

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 631.331.001.55

DOI:

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНОГО  
ВИСІВНОГО АПАРАТУ

Кюрчев В. М., д. т. н.,

Сербій Є. К., к. т. н.\*

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
ім. Д. Моторного*

Тел. (0619) 42-13-06

**Анотація** – метою досліджень є встановлення експериментальним шляхом впливу швидкості обертання висівного робочого органу, ширини щілини та фізико-механічних властивостей насіння на рівномірність його подачі механічним щілинним висівним апаратом точного висіву.

В статті наведено методику лабораторних досліджень механічного щілинного висівного апарату точного висіву і обробітку експериментальних даних, а також висвітлено результати експериментальних досліджень.

Лабораторну установку виготовлено на базі механічного висівного апарату точного висіву сівалки ССТ-12. Внутрішній діаметр висівного робочого органу складає 190 мм, ширина висівної камери – 50 мм.

В якості висівного матеріалу вибрано насіння сої сорту «Алмаз», розмірні характеристики якого штучно змінювали просіюванням на решетах зі збереженням середнього значення діаметру 5,0 мм та зміненням середньоквадратичного відхилення від 0,1 до 0,4 мм. Привід робочого органу – від електричного двигуна, діапазон регулювання швидкостей – від 0 до 60 об/хв. Для визначення часу між подачею суміжних насінин  $t_i$  використано відеозапис з частотою 120 кадрів/с, такими чином точність реєстрації часу  $\pm 0,0083$  с.

В результаті проведення лабораторних досліджень отримано залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки  $b$ , швидкості обертання робочого органу  $n$  та коефіцієнту варіації розмірів насінин,  $v_c$ . Обґрунтовано раціональні параметри щілинного механічного висівного апарату точного висіву при  $v_c = 3\%$ :  $b = 1,43$  та  $n = 12,8$  об/хв за яких

© Кюрчев В. М., Сербій Є. К.

\* Науковий консультант – д. т. н., проф. Кюрчев В. М.

**рівномірність подачі насіння становить  $v = 8,2\%$ .**

**Ключові слова – насіння, рівномірність подачі, коефіцієнт варіації, механічний щільний висівний апарат, точний висів.**

*Постановка проблеми.* Світові лідери сільськогосподарського машинобудування (ЕЛЬВОРТИ, ЛКМЗ, JOHNDEERE, CLAAS) безперервно вдосконалюють машини і обладнання для аграрного виробництва, змагаючись між собою [1, 2] і ставлячи світові рекорди [3] з метою посилити перші позиції на ринку.

В частині сівалок точного висіву розвиток висівних апаратів відбувається в напрямках підвищення рівномірності та швидкості подачі насіння у борозну, зменшення їх травмування. Так, одне з найкращих технічних рішень з висіву – пневматичний висівний апарат сівалки Tempo (Vaderstad) забезпечує висів з рівномірністю, яка оцінюється коефіцієнтом варіації між насінинами до 25% та швидкістю подачі до 20 насінин у секунду [3]. Зворотною стороною вдосконалення висівних апаратів є:

– суттєве ускладнення конструкції (конструкція пневматичного висівного апарату Tempo (Vaderstad), що розроблена Гелт Гілстрінгом, захищена 52 патентами [4]);

– збільшення енергоємності і металоємності (в середньому витрати пального пневматичними сівалками на 25% більше ніж механічними [5]);

– збільшення кількості швидкозношуваних деталей та вузлів (середній ресурс швидкозношуваних висівних дисків пневматичних сівалок становить до 50 га, проти відсутності швидкозношуваних деталей у механічних [6]).

Задачею висівного апарату є поодинокі, через рівні проміжки часу дозування насіння на дно борозни. З метою спрощення конструкції та зменшення енергоємності запропоновано [7, 8] механічний щільний висівний апарат точного висіву насіння формою близькою до шароподібного: дражоване насіння, соя, горох, буряк.

Запропонований висівний апарат складається з наступних елементів: корпус 1, висівний робочий орган 2 внутрішнього заповнення (складається з двохспіввісних циліндричних ободи однакового діаметру, нерухомо з'єднаних між собою перегородками 4, простір між обідами утворює щілину 3), виштовхувач 5.

При обертанні висівного робочого органу 2 внутрішнього заповнення, у зоні з насінням в паз 3 западають насінини 6. При подальшому обертанні висівного робочого органу 2 насінини 6 у пази 3 виводяться з зони з насінням та подаються до виштовхувача 5, який їх виштовхує на дно борозни (рис. 1).

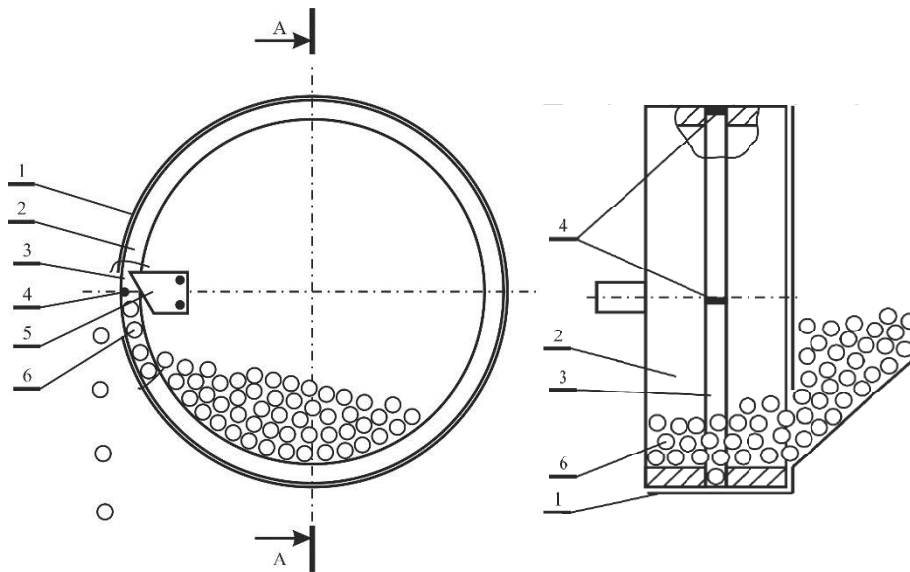


Рис. 1. Схема щілинного механічного висівного апарату точного висіву

Відповідно з теоретичними дослідженнями запропонований висівний апарат з шириною щілини  $H = 9,4$  мм має забезпечувати рівномірність подачі насіння близького до шароподібного (середній діаметр  $D = 5,0$  мм, середньоквадратичне відхилення  $0,15$  мм та коефіцієнт варіації  $\nu_c = 3,0\%$ ) на рівні  $\nu_T = 5,0\%$  [9]. Ці теоретичні дослідження стосуються визначення якісних показників за ідеальних умов – при  $100\%$  заповненні щілини насінням. В реальних умовах, в залежності від швидкості обертання висівного робочого органу, ширини пазу, фізико-механічних властивостей насіння, можуть бути ділянки не заповнені насінням.

Отже, експериментальні дослідження запропонованого щілинного механічного висівного апарату точного висіву з метою визначення впливу швидкості обертання висівного робочого органу, ширини щілини та фізико-механічних властивостей насіння на рівномірність його подачі є актуальним напрямком досліджень.

*Формування цілей статті (постановка завдання).* Встановити вплив швидкості обертання висівного робочого органу, ширини щілини та фізико-механічних властивостей насіння на рівномірність його подачі механічним щілинним висівним апаратом точного висіву.

*Основна частина.* Експериментальні дослідження проведено в лабораторних умовах. Лабораторну установку виготовлено на базі механічного висівного апарату точного висіву сівалки ССТ-12. Внутрішній діаметр висівного робочого органу складає  $190$  мм, ширина висівної камери –  $50$  мм.

В якості висівного матеріалу вибрано насіння сої сорту «Алмаз», розмірні характеристики якого штучно змінювали просіюванням на решетах зі збереженням середнього значення

діаметру 5,0 мм та змінням середньоквадратичного відхилення від 0,1 до 0,4 мм.

Привід робочого органу – від електричного двигуна, діапазон регулювання швидкостей – від 0 до 60 об/хв. Для визначення часу між подачею суміжних насінин  $t_i$  використано відеозапис з частотою 120 кадрів/с, такими чином точність реєстрації часу  $\pm 0,0083$ с.



Рис. 2. Лабораторна установка щілинного механічного висівного апарату точного висіву

Цільовою функцією, яка характеризує рівномірність висіву  $v_t$ , є коефіцієнт варіації [10] часу  $t_i$  між подачами насінин з висівного апарату:

$$v_t = \frac{\sigma}{T}, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення часу  $t_i$  подачі насінин [10];

$T$  – середнє математичне часу  $t_i$  подачі насінин [10].

З попередніх досліджень [11] встановлено найбільш впливові керуючі фактори на цільову функцію  $v_t$ :

- відносна ширина канавки  $b = H/D$ ;
- швидкість обертання робочого органу  $n$ , об/хв;
- коефіцієнт варіації розмірів насінини,  $v_c\%$ .

Такий фактор, як коефіцієнт тертя насіння по робочому органу не прийняли як керуючий, оскільки для висівного матеріалу його прагнуть зробити найменшим, виконуючи передпосівне шліфування насіння або додаючи графітовий порошок. Для більшості видів насіння при передпосівній вологості до 14% варіювання коефіцієнту тертя по сталі, що змінюється в межах від 0,2 до 0,3 [12], не робить істотного впливу на процес.

Нелінійний вплив керуючих факторів на цільову функцію, обумовлює доцільність варіювання факторів на 3 рівнях. Вибір рівнів

факторів та інтервалів варіювання виконано на підставі теоретичних обґрунтувань, апріорної інформації, а також у результаті попередніх експериментальних досліджень (табл. 1). Для спрощення проведення експерименту використано неповнофакторний ортогональний некомпозиційний трифакторний, майже рототабельний, трирівневий план Бокса-Бенкіна [13] з 13 дослідями. Для збільшення точності визначення відгуку та для визначення відсутності впливу мінливості неконтрольованих та некерованих факторів, кожен дослід виконано у 5-кратній повторності.

Для виключення неоднорідностей дискретного та безперервного типу, порядок проведення дослідів рандомизувався [13].

Таблиця 1 – Межі варіювання факторів повного факторного експерименту типу  $3^k$

Показники	Фактори		
	$b$	$n$ , об/хв	$v_c$ , %
Верхній рівень	1,7	10	8
Нульовий рівень	1,5	15	5
Нижній рівень	1,3	20	2

Обробіток експериментальних даних по загальноприйнятій методиці [14] зводиться до отримання функціональної залежності рівномірності подачі насіння від трьох факторів ( $v = v(b, n, v_c)$ ), перевірки однорідності дисперсій, адекватності отриманої функціональної залежності та пошуку її оптимуму. Обробіток експериментальних даних виконано в середовищі комп'ютерної математики Maple.

Обробітком експериментальних даних в середовищі комп'ютерної математики Maple отримано функціональну залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки  $b$ , швидкості обертання робочого органу коефіцієнту варіації розмірів насінини,  $v_c$  (рис. 3):

$$v_t = 423.7 + 193.8 \cdot b^2 + 0.34 \cdot v_c^2 + 0.04 \cdot n^2 - 563.6 \cdot b - 6.6 \cdot v_c - 0.7 \cdot n + 4.04 \cdot b \cdot v_c - 0.26 \cdot b \cdot n + 0.03 \cdot n \cdot v_c \quad (2)$$

Порівняння розрахункового  $G_{\text{НАБЛ}} = 0,15$  та критичного критерію Кохрена  $G_{0.05;4;13} = 0,27$  дозволяє прийняти гіпотезу про однорідність дисперсій, а, отже, відсутність впливу мінливості неконтрольованих та некерованих факторів.

Порівняння розрахункового  $F_{\text{РОЗР}} = 4,9$  та табличного  $F_T = 19,3$  критерію Фішера дозволяє прийняти гіпотезу про адекватність отриманої математичної моделі (2) з 95% ймовірністю.

З аналізу експериментальних даних та отриманої залежності (2), (рис. 3) встановлено:

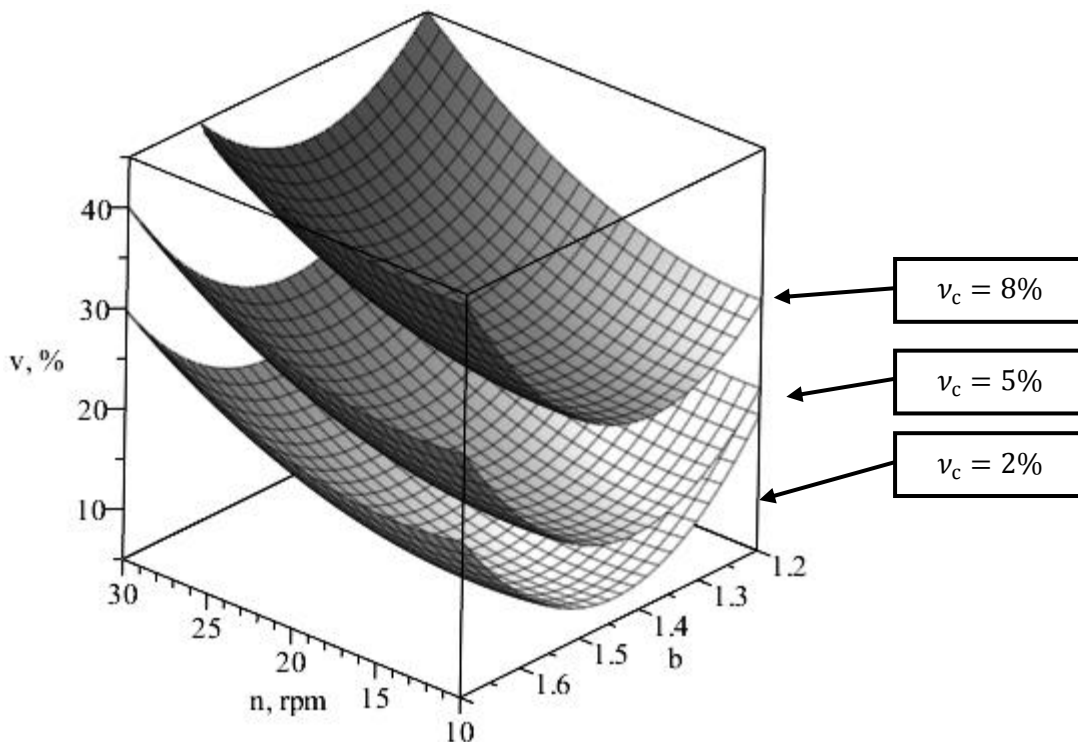


Рис. 3. Залежність рівномірності подачі насіння з висівного апарату від відносної ширини канавки  $b$ , швидкості обертання робочого органу та коефіцієнту варіації розмірів насіння,  $v_c$

– рівномірність подачі насіння є строгою монотонною та зростаючою функцією коефіцієнту варіації розмірів насіння,  $v_c$  (рис. 4). З погляду на те, що якісна робота висівного апарату потребує найменшого значення коефіцієнту варіації розмірів насіння, який для більшості насіння сільськогосподарських культур знаходиться в межах до 3% [15, 16], раціональним для запропонованого висівного апарату буде обмеження коефіцієнту варіації розмірів насіння  $v_c = 3\%$ ;

– при  $v_c = 3\%$ ,  $b = 1,5$  та зміні швидкості обертання робочого органу  $n$  від 10 до 13 об/хв рівномірність подачі насіння зменшується з 9,4 до 9,1%, а потім монотонно збільшується (рис. 5);

– рівномірність подачі насіння при  $v_c = 3\%$  немонотонна випукла функція швидкості обертання робочого органу  $n$  (рис. 6). Екстремальні значення набуває при  $b = 1,4 \dots 1,5$ , а на границях варіювання  $b$  збільшується на 10...15%.

При  $v_c = 3\%$  залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки  $b$  та швидкості обертання робочого органу  $n$  буде мати вигляд:

$$v(v_c = 3\%) = 193,8 \cdot b^2 + 0,039 \cdot n^2 - 0,264 \cdot b \cdot n - 551,5 \cdot b - 0,62 \cdot n + 406,9 \quad (3)$$

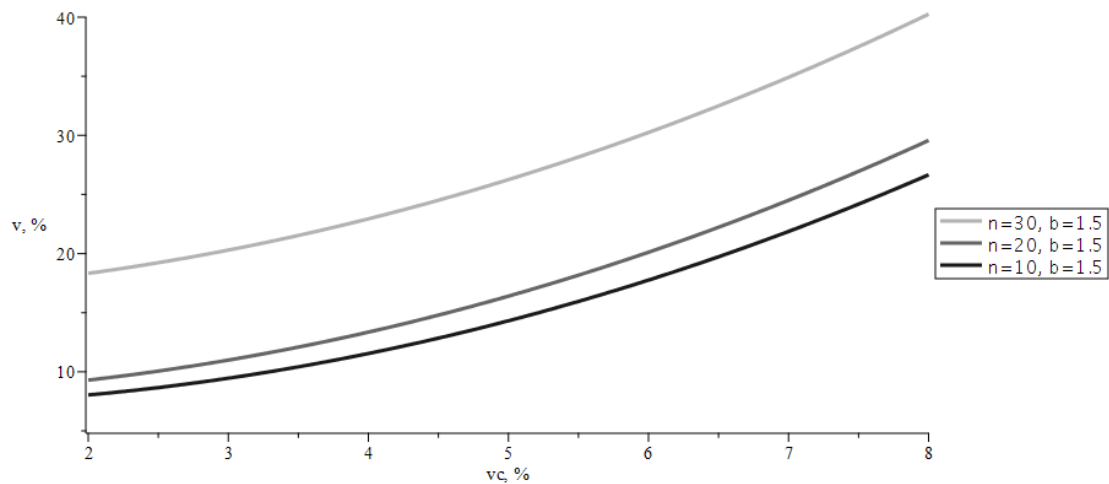


Рис. 4. Залежність рівномірності подачі насіння від коефіцієнту варіації розмірів насінини  $v_c$  та швидкості обертання робочого органу  $n$  ( $b = 1,5$ )

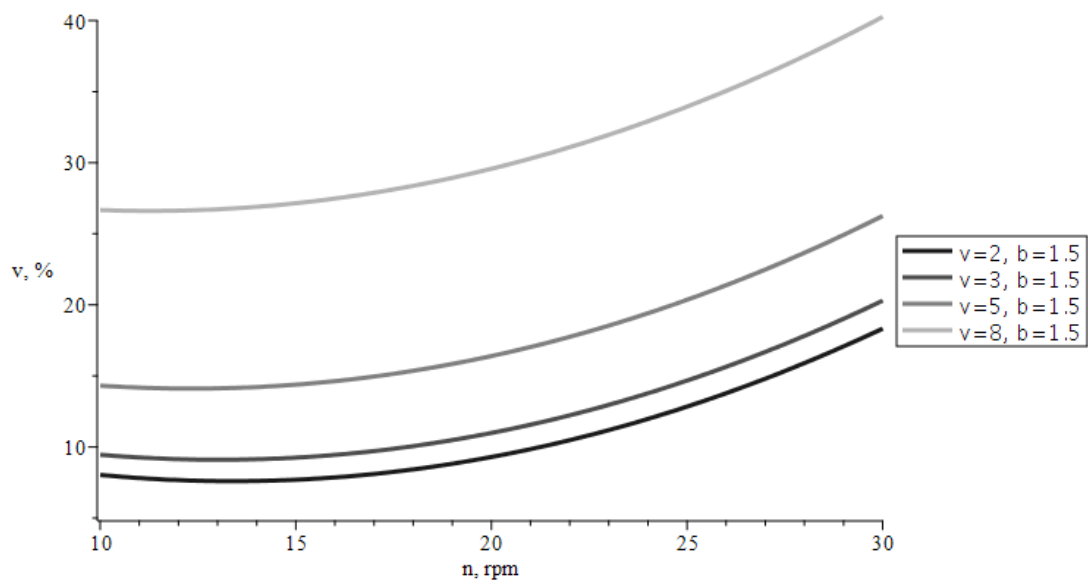


Рис. 5. Залежність рівномірності подачі насіння від швидкості обертання робочого органу  $n$  та коефіцієнту варіації розмірів насінини  $v_c$  ( $b = 1,5$ )

Раціональні параметри запропонованого щільного висівного апарату точного висіву визначимо як екстремум рівняння (3), прирівнявши нулю частинні похідні по  $b$  та  $n$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial b} = 387.6 \cdot b - 0,264 \cdot n - 551.5 = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial n} = -0,264 \cdot b + 0.078 \cdot n - 0.617 = 0 \end{cases} \quad (4)$$

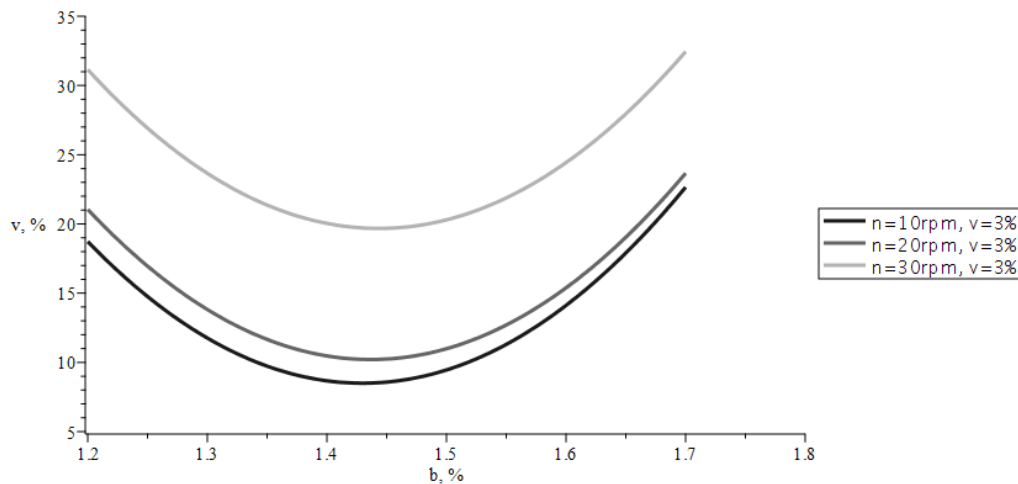


Рис. 6. Залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки  $b$  та швидкості обертання робочого органу  $n$  ( $v_c = 3\%$ )

Рішенням системи рівнянь (4) є  $b = 1,43$  та  $n = 12,8$  об/хв. За цих значень досягається рівномірність подачі насіння з висівного апарату  $v = 8,2\%$ . Отримана експериментальним шляхом рівномірність висіву  $v = 8,2\%$  відрізняється від теоретичної  $v_T = 12\%$  оскільки в натурному експерименті були присутні такі явища як неповне заповнення пазу, прослизання насіння в пазу, які не враховано в теоретичних дослідженнях і негативно впливають на якість висіву. З огляду на це, можна припустити про можливі резерви вдосконалення запропонованої конструкції щілинного механічного висівного апарату точного висіву.

#### Висновки:

– проведено лабораторні дослідження щілинного механічного висівного апарату точного висіву за результатами яких визначено залежність рівномірності подачі насіння від відносної ширини канавки  $b$ , швидкості обертання робочого органу та коефіцієнту варіації розмірів насінин,  $v_c$ ;

– раціональними параметрами щілинного механічного висівного апарату точного висіву є при  $v_c = 3\%$  є:  $b = 1,43$  та  $n = 12,8$  об/хв за яких рівномірність подачі насіння становить  $v = 8,2\%$ .

#### Література:

1. Битва Агротитанів. VI виставка-демонстрація техніки в польових умовах. URL: <http://agrotitans.com.ua/2018/sep/ukr> (дата звернення: 22.08.2019).

2. Tractorpulling: zmaganiazawodowców. 01 czerwca 2016. URL: <https://www.topagrar.pl/filmy/tractor-pulling-zmagania-zawodowcow/> (дата звернення: 22.08.2019).



3. Мировой рекорд Tempo. URL: <https://www.vaderstad.com/ru/seyalki-propashnie/seyalki-tempo/mirovoi-rekord-tempo/> (дата звернення: 22.08.2019).
4. Rapid 300С и Tempo F8 от Vaderstad. URL: <https://agroexpert.md/rus/novosti-kompaniy/rapid-300s-i-tempo-f8-ot-vaderstad-vpered-i-te-kto-bystree> (дата звернення: 22.08.2019).
5. Техника для посева, внесения удобрений и защиты растений. Информационный бюллетень испытаний 2012 года. Покров, 2013. 20 с.
6. Обеспечение работоспособности деталей высевających аппаратов сеялок для пропашных культур / О. Банний и др. // Пропозиция. 2017. № 2. С. 50-54.
7. Висівний апарат: пат. 129214 Україна: МПК А01С 7/04 (2006.01). № u201804208; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20.
8. Висівний апарат: пат. 128625 Україна: МПК А01С 7/04 (2006.01). № u201804237; заявл. 17.04.2018 ; опубл. 25.09.2018, Бюл. № 18.
9. *Сербій Є. К., Кюрчев В. М.* Теоретичні дослідження рівномірності подачі насіння щільним висівним апаратом // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2018. Вип. 8 (107). С. 25-33.
10. Теория вероятностей / А. В. Печинкин и др. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 456 с.
11. *Сербій Є. К.* Результати лабораторних досліджень висівного апарату точного висіву // Імпортозамінні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. (24-25 травня 2017 р., м. Умань). Умань, 2017. С. 43-44.
12. *Ткаченко Н. М., Ткаченко Ф. А.* Семена овощных и бахчевых культур. Москва: Колос, 1977. 192 с.
13. *Спирidonov А. А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. Москва: Машиностроение, 1981. 60 с.
14. *Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Наука, 1976. 279 с.
15. *Кириченко Р. В.* Визначення основних механіко-технологічних властивостей насіння ріпаку, люцерни та моркви // Вісник ХНТУСГ. Сер. Технічні науки. 2011. Вип. 107, т. 1. С. 380-387.
16. Особливості аеродинамічного сепарування однокомпонентних насінневих сумішей на прикладі кукурудзи / М. Я. Кирпа та ін. // Насінництво. 2013. С. 45-50.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Кюрчев В. Н., Сербий Е. К.

*Аннотация* – целью исследований является установление экспериментальным путем влияния скорости вращения высевающего рабочего органа, ширины щели и физико-механических свойств семян на равномерность его подачи механическим щелевым высевающим аппаратом точного высева.

В статье приведена методика лабораторных исследований механического щелевого высевающего аппарата точного высева и обработки экспериментальных данных, а также освещены результаты экспериментальных исследований.

Лабораторную установку изготовлено на базе механического высевающего аппарата точного высева сеялки ССТ-12. Внутренний диаметр посевного рабочего органа составляет 190 мм, ширина семенной камеры – 50 мм.

В качестве посевного материала выбрано семян сои сорта «Алмаз», размерные характеристики которого искусственно меняли просеиванием на решетках с сохранением среднего значения диаметра 5,0 мм и изменением среднего отклонения от 0,1 до 0,4 мм. Привод рабочего органа – от электрического двигателя, диапазон регулирования скоростей – от 0 до 60 об/мин. Для определения времени между подачей смежных семян  $t_i$  использовано видеозапись с частотой 120 кадров/с, таким образом точность регистрации времени  $\pm 0,0083$  с.

В результате проведения лабораторных исследований получена зависимость равномерности подачи семян от относительной ширины канавки  $b$ , скорости вращения рабочего органа  $n$  и коэффициента вариации размеров семян,  $v_c$ . Обоснованно рациональные параметры щелевого механического высевающего аппарата точного высева при  $v_c = 3\%$ :  $b = 1,43$  и  $n = 12,8$  об/мин при которых равномерность подачи семян составляет  $v = 8,2\%$ .

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF MECHANICAL DRILL UNIT

V. Kiurchev, E. Serbii

### *Summary*

The purpose of the research is to establish experimentally by the influence of the seed rotation speed, the width of the slit and the physical and mechanical properties of the seeds on the uniformity of its feed by a mechanical slotted seeding machine for precision seeding.

The article describes the method of laboratory analysis of mechanical slit seeding machines for precise seeding and experimental data processing, also the results of experimental studies.

The device for laboratory research was made on the basis of a mechanical seeding machine of precision seeding of the SST-12 seeder. The internal diameter of the sowing working part is 190 mm, the width of the sowing chamber is 50 mm.

Soybean seeds of “Diamond” variety were selected as seeding material, the dimensional characteristics of which were artificially changed by sifting on sieve with the preservation of an average diameter of 5.0 mm and a change in mean deviation of 0.1 to 0.4 mm. Drive unit – from electric motor, range of speed control from 0 to 60 rpm. To determine the time between the feeding of adjacent seeds  $t_i$ , a video was used with frequencies of 120 frames/sec, thus the accuracy of the time registration  $\pm 0,0083$  s.

As a result of laboratory research the seed uniformity dependence on the groove relative width  $b$ , the working organ rotation speed  $n$  and the seed variation coefficient  $\nu_c$  were obtained. The rational parameters of the precision seeding mechanical slit seeding machine at  $\nu_c = 3\%$ : are substantiated  $b = 1,43$  and  $n = 12,8$  rpm, in which the seed uniformity is  $\nu = 8,2\%$ .