерна; I - момент інерції еліпсоїда навколо вісі навколо центральної вісі обертання; k_t - дисипативний коефіцієнт розсіювання енергії; Δh - рівень розміщення зерна по висоті робочої зони, $\Delta h = -y_{0c}$.

Значення модуля кутової швидкості обертання еліпса:

$$|\omega| = \sqrt{\frac{-mgy_{0c}}{\frac{m\sqrt{(\dot{x}_{0c})^2 + (\dot{y}_{0c})^2}}{2} + \frac{I}{2} + \frac{k_t}{2}}} \tag{4}$$

За зміною кутової швидкості згідно (4) визначено лінійну швидкість зернини.

Виведені залежності дають можливість визначити траєкторію руху центра мас зерна по конусній поверхні диска висівного апарату та закон зміни швидкості частинок, для чого розроблено

відповідні алгоритми та програмне забезпечення.

З використанням принципу Даламбера рівняння руху потоку зернин має вигляд:

$$\bar{N}_1 + \bar{F}_1 + \bar{N}_2 + \bar{F}_2 + \bar{G} - m\bar{a} = 0 \qquad (5)$$

де $\bar{N}_2$ та $\bar{F}_2$ - відповідно вектори сил нормальної реакції циліндричної поверхні кожуха та сили тертя від її дії, $\bar{F}_2 = \mu_2 N_2$. Вектор рівнодійної реакції поверхонь диска ($i = 1$) та циліндричного кожуха ($i = 2$) у полярній системі координат, аналогічно записано $\bar{R}_i = \bar{N}_i + \bar{F}_i = \{\alpha_{\rho i} N_i; \alpha_{\theta i} N_i; \alpha_{zi} N_i\}$, де $\alpha_{\rho i}, \alpha_{\theta i}$ та α_{zi} - відповідні коефіцієнти (суми направляючих косинусів векторів $\bar{N}_i$ та $\bar{F}_i$ до ортів координатної системи). Для розглядуваного випадку $\alpha_1 = \{\sin\beta; \mu_1; \cos\beta\}$; $\alpha_2 = \{-1; -\mu_2; 0\}$.

Складові швидкості та абсолютного прискорення зернин під час її руху по поверхні кожуха під дією диска:

$$v_\rho = 0;\ v_\theta = u \cdot d\theta / dt; \qquad (6)$$

Після відповідних перетворень реакції поверхонь диска та кожуха відповідно визначатимуть із залежностей:

$$N_1 = mg / \cos\beta;$$
$$N_2 = m(D_0 \dot{\theta}^2 / 2 + g \operatorname{tg}\beta). \qquad (7)$$

Рівняння руху частинки в розгорнутому вигляді має вигляд:

$$\ddot{\theta} - 2\mu_1 g / (D_0 \cos\beta) + \mu_2 (\dot{\theta}^2 + 2g \operatorname{tg}\beta / D_0) = 0 \qquad 8)$$

Для встановленого руху, коли $\ddot{\theta} = 0$, кутова швидкість кругового руху потоку зернин (за умови $\dot{\theta} < \omega$) дорівнює:

$$\omega_A = \dot{\theta} = \sqrt{2g(\mu_1 - \mu_2 \sin\beta) / (\mu_2 D_0 \cos\beta)}. \qquad (9)$$

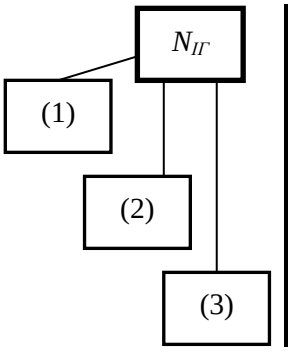
Як випливає із рівняння (9), кутова швидкість кругового руху потоку зернин не залежить від кутової швидкості диска у визначеному діапазоні кутових швидкостей. Проте, для реального насіння, особливо сферичної форми, внаслідок його перекочування реальна кутова швидкість обертання масиву насіння ω_p дорівнює $\dot{\theta} \le \omega_p \le \omega$.

В загальному випадку на рух частинки по рухомих поверхнях висівних апаратів суттєво впливають її відхилення від правильної сферичної форми, а тому в точних розрахунках технологічних процесів сільськогосподарського виробництва та проектуванні відповідних машин вплив таких відхилень доцільно враховувати.

На основі розробленої моделі руху частинки висівного матеріалу необхідно провести структуризацію конструкцій механізмів для їх вдосконалення на основі теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу [5, 6, 7].

Із запропонованого синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу проведено групування конструктивних елементів (рис. 1.): 1– висівний барабан; 2 – виштовхувач; 3 – механізм приводу; до другої ієрархічної групи: 4 – бункер; 5 – регулювальний механізм; до третьої ієрархічної групи: 6 – двигун-редуктор. Відповідно при кодуванні використали наступну схему кодів конструктивних елементів висівних апаратів з використанням символу «і» (де «і» змінюється в межах від 1 до ∞):

Морфологічну модель можна представити у вигляді морфологічної матриці, що утворена шляхом числового позначення відповідних альтернатив (рис. 3).

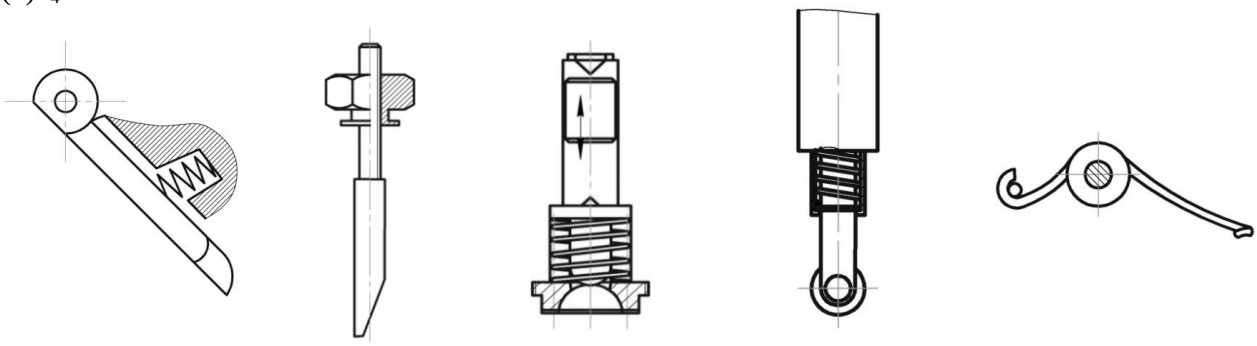


$$N_{ІГ} = \sum_{z=1}^{l} \prod_{i=1}^{m} K_i = 4 \cdot 5 \cdot 2 + 4 \cdot 3 + 4 = 56$$

(1)1_1, (1)1_2, (1)1_3, (1)1_4;
(1)2_1, (1)2_2, (1)2_3, (1)2_4, (1)2_5,;
(1)3_1, (1)3_2;
(2)4_1, (2)4_2, (2)4_3; (2)4_4;
(2)5_1, (2)5_2, (2)5_3.
(3)6_1, (3)6_2, (3)6_3, (3)6_4.

Рис. 2. Модель механічної системи « зернових висівних апаратів »: (1) – перший ієрархічний рівень; (2) - другий ієрархічний рівень; (3) - третій ієрархічний рівень

- для першого ієрархічного рівня: $(1)1_1$ - $(1)1_4$ (рис. 3); $(1)2_1$ - $(1)2_5$ (рис. 4); $(1)3_1$ - $(1)3_2$ (рис. 5); - для другого ієрархічного рівня: $(2)4_1$ - $(2)4_4$; (рис. 6) $(2)5_1$ - $(2)5_3$;- для третього ієрархічного рівня: $(3)6_1$ - $(3)6_4$..



$(1)2_1$ $(1)2_2$ $(1)2_3$ $(1)2_4$ $(1)2_5$

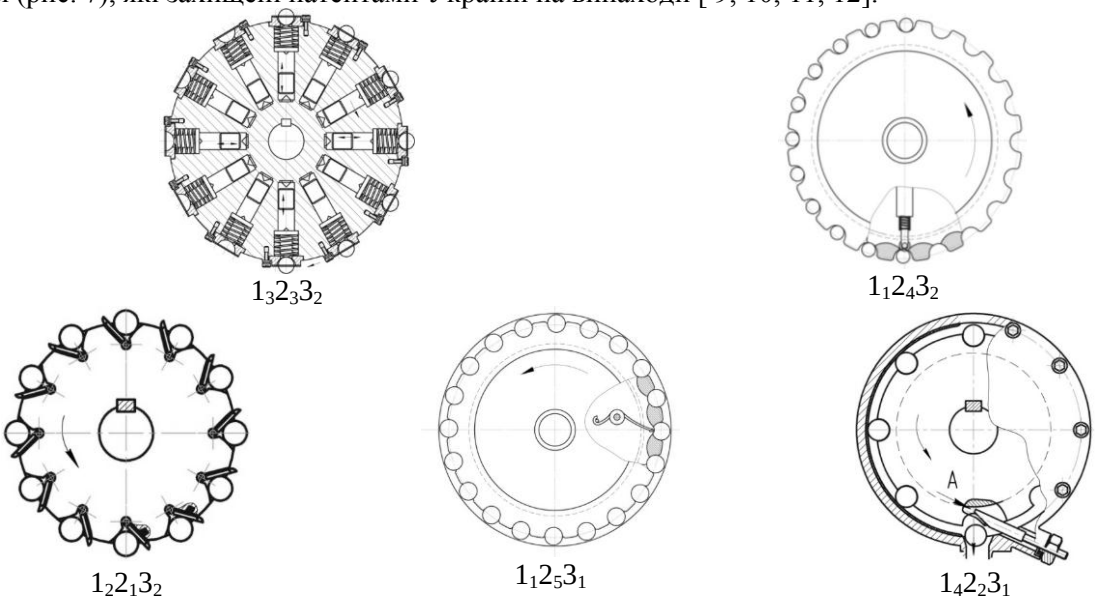
Рис. 4. Варіанти конструкцій штовхачів

$(1)3_1$ $(1)3_2$

Рис. 5. Варіанти конструкцій механізмів передачі крутного моменту: (1) 3_1 – ексцентричне розміщення валів; (1)3_2 – прямолінійне розміщення валів

На основі методу морфологічного аналізу конструктивних варіантів механізмів апаратів точного висіву кількість альтернатив буде: $N = \prod_{j=1}^{n} K_j = 1920$ варіантів, а при використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу: $N_{IГ} = \sum_{z=1}^{l} \prod_{i=1}^{m} K_{iz} = 56$, що майже у 34 рази менше. Це показало, що використання запропонованого методу значно полегшує пошук найкращих компоновок конструктивних елементів зернових висівних апаратів які представлені на рисунку 6.

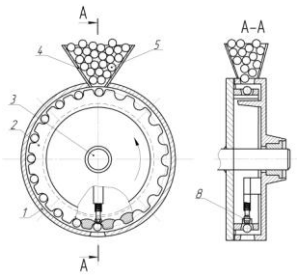
В результаті синтезу за допомогою морфологічного аналізу ієрархічних груп було згенеровано працездатні конструкції альтернативних варіантів механічних апаратів точного висіву насіння (рис. 7), які захищені патентами України на винаходи [9, 10, 11, 12].



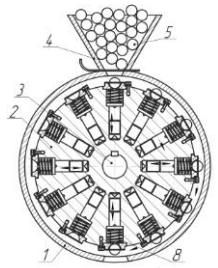
$1_32_33_2$ $1_12_43_2$

$1_22_13_2$ $1_12_53_1$ $1_42_23_1$

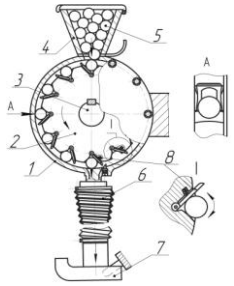
Рис. 6. Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня



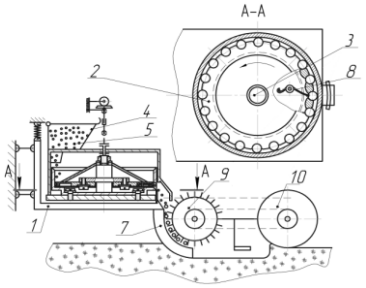
а) Патент [№ 76866]



б) Патент [№78429]



в) Патент [№79517]



г) Патент [№79649]

Рис. 7. Синтезовані конструкції альтернативних апаратів точного висіву насіння, захищених патентами України

Висновки

В результаті проведених досліджень розроблено модель руху частинки висівного матеріалу, що дає можливість визначити кінематичні та силові параметри під час взаємодії насінини з конічними та плоскими висівними дисками. Виведено аналітичні залежності для визначення траєкторії руху зернин по поверхні обертового диска, кутову швидкості обертання масиву насіння і реакції поверхонь диска та кожуха. Наведено схему і принцип роботи механічного апарата точного висіву насіння.

Запропоновано спосіб структуризації конструкцій механічних апаратів точного висіву насіння і методику їх вдосконалення на основі дослідження властивостей елементів їх структури відповідно до теорії синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу.

Список літератури

1. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин [Текст] / П.М. Василенко. - К.: УАСХН, 1960.-289 с.

2. Басин В.С. Машины для точного посева промышленных культур : конструирование и расчет. [Текст] / В.С.Басин, В.В.Брей, Л.В. Погорелый К.: Техника, 1987.- 157.С.

3. Морозов І.В. Технологічні і технічні основи удосконалення конструкцій сошників зернових сівалок. Автореф. док. техн. наук. [Текст] / І.В. Морозов Харків, 2003. 36с.

4. Гевко Б.М. Математична модель руху зерна по рухомим поверхнях висівних апаратів [Текст] / Б.М, Гевко // Збірникик наукових праць Вінницького національного аграрного університету. - 2012,-Вип. 11. - С.110-114.

5. Бойко А.І. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин [Текст] / Бойко А.І., Свірень М.О., Шмант С.У. - К.: Техніка, 2003.-204 с.

6. Кузнецов Ю.М. Теорія технічних систем [Текст] / Ю.М. Кузнецов, LB. Луці в, С.А. Дубиняк - Київ-Тернопіль, - 1997 - 310 с.

7. Одрин В.М. Морфологический анализ систем: Построение морфологических матриц [Текст] / В.М. Одрин, С.С. Картавов - К.: Наукова думка, 1977. - 183 с.

8. Половинкин В.М. Основы инженерного творчества: Учеб. Пособие для студентов вузов. [Текст] / А.И.Половинкин – М.:Машиностроение, 1988.-368с.

9. Дек. пат. на кор. модель № 76866 Україна, МПК А01С 7/04. Механічний однозерновий висівний апарат / Гевко Б.М., Дзюра В.О., Павельчук Ю.Ф., Заєць М.Л., Лотоцький Р.І.. - № и 2012 13069; заявник і власник патенту Гевко Б.М., Дзюра В.О., Павельчук Ю.Ф., Заєць М.Л., Лотоцький Р.І. ; заявл. 16.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. №8

10. Дек. пат. на кор. модель № 78429 Україна, МПК А01С 7/04. Однозерновий механічний висівний аппарат / Гевко Б.М., Дзюра В.О., Павельчук Ю.Ф., Заєць М.Л., Лотоцький Р.І.. - № и 2012 05327; заявник і власник патенту Гевко Б.М., Дзюра В.О., Павельчук Ю.Ф., Заєць М.Л., Лотоцький РЛ.; заявл. 28.04.2012; опубл. 25.03,2013, Бюл. №6.

11. Дек. пат. на кор. модель № 79517 Україна, МПК А01С 7/04. Однозерновий аппарат висівання насіння з точним розміщенням зерен в ґрунті / Павельчук. П.Ф., Лотоцький Р.І., Дзюра В.О., Гевко І.Б., Білик

С.Г, - № и 2012 12040; заявник і власник патенту Павельчук П.Ф., Лотоцький Р.І., Дзюра В.О., Гевко І.Б., Білик С.Г.; заявл. 19.10.2013; опубл. 25.04.2013, Бюл. №8

12. Дек, пат. на кор, модель № 79649 Україна, МПК А01С 7/20. Однозерновий висівний аппарат сівалки / Гевко Б.М., Павельчук Ю.Ф., Лотоцький Р.І. № и 2012 13069; заявник і власник патенту Гевко Б.М., Павельчук Ю.Ф., Лотоцький Р.І. ; заявл. 16.11.2012; опубл. 25.04.2013, Бюл. №8

References

1.Vasilenko P.M. Teorija dvizhenija chasticy po sherohovatym poverhnostjam sel'skohozjajstvennyh mashin [The theory of motion of a particle on the rough surfaces of agricultural machinery]. [Tekst] – Kiïv. UASHN, 1960. 289 s.

2. Basin V.S. Mashiny dlja tochnogo poseva promyshlennyh kul'tur : konstruirovanie i raschet [Machines for precision seeding of industrial crops: designing and calculation] [Tekst] Kiïv. Tehnika, 1987.- 157.S.

3. Morozov I.V. Tehnologichni i tehnichni osnovi udoskonalennja konstrukcij soshnikiv zernovih sivalok. Avtoref. dok. tehn. nauk [The technological of improvement and technical foundations of of designs coulters grain seeders]. [Tekst] Harkiv, 2003. 36s.

4. Gevko B.M. Matematichna model' ruhu zerna po ruhomim poverhnjah visivnih aparativ [The mathematical model by the movement of grain moving the surfaces of sowing apparatuses]. [Tekst] Zbirnikik naukovih prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. - 2012,-Vip. 11. - S.110-114.

5. Bojko A.I. Novi konstrukciï ґruntoobrobnih ta posivnih mashin [New designs of tillage and sowing machines] [Tekst] - K.: Tehnika, 2003.-204 s.

6. Kuznecov Ju.M. Teorija tehnichnih sistem [Theory of technical systems]. [Tekst] - Kiïv-Ternopil', - 1997 - 310 s.

7. Odrin V.M. Morfologicheskij analiz sistem: Postroenie morfologicheskih matric [Morphological analysis systems: building a morphological matrix] [Tekst]– Kiïv. Naukova dumka, 1977. - 183 s.

8. Polovinkin V.M. Osnovy inzhenernogo tvorchestva: Ucheb. Posobie dlja studentov vuzov [Fundamentals of engineering creativity: Proc. The benefit for college students]. [Tekst] – Moscow. Mashinostroenie, 1988.-368s.

9. Dek. pat. na kor. model' № 76866 Ukraïna, MPK A01S 7/04. Mehanichnij odnozernovij visivnij aparat []/ Gevko B.M., Dzjura V.O., Pavel'chuk Ju.F., Zaєc' M.JI., Lotoc'kij R.I.. - № u 2012 13069; zajavnik i vlasnik patentu Gevko B.M., Dzjura V.O., Pavel'chuk Ju.F., Zaєc' M.L., Lotoc'kij R.I. ; zajavl. 16.11.2012; opubl. 25.04.2013, Bjul. №8

10. Dek. pat. na kor. model' № 78429 Ukraïna, MPK A01S 7/04. Odnozernovij mehanichnij visivnij apparat [The mechanical odnozernovyy the seed machine]/ Gevko B.M., Dzjura V.O., Pavel'chuk Ju.F., Zaєc' M.L., Lotoc'kij R.I.. - № u 2012 05327; zajavnik i vlasnik patentu Gevko B.M., Dzjura V.O., Pavel'chuk Ju.F., Zaєc' M.L., Lotoc'kij RL.; zajavl. 28.04.2012; opubl. 25.03,2013, Bjul. №6.

11. Dek. pat. na kor. model' № 79517 Ukraïna, MPK A01S 7/04. Odnozernovij apparat visivannja nasinnja z tochnim rozmishhennjam zeren v ґrunti [Odnozernovyy apparatus seeding seeds with accurate placement of the grains in soil]/ Pavel'chuk. P.F., Lotoc'kij R.I., Dzjura V.O., Gevko I.B., Bilik S.G, - № u 2012 12040; zajavnik i vlasnik patentu Pavel'chuk P.F., Lotoc'kij R.I., Dzjura V.O., Gevko I.B., Bilik S.G.; zajavl. 19.10.2013; opubl. 25.04.2013, Bjul. №8

12. Dek, pat. na kor, model' № 79649 Ukraïna, MPK A01S 7/20. Odnozernovij visivnij apparat sivalki [Odnozernovyy seed sowing apparatus] / Gevko B.M., Pavel'chuk Ju.F., Lotoc'kij R.I. № u 2012 13069; zajavnik i vlasnik patentu Gevko B.M., Pavel'chuk Ju.F., Lotoc'kij R.I. ; zajavl. 16.11.2012; opubl. 25.04.2013, Bjul. №8

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОДНОЗЕРНОВОГО ПОСЕВНЫЕ АППАРАТЫ С ПОМОЩЬЮ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ СИНТЕЗА

Аннотация: *приведена конструкция посевного агрегата механического воздействия, выведены аналитические зависимости для определения угловой скорости, абсолютное ускорение зерен при работе аппарата и прочее. На основе разработанной модели движения частиц посевного аппарата проведена структуризация конструкции высевающих аппаратов для их совершенствования на основе теории синтеза иерархических групп с помощью морфологического анализа.*

В результате синтеза с помощью морфологического анализа иерархических групп было сгенерировано работоспособные конструкции альтернативных вариантов механических аппаратов точного высева семян, которые защищены пятью патентами Украины на изобретения.

Ключевые слова: *математическая модель, движение семян по конических и плоских поверхностях, посевные аппараты, морфологический синтез.*

FEATURES CALCULATION ODNOZERNOVYH SEEDING THE MACHINE BY OF MORPHOLOGICAL SYNTHESIS

Summari: *the current composition of the planting unit of mechanical effect, according to the analytical determination of the angular velocity, acceleration grain absolute machine at work, and more. Based on the model of particles is carried out sowing apparatus patterning design drills to improve them based on the theory of synthesis of hierarchical groups using morphological analysis.*

As a result of synthesis by using morphological analysis hierarchical group was established design workable alternative mechanical sowing and planting machines that are protected by five patents for inventions of Ukraine.

Keywords: *mathematical model, the movement of seeds on conical and flat surfaces, sowing machines, morphological synthesis*