

Свірень М., канд. техн. наук, проф. (Кіровоградський національний технічний університет), **Бойко А.**, д-р. техн. наук, проф. (Національний університет біоресурсів і природокористування України), **Лещенко С.**, канд. техн. наук (Кіровоградський національний технічний університет), **Банний О.** (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Методика оцінки якісних показників роботи висівних систем точного землеробства

Запропоновано нову методику оцінки якісних показників роботи висівних систем точного землеробства, що базується на використанні автоматизованого контролю і комп'ютерних технологій. Описано прилади та установки, здатні скоротити час на проведення експериментальних досліджень та суттєво підвищити точність останніх.

Ключові слова: системи точного землеробства, комірки дозувального елемента, якість посіву, комплекс для дослідження посівних систем, насіння.

Аграрний сектор займає особливе місце в народному господарстві. Продовольча безпека держави в значній мірі визначається її внутрішніми ресурсами, які пов'язані з рівнем розвитку таких базових галузей, як рослинництво і тваринництво. На тлі загальних економічних проблем перехідного періоду в останні роки накреслилася тенденція до зниження енерговитратності і підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, а також поліпшення якості виробленої продукції. Постійно збільшується обсяг інвестицій, які вкладає держава в сільське господарство. Так, в основне виробництво вкладення 2008-2010 років збільшились у півтора рази, а закордонні капіталовкладення зросли на 53%. Загальний обсяг виробництва аграрної галузі в 2010 році склав 64,4 млрд грн. Сільськогосподарська продукція більш впевнено займає позиції на зовнішньому ринку, приносячи валютні доходи державі.

Однією з найбільших проблем рослинництва залишається зниження витрат на виробництво продукції. В останні роки рівень її рентабельності зменшився з 35,8 до 27,8%. Однією з причин такого становища є недостатня забезпеченість сільського господарства необхідною технікою (на сьогодні вона становить лише 55-56%). Більша частина використовуваної техніки – застаріла і та, що відпрацювала свій ресурс. В умовах, коли темпи старіння техніки на порядок перевищують її оновлення, проблема модернізації і розроблення більш продуктивних і менше енергоємних машин набуває особливої актуальності. Це повною мірою стосується і посівних машин, що становлять основу рослинництва.

Інтенсивний процес зміни форм володіння землею з відмовою від колективної власності спровокував додатковий хаос і невизначеність у виборі засобів механізації польових робіт. Простежується той факт, що зернові культури займають найважливіше місце у виробництві продуктів харчування для населення держави та експортних поставок. Підвищення врожайності зернових неможливе без вдосконалення технологій і засобів механізації посівних робіт. Підвищення якості висіву передбачає зниження норм витрати кошового посівного матеріалу майже в два рази. До того ж більш рівномірний розподіл рослин по площі поля створює умови для підвищення урожайності.

Новим напрямком у рослинництві є точне (адаптоване) землеробство. Його реалізація передбачає створення сучасних засобів механізації посіву. Наразі вирішується завдання розроблення сучасних високопродуктивних сівалок точного висіву з регульованою нормою висіву насіння і внесення добрив.

Під час розроблення конструкцій нових висівних систем та вдосконалення існуючих, на стадії проектування та випробовування, ресурсовитратними є експериментальні дослідження, які проводять з метою встановлення якісних показників роботи запропонованих конструкцій. Найвні методики оцінки якості посівних операцій, що не змінювалися упродовж тривалого часу, не в повній мірі відповідають умовам адаптованого посіву та не використовують сучасних досягнень систем автоматики та комп'ютерної техніки. Тому постало завдання розробити методику оцінки якості роботи висівних систем для технологій точного землеробства.

Під час оцінки якісних показників роботи висівних систем першочерговим завданням є визначення фізико-механічних властивостей посівного матеріалу, оскільки системи точного землеробства вимагають чіткого однозернового висіву через певні проміжки часу. Для визначення властивостей насіння, а саме – форми та стану поверхні та властивостей суміші насіння як сипучого тіла, що перебуває в русі, в Кіровоградському національному технічному університеті розроблено трибометр (рис. 1).

Трибометр складається з рами 1, на якій розміщено жолоб 2 з кареткою 3. Каретка 3 виконана у вигляді візка із закріпленими коліщатами 4, якими вона спирається на напрямні 5. Системою тросиків 6 каретка 3 через електронний динамометр 7 приводиться в рух електродвигуном 8. Постійний натяг тросиків забезпе-

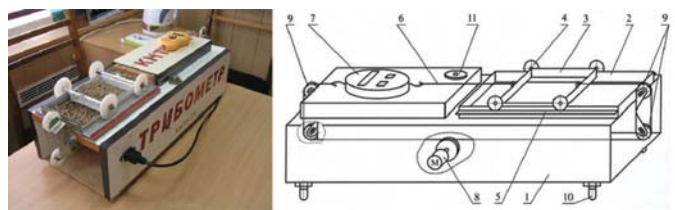


Рис. 1 – Загальний вигляд та схема трибометра для визначення властивостей посівного матеріалу

чує підпружинений ролик 9. Встановлення приладу в горизонтальній площині здійснюється регульованими опорами 10 з допомогою нівеліра 11.

Працює трибومتر таким чином: для забезпечення точності вимірювань перед початком проведення дослідів прилад за допомогою регульованих опор 10 по нівеліру встановлюють в горизонтальній площині. Включають прилад в роботу без завантаження досліджуваного матеріалу, таким чином таруючи прилад для зменшення похибки вимірювань від тертя механізмів каретки. При цьому початкове значення пружинного динамометра встановлюють в нульове положення. Після цього жолоб 2 з кареткою 3 завантажують матеріалом і вмикають прилад в роботу. Динамометр 7 дозволяє фіксувати зусилля під час переміщення каретки з досліджуванним матеріалом. За необхідності каретку 3 довантажують вантажем відомої маси.

За результатами досліджень будують графік залежності граничних дотичних напружень від тиску в шарі насипного вантажу, що характеризує сипучість посівного матеріалу. Значення напружень σ і τ , які необхідні для побудови графіка, розраховують за формулами:

$$\sigma = \frac{G_M}{F_C} \quad \text{і} \quad \tau = \frac{(T_C - T_P)}{F_C}, \quad (1)$$

де G_M – сумарна вага притискних пластин і матеріалу в рамці; T_C – сила зсуву; T_P – опір переміщення рухомої рамки і блока; F_C – площа зрізання.

Отриману серію експериментальних точок наносять на діаграму (σ ; τ), а потім за цими точками проводять пряму граничних дотичних напружень. Ця пряма в загальному випадку перетинає вісь ординат вище нульової точки, що характеризує зв'язність сипучого матеріалу. Відрізок по осі ординат від точки перетину до нульової точки визначає вихідний опір зсуву τ_0 . Кут φ називають кутом внутрішнього тертя, а тангенс цього кута – коефіцієнтом внутрішнього тертя f .

Коефіцієнт зовнішнього тертя f_1 також визначають з допомогою трибметра, для чого між зрушуваними шарами сипучого тіла вкладають шар необхідного матеріалу (органічне скло, фарбований чи нефарбований метал). Подальші досліді проводять так само, як і дослідження коефіцієнта внутрішнього тертя. Коефіцієнт зовнішнього тертя знаходять за формулою:

$$f_1 = \frac{(T_C - T_P)}{G_M}. \quad (2)$$

Максимальну висоту вільностоячої вертикальної стінки сипучого матеріалу також визначають трибметром, задню стінку якого виконано у вигляді заслінки, що рухається в пазах по вертикалі гвинтовим механізмом. Для цього трибметр заповнюють сипучим вантажем таким чином, щоб поверхня вантажу була горизонтальною, на одному рівні з краєм рухомої заслінки. Потім заслінка повільно і плавно рухається вниз обертанням гвинта до початку обрушення вантажу. При цьому на

шкалі гвинтового механізму відмічається отримана висота, яка дорівнює h_0 .

Після визначення початкових характеристик посівного матеріалу не менш відповідальним завданням є оцінка якості відокремлення насіння із загальної маси, його транспортування та скидання на дно борозни. У висівних апаратах точного висіву пневмомеханічного типу вивчення форми присмоктувальних комірок, відносної швидкості переміщення насіння, вплив геометричних і фізико-механічних параметрів апарату на ефективність присмоктання можна визначити з використанням спеціальної лабораторної установки, розробленої в Національному університеті біоресурсів і природокористування (м. Київ) на кафедрі надійності техніки (рис. 2).

Запропонована установка дозволяє в статичному режимі вимірювань визначити критичну відстань початку відриву насіння і тим самим оцінювати ефективність присмоктання насіння різних культур до комірок різних геометричних форм.

В процесі досліджень можна змінювати такі робочі параметри, як швидкість руху насіння відносно присмоктувальних комірок та рівень розрідження повітря у вакуумній камері. Всі основні робочі параметри, що впливають на якість присмоктання насіння комірками дозувального елемента, контролюються відповідними приладами та інструментами: вакуумметром, штангенрейсмусом і частотоміром фіксації кількості імпульсів, що проходять за одиницю часу. Імпульси подаються від датчика обертів привода транспортерної стрічки.

Загальну схему експериментальної установки наведено на рис. 2. Установка складається з вакуумної камери 2, транспортувальної стрічки 3, регульованого тиристорного приводу 4, датчика обертів 5, частотоміра 6, пілососа, який створює необхідний рівень вакууму 7, регулятора рівня вакууму 8, вакуумметра 10, живильного пристрою 11, приймального лотка 12, штангенрейсмуса для регулювання відстані H 14.

Працює установка таким чином: насіння дослідної культури з допомогою живильного пристрою 11 направляється на транспортерну стрічку 3, яка з певною швидкістю підводиться до присмоктувальної комірки дозувального елемента 9. За достатнього розрідження у вакуумній камері 2 насіння може бути захоплене і присмоктане до комірки дозатора. В іншому разі

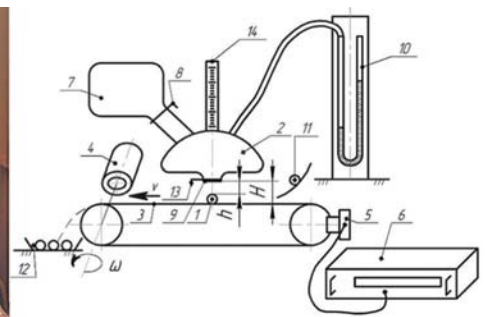
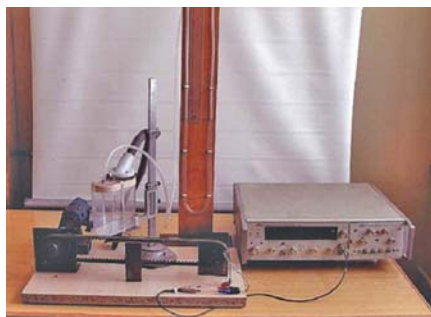


Рис. 2 – Загальний вигляд та схема експериментальної установки для дослідження дозування посівного матеріалу: 1 – дослідне насіння; 2 – вакуумна камера; 3 – транспортерна стрічка; 4 – тиристорний регульований привід; 5 – датчик обертів; 6 – частотомір; 7 – пілосос для створення вакууму; 8 – регулятор вакууму; 9 – зразок досліджуваної присмоктувальної комірки; 10 – вакуумметр; 11 – живильний пристрій; 12 – приймальний лоток; 13 – відсікач вакууму; 14 – штангенрейсмус для регулювання відстані H

насіння продовжує переміщуватись стрічкою транспортера до скидання в лоток 12. Присмоктане до комірки насіння скидається назад на транспортерну стрічку з допомогою відсікача вакууму 13. Рівень вакууму в камері 2 створюється пирососом 7, регулюється спеціальною заслінкою 8 і контролюється вакуумметром 10. Швидкість руху транспортерної стрічки залежить від кутової швидкості (частоти обертання) привода 4. Частота обертання встановлюється тиристорним регулятором привода і контролюється спеціальним електромагнітним датчиком, підключеним до частотоміра.

Висота розміщення вакуумної камери з точністю до 0,1 мм встановлюється переміщенням рухомої частини штангенрейсмуса.

Для проведення експериментальних досліджень відбирають типове насіння кожної культури в кількості не менше ніж по 50 шт. У цих дослідженнях для проведення експерименту підготовлено зразки комірок таких форм: циліндричної, конічної, тороїдальної і сферичної. Форми цих зразків наведено на рис. 3.

Зразок досліджуваної форми комірки встановлюється в тримачі установки. Вмикається установка, на яку подається необхідне значення вакууму P . Рухомою частиною штангенрейсмуса переводиться у верхнє положення. Досліджуване насіння розміщується на транспортерній стрічці напроти присмоктувальних комірок. Поступово опускаючи рухому частину до моменту захвату насіння коміркою, фіксують момент відриву насіння від стрічки і присмоктування його коміркою. Визначають величину відстані H , за якої відбувається захоплення насіння.

Експерименти проводять для всіх досліджуваних культур і форм комірок. Отримані дані обробляють відомими статистичними методами і представляють графічно чи таблично, аналізуючи і узагальнюючи.

Виділення окремих насінин із загальної маси є складним процесом, від ефективності проведення якого в значній мірі залежить точність виконання посівних операцій. Складність вивчення процесу виділення окремої насінини насамперед пов'язана з недоступністю спостереження контактної взаємодії насіння з дозувальним елементом висівного апарата і окремої насінини з рештою насіння, що її оточує в момент захоплення дозувальним елементом. Тому більшість досліджень з вивчення виділення насінини із загальної маси проводили за методом «чорного ящика», що пля-

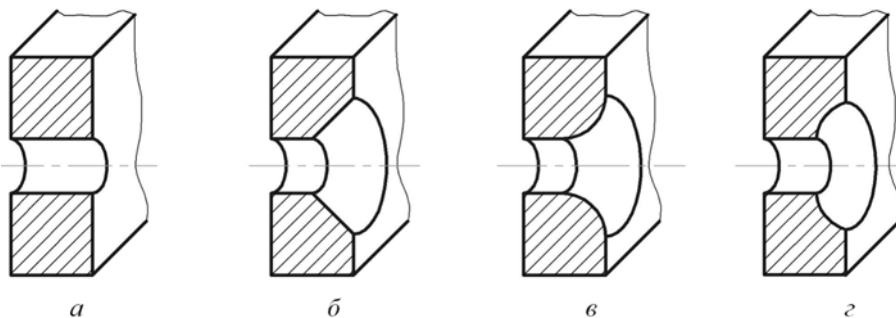


Рис. 3 – **Форми комірок досліджуваних зразків дозувальних елементів сівалок:**
а – циліндрична; б – конічна; в – тороїдальна; з – сферична

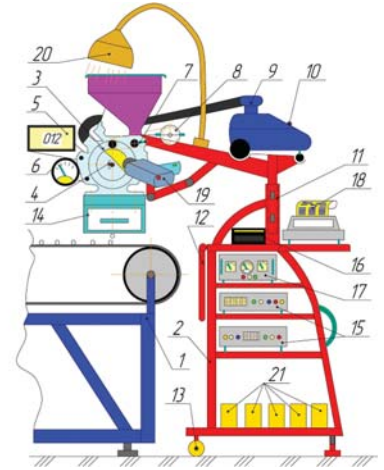


Рис. 4 – **Загальний вигляд та схема комплексу з дослідження посівних систем КНТУ-80:** 1 – липка стрічка чи липкий барабан, 2 – рама, 3 – бункер з насінням, 4 – тахометр, 5 – табло тахометра, 6 – манометр, 7 – механізм зміни частоти обертання вала, 8 – електропривод, 9 – вентилятор, 10 – регулятор вакууму, 11 – кронштейн вентилятора, 12 – відкидний стіл, 13 – опорні колеса, 14 – датчик контролю висіву насіння, 15 – класифікатор насіння, 16 – блок керування класифікатором, 17 – блок керування роботою висівного апарата, 18 – друкувальний пристрій, 19 – цифрова відеокамера, 20 – лампа підсвічування, 21 – місткості для насіння

гає в оцінюванні зміни вхідних параметрів і аналізі вихідних, як реакції на взаємодію перших.

Для проведення лабораторних експериментальних досліджень розроблено дослідний зразок пневмомеханічного висівного апарата точного висіву. В основу його конструкції покладено принцип реалізації всіх фаз роботи апарата такого типу: захоплення насіння, рівномірне його транспортування, входження в фазу скидання, природне і примусове скидання, організація регулярного потоку насіння для вкладання в борозну. Кінематичні режими і динамічні характеристики апарата вивчають з допомогою набору змінних робочих органів і варіації регулювання кутової швидкості обертання дозувальних елементів, а також зміною фаз і величини перепаду тиску в пневматичній системі.

З метою скорочення матеріальних, трудових і ресурсних витрат на проведення експериментальних досліджень організовано на автоматизованому комплексі КНТУ-80, до складу якого входить мікроЕОМ. Комплекс являє собою оригінальне обладнання для дослідження посівної техніки (рис. 4), розроблене на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету та захищене кількома патентами України на винаходи.

Універсальність комплексу полягає в можливості проведення з його використанням експериментальних робіт з оцінки якості та ефективності виконання посіву. Попередній контроль якості висіву можна здійснювати візуально за розміщенням насіння на липкій стрічці чи липкому барабані, які імітують польову борозну. Суміщення обертового і поступового руху барабана дає можливість забезпечувати розподіл насіння по гвинтовій лінії, а їх фіксація забезпечується липкою поверхнею барабана.

Нанесення насіння по гвинтовій лінії обумовлено необхідністю отримання достатнього для аналізу й оцінки роботи висівного апарата шляху висіву. Так, розгорнута загальна довжина гвинтової лінії одного досліду дає за інтервалу між насінням 15 см можливість висіяти до 100 шт. насінин, що відповідає 15-ти метрам шляху висіву.

Експериментальні дослідження починають із запуску висівного апарата і його налаштування на задані режими роботи. Для цього апарат заповнюють насінням, а липкий барабан встановлюють в одне з крайніх положень під висівним апаратом. Коли апарат досягає стійкої роботи, вмикається привід обертового і зворотно-поступального руху барабана. Дослідження показників роботи висівного апарата полягає в нанесенні на барабан потоку висівного насіння і аналізу точності його взаємного розміщення відповідно до прийнятих агрономічних. Розміщення насіння на барабані по гвинтовій лінії дає можливість суттєво подовжити тривалість експерименту, що, безперечно, підвищує точність отриманих результатів.

Регульований привід обертання барабана і зворотно-поступального переміщення каретки, на якій його встановлено, дає можливість моделювати посів за різних швидкостей руху сівалки. Так, швидкість руху сівалки може змінюватись в межах від 3,5 до 12 км/год, що відповідає швидкісному режиму сучасних посівних агрегатів.

Використання комплексу КНТУ-80 дає можливість дещо автоматизувати процес проведення досліджень та обробки його результатів, отримувати оперативні дані щодо якості формування потоку насіння в процесі рядового точного посіву зернових і просяних культур. Обробка результатів на міні-ЕОМ дозволяє визначити:

- величину інтервалів між насінинами;
- порівняльні показники висіву у відношенні до вибраного еталону;
- напрямки зміни параметрів висівного апарата для оптимізації показників висіву в процесі точного однозернового посіву культур;
- оптимальні величини змінних конструкційних параметрів висівних апаратів для досягнення якісного стійкого висіву насіння.

Дані про виконання процесу у вигляді його якісних характеристик виводяться на інформаційне табло комплексу чи за необхідності роздруковуються на цифровому друкувальному пристрої. Для проведення досліджень із заданим ступенем автоматизації отримання і опрацювання даних комплекс КНТУ-80 оснащено спеціально розробленим методичним і математичним забезпеченням:

- алгоритмом оптимізації параметрів і режимів роботи висівних апаратів;
- програмною обробкою отриманих експериментальних даних.

Експериментальний висівний апарат виготовлено на базі пневмомеханічного апарата сівалки СУПН-8. Він має литий корпус, в який вставляються експериментальні висівні диски з різною кількістю, величиною і формою присмоктувальних комірок (рис. 5).

В кришці висівного апарата розміщена вакуумна камера. В апараті також є відсікач зайвого насіння і їх струшувач, які сприяють кращій організації рівномір-

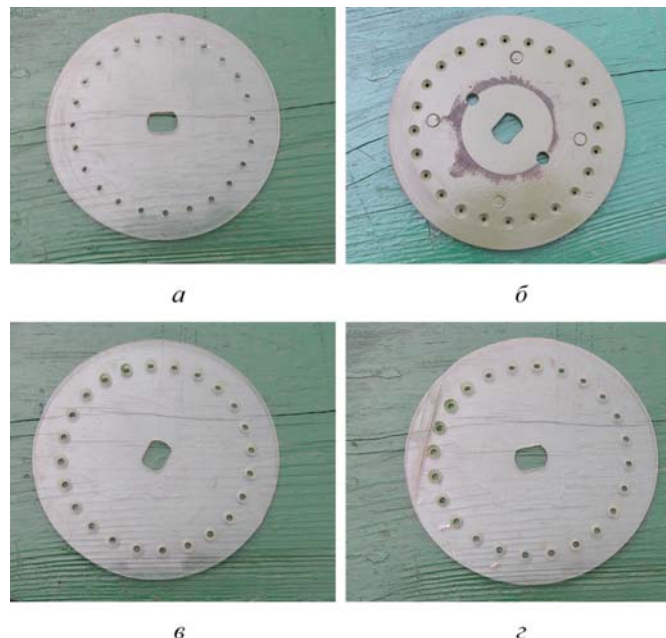


Рис. 5 – Загальний вигляд експериментальних висівних дисків: а – з циліндричними комірками, б – з конічними комірками, в – з торіодальними комірками, з – зі сферичними комірками

ного потоку насіння, що висівається. Змінна камера розміщена в корпусі висівного апарата. Корпус з кришкою з'єднуються через ущільнювальну прокладку.

Елементи конструкції експериментального висівного апарата виготовляють із прозорого органічного скла. Для кращого огляду задньої стінки камер їх зафарбовують в темні кольори, де для кращої фіксації переміщення насіння наносять сітку з ціною поділки 5 мм. Враховуючи час експозиції на отриманих зображеннях фото або відеознімання, можна визначити шлях, пройдений окремими частинами посівного матеріалу.

Комплекс обладнано електронним класифікатором потоку насіння ЕКПС-ОЗ, який є програмним мікропроцесорним пристроєм, що дозволяє оперативно оцінювати якість розподілу насіння. Встановлений датчик висіву ПДС-ОЗ являє собою прилад дискретної дії для реєстрації насіння в потоці. Реєстрація здійснюється рамкою, яка складається з джерела випромінювання (інфрачервоної світлодіод) і приймача (фотодіод). Підсилений від них сигнал подається на лічильник-індикатор або на вхід реєстратора ЕКПС-ОЗ. Сигнали датчика можуть також подаватись для обробки на персональний комп'ютер. Технічна характеристика датчика висіву ПДС-ОЗ надана в таблиці.

Технічна характеристика датчика висіву ПДС-ОЗ

Показник	Величина
Мінімальний розмір насіння, що реєструється системою, мм	2
Максимальна швидкість руху насіння, м/с	10
Максимальна інтенсивність потоку насіння, шт./с	350
Кількість насіння, яке надійно розпізнається за одночасного руху в зоні реєстрації датчика, шт.	7
Точність реєстрації, %	96-98
Параметри перерізу, що контролюються датчиком, мм	40x90
Діапазон встановлення швидкості руху висівного апарата, м/с	0,1-1,0

Результати досліджень контролюють візуально або вони можуть бути зафіксовані на індикаторі класифікатора, а також виведені через інтерфейс на комп'ютер для обробки в автоматичному режимі. Експерименти проводять для кожної культури і форми комірок висівних дисків окремо.

Принцип роботи класифікатора ЕКПС-ОЗ полягає у вимірюванні інтервалів часу між імпульсами, що фіксують дотики насіння до борозни. Він може реалізувати три режими роботи:

- реєстрація відстані між висіяними насінинами;
- класифікація інтервалів відповідно до характеристики культури, що висівається;
- класифікація за густиною посіву.

Висновки. Розроблено методику, яка дозволяє оцінити якісні показники роботи висівних систем сівалок точного висіву, що включає в себе методи визначення властивостей посівного матеріалу та методи дослідження, оцінювання та оптимізації показників посіву.

Список літератури

1. Свирень Н. А. Определение конструктивных параметров пневмомеханического аппарата для однозернового посева семян зерновых культур / Петренко Н. Н., Свирень Н.А. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 29. – Кіровоград: КДТУ, 2000. – С. 276-281.

2. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин: навчальний посібник / [Бойко А. І., Свирень М. О., Шмат С. І., Ножнов М. М.] – Кіровоград, 2003. – 203 с.

3. Сисолін П. В. Висівні апарати сівалок. Еволюція

конструкцій, розрахунки параметрів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів із спеціальності «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / Сисолін П. В., Свирень М. О. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 160 с.

4. Бойко А. И. Анализ влияния параметров дозирующего устройства на эффективность отбора семян. / Бойко А. И., Свирень Н. А. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 35. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – С. 259-267.

5. Бойко А.И. Повышение эффективности и надежности работы высевальных аппаратов посевных машин: Монография / Бойко А. И., Свирень Н. А. – Кіровоград, КОД, 2011. – 276 с.

Аннотация. Предложена новая методика оценки качественных показателей работы высевных систем точного земледелия, которая базируется на использовании автоматизированного контроля и компьютерных технологий. Описаны приборы и установки, которые способны сократить время на проведение экспериментальных исследований и существенно повысить точность последних.

Summary. The new method for assessing the qualitative performance of the seeding system for precision farming is offered in this work. The devices and equipment that can reduce the time to conduct experimental research and significantly increase the accuracy of the latter are described. The new methodology is based on the use of automated control and computer technologies at experimental researches.

Стаття надійшла до редакції 3 жовтня 2011 р.