

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОПЕРЕДНЬОГО ОБМОЛОТУ ЗЕРНА РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ЖНИВАРКИ КОМБАЙНА

**В. О. Шейченко**

Доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
Кафедра ремонту машин і технології конструкційних матеріалів\*  
E-mail: vsheychenko@ukr.net

**І. А. Дудніков**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра галузеве машинобудування\*

**А. Я. Кузьмич**

Кандидат технічних наук\*\*

**М. В. Шевчук**

Аспірант\*\*

**В. В. Шевчук**

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник\*\*\*

**О. С. Пушка**

Кандидат технічних наук, доцент\*\*\*

**В. А. Грубань**

Кандидат технічних наук, асистент  
Кафедра тракторів та сільськогосподарських машин,  
експлуатації і технічного сервісу  
Миколаївський національний аграрний університет  
вул. Георгія Гонгадзе, 9, м. Миколаїв, Україна, 54020

**М. М. Толстушко**

Кандидат технічних наук, доцент\*\*\*\*

**Н. О. Толстушко**

Кандидат технічних наук, асистент\*\*\*\*

\*Полтавська державна аграрна академія  
вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003

\*\*Відділ перспективних технологій та технічних засобів для  
збирання, обробки та зберігання врожаю зернових та олійних культур  
Національний науковий центр  
«Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»  
вул. Вокзальна, 11, смт. Глеваха,  
Васильківський р-н, Київська обл., Україна, 08631

\*\*\*Кафедра процесів машин і обладнання агропромислового  
виробництва Уманський національний університет садівництва  
вул. Інститутська, 1, м. Умань, Україна, 20305

\*\*\*\*Кафедра обладнання лісового комплексу  
та теорії механізмів машин  
Луцький національний технічний університет  
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, Україна, 43018

*Досліджено технологічний процес обмолоту зернових культур пристроєм попереднього обмолоту зерна жниварки зернозбирального комбайна. Розроблено експериментально-розрахунковий метод оцінювання рівня відділення зерна пристроєм. Отримано теоретичну залежність коефіцієнта відділення зерна, яка встановлює системний взаємозв'язок між параметрами та режимами функціонування пристрою жниварки та зернозбирального комбайна. Експериментально встановлено залежності коефіцієнта відділення зерна від швидкості руху комбайна*

*Ключові слова: зернозбиральний комбайн, жниварка, пристрій попереднього обмолоту зерна, коефіцієнт відділення зерна, маса відділеного зерна*

*Исследован технологический процесс обмолота зерновых культур устройством предварительного обмолота зерна жатки зерноуборочного комбайна. Разработан экспериментально-расчетный метод оценки уровня отделения зерна устройством. Получена теоретическая зависимость коэффициента отделения зерна, которая устанавливает системную взаимосвязь между параметрами и режимами работы устройства жатки и зерноуборочного комбайна. Экспериментально установлены зависимости коэффициента отделения зерна в зависимости от скорости движения комбайна*

*Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, жатка, устройство предварительного обмолота зерна, коэффициент отделения зерна, масса отделенного зерна*

## 1. Вступ

На сучасному етапі розвитку механізації сільського господарства передбачається підвищення продуктивності

та якості роботи сільськогосподарських агрегатів, включаючи і зернозбиральні комбайни. Зернозбиральний комбайн – основна збиральна машина, від якої залежить ефективність всіх робіт, пов'язаних із збиранням зернових культур [1].

Одним з фінансово привабливих видів діяльності сучасного сільгоспвиробника є вирощування та подальша реалізація насіння в якості посівного матеріалу. Щорічно тільки в Україні на посів зернових та технічних культур витрачається понад 3,5 млн. тон насіння, що становить 8–10 відсотків валового збору зерна [2]. Однак досягнення успіху в цьому напрямку багато в чому визначається досконалістю як технологічних прийомів вирощування, так і успішно обраних способів збирання і подальшої переробки врожаю, які мінімально травмують зерно. Низьку якість посівного матеріалу обумовлено істотним пошкодженням і травмуванням насіння при збиранні і його первинній обробці. Як наслідок – невідповідність основним показникам, які пред'являються до посівного матеріалу. Реагуючи на такі обставини аграрії на 20–25 % збільшують норму посіву в порівнянні з посівом кондиційного насіння [3, 4]. Проведеними дослідженнями встановлено можливість відділення робочими органами жнивarki до 35 % зерна [5, 6].

В основу досліджень покладено гіпотезу, яка передбачає можливість інтенсифікації процесу відділення зерна із зерно-соломистої маси (ЗСМ). Таке відділення відбувається внаслідок взаємодії ЗСМ із пристроєм попереднього обмолоту жнивarki на фазі транспортування ЗСМ до молотильно-сепаруючої системи (МСС) комбайну. Відмітимо, що попередньо вимолочене зерно осідає (зосереджується) в нижній частині потоку технологічної маси і не пошкоджується основним молотильним барабаном. Відділене зерно швидше проходить крізь решітчасте підбарабання. Це, як відомо, сприяє зменшенню втрат зерна за молотаркою в соломі. Тому можна зробити висновок про доцільність попереднього обмолоту зерна робочими органами жнивarki до попадання зрізаного технологічного матеріалу в похилий транспортер, що живить молотарку.

Актуальність досліджень обумовлена необхідністю підвищення продуктивності зернозбирального комбайну, зменшення нерівномірності подачі хлібної маси і травмування зернівок. Такі результати можливо досягти завдяки удосконаленню системи транспортування продукту, що обмолочується, від шнека жатки до транспортера похилої камери. Простір між шнеком жатки і транспортером зернозбирального комбайну оснащено обмолочуючо-транспортуючим пристроєм (пристроєм попереднього обмолоту зерна).

## 2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Продуктивність зернозбирального комбайна визначається ефективністю технологічних процесів обмолоту та сепарації зерна, а також рівнем пошкодження зерен [7]. Надзвичайно важливо забезпечити максимально ефективну сепарацію зерна в МСС комбайну, оскільки збільшення кількості зерен, які пройшли крізь підбарабання молотильного барабану, зменшує навантаження на соломотряс або інший сепаратор грубого вороху. За таких умов зменшуються втрати зерна та уможливується підвищення продуктивності зернозбирального комбайну.

Дослідженнями з визначення впливу параметрів зернозбирального комбайну на розподіл зерна в МСС встановлено ступінь обмолоту зерна молотильними пристроями багатобарабанної МСС [8]. Відмічено, що збільшення швидкості руху комбайна (завантаження МСС) призво-

дить до перерозподілу обсягів сепарації зерна між барабанами [8].

Втрати зерна за МСС зернозбирального комбайна обумовлюються технічними параметрами молотарки, а також умовами і режимами обмолоту озерна. Дослідженнями [9] запропоновано аналітичну модель показника втрат зерна за молотаркою зернозбирального комбайна, які залежать від вологості соломи, подачі технологічної маси на обмолот, солоmistості технологічного матеріалу та ефективної довжини комплексної системи сепарації зерна. Відмічено, що збільшення вологості соломи або солоmistості обумовлює відповідне зростання втрат зерна в соломі [9].

У диференційній параметричній моделі розподіл зерна в МСС комбайна описується ймовірнісною функцією [10]. Для різних значень маси, що надходить в молотарку комбайну, побудовано функції розподілу.

У роботі [11] представлено стохастичну математичну модель процесів обмолочування і відділення зерна в молотильних апаратах тангенціального та аксіального типів. Отримані залежності описують частку необмолоченого, вільного та відділеного зерна в залежності від довжини МСС.

Модель [12] описує фізичне відокремлення зерна від рослинного матеріалу в МСС комбайну в залежності від швидкості потоку матеріалу, його насипної щільності, товщини розділювального шару та коефіцієнта дифузії. Дана модель встановлює значення коефіцієнта відокремлення зерна в залежності від поточного положення та довжини МСС комбайну.

Дослідженнями [13] запропоновано здійснювати прогнозування розділення зерна в МСС комбайну завдяки штучній нейронній мережі, яка уможливує визначення впливу на значення сепарації зерна зазору між барабаном та підбарабанням, швидкості обертання барабану, довжини стебел та подачі маси.

Переважаюча більшість фахівців характеризує процес обмолоту зернової маси таким, що відбувається тільки завдяки дії МСС зернозбирального комбайна. За таких умов не враховується динамічний вплив інших робочих органів жнивarki і комбайну на масу, що транспортується до МСС.

Проте на шляху до МСС взаємодія робочих органів із зерно-соломистою масою уможливує послаблення зв'язків зернівки із колоском, а іноді і повне його відділення [14]. Процес обмолоту зерна розпочинається з моменту початку взаємодії пальців мотовила жнивarki із стеблом. Ступінь відділення зерна від маси, яку транспортує жнивarka, залежить від багатьох чинників: фази розвитку культури, вологості, стиглості, сорту, динамічних складових впливу на рослину тощо.

У зернозбиральних комбайнах КЗС-9 «Славутич» між жнивarkою та корпусом похилої камери комбайна розміщена проставка. Проставка забезпечує вирівнювання потоку рослинної маси і спрощує процес монтажу жнивarki. Вона складається з корпусу і бітера, оснащеного ексцентриковим пальчиковим механізмом. Бітер проставки транспортує хлібну масу з жнивarki в похилу камеру. Функцію попереднього обмолочування на цей механізм у зернозбирального комбайна КЗС-9 «Славутич» не покладено.

На проставку покладають функцію зменшення нерівномірності подачі і травмування хлібної маси за рахунок поліпшення умов транспортування продукту, що

обмолочується. Іноді на проставку, або вузол, який може бути розміщено замість неї, покладають задачу попереднього обмолоту зерна.

Зернозбиральні комбайні, жнивну частину яких обладнано пристроєм попереднього обмолоту зерна, за умов дослідження на збиранні пшениці, забезпечували підвищення пропускної здатності в середньому на 24 % і мали практично однакові із серійними комбайнами показники подрібнення зерна [14].

До недоліків відомих пристроїв попереднього обмолоту зерна [15] варто віднести низьку технологічну надійність. Крім того, в переважній більшості із них робочі органи жнивної частини транспортують скошену масу в молотарку в такому стані, як вона була сформована на ріжучому апараті – порційно, нерівномірно, переплутано [16]. Це призводить до зменшення продуктивності МСС комбайну, а також погіршення якісних показників обмолоту [17]. Особливо істотно це спостерігається за умов збирання плутаних, довгостебельних хлібів [18].

Технологічні процеси збирання та первинної переробки зернових в умовах українського сільськогосподарського виробництва характеризуються високим рівнем пошкодженості насіння. За таких умов просування насіння на європейські та світові ринки обмежено. Питання оцінювання ефективності механізмів, які здійснюють відділення зерна від ЗСМ на етапах переміщення по похилій камері жнивarki, не достатньо висвітлено у публікаціях. Саме тому дослідження комбінованого обмолочуючо-транспортуючого технологічного процесу, який здійснюється завдяки пристрою попереднього обмолоту зерна, оцінювання ефективності його функціонування за умов мінімального рівня травмування зерна робочими органами жнивarki зернозбирального комбайну, є досить перспективними завданнями.

### 3. Ціль та задачі дослідження

Мета дослідження – зменшення травмування насіння та підвищення продуктивності роботи зернозбирального комбайну завдяки вдосконаленню технологічних процесів, технічних засобів транспортування та обмолоту зерна жнивarkою.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- провести експериментальні дослідження розроблених пристроїв попереднього відділення зерна та встановити раціональну конструктивно-технологічну схему пристрою;
- встановити вплив кількості та висоти упорів на барабані пристрою на значення коефіцієнта відділення зерна в залежності від швидкості руху комбайна;
- розробити метод кількісного оцінювання обсягу зерна, відділеного розробленим пристроєм;
- встановити теоретичну залежність коефіцієнта відділення зерна від параметрів та режимів функціонування пристрою жнивarki та зернозбирального комбайну.

### 4. Матеріали та методи дослідження ступеня відділення зерна пристроєм до жнивarki

Для проведення експериментальних досліджень використовували зернозбиральний комбайн КЗС 9-1 «Сла-

вучи», жатку якого обладнано розробленим пристроєм попереднього обмолоту зерна. Сімейство українських зернозбиральних комбайнів КЗС 9-1 «Славучи» виготовляє Херсонський машинобудівний завод.

Розроблення пристрою попереднього обмолоту зерна включало розроблення конструкції та виготовлено барабану із з'ємними робочими органами (планками з різною формою зубів) (рис. 1). Конструкція барабану передбачала можливість встановлення двох, або чотирьох планок. Висота планок складала 20 або 30 мм, профіль планки гладкий або зубоподібний.

Барабан встановлювали у проставці жнивarki замість бітера, оснащеного пальчиковим механізмом. Змінення швидкості обертання барабану здійснювали завдяки спеціально виготовленому комплекту приводних зірочок з кількістю зубів 15, 17 та 19 шт.



Рис. 1. Проміжний молотильний барабан та варіанти додаткових планок барабану:  
а – гладкої; б – із зубоподібними профілями з висотою 30 мм; в – із зубоподібними профілями з висотою 20 мм пристрою попереднього обмолоту зерна

Програмою експериментальних досліджень було передбачено:

- випробування проміжної циліндричної проставки з пальцями, що ховаються (серійна жнивarka);
- випробування експериментальної жнивarki, яка містить циліндричний зубчато-лопатевий барабан діаметром 330 мм без додаткових планок (гладкий барабан);
- випробування жнивarki із проміжним молотильним барабаном із бичем під барабаном;
- випробування жнивarka із проміжним молотильним барабаном, який містить дві додаткові планки. Профіль планки – гладкий, зубоподібний із висотою планки 20 мм, зубоподібний із висотою планки 30 мм;
- випробування жнивarki із проміжним молотильним барабаном, який містить чотири додаткові планки. Профіль планки – гладкий, зубоподібний із висотою планки 20 мм, зубоподібний із висотою планки 30 мм.

В якості планок використовували прямокутний сталевий трикутник (розміром 45×45 мм), одну сторону якого було приєднано до бічної поверхні барабана. На іншій стороні трикутника було нарізано зубоподібний профіль у вигляді рівносторонніх трикутників висотою 20 мм та 30 мм (рис. 1).

**4. 1. Досліджувані матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті**

Програмою досліджень передбачалося почергове проведення експериментів із жниварками, які містили відмічені вище молотильні барабани (згідно переліку розділу 4).

**4. 2. Методика визначення ступеня відділення зерна пристроєм до жниварки**

Методика проведення досліджень включала вибір ділянки з однорідним і вирівняним стеблостоем. Експериментальні дослідження проводили на дослідних ділянках Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України, засіяних пшеницею озимою сорту Миронівська 61. Дослідження проводили згідно стандартних методик [17, 18]. Урожайність поля складала 55 ц/га.

Частоту обертання вала барабана регулювали завдяки змінненню передаточного відношення ланцюгової передачі.

Дослідження проводили на трьох швидкостях руху зернозбирального комбайну: 2, 4 та 6 км/год у трьох повторностях.

Під час проведення дослідів фіксували: довжину дослідної ділянки, час проходження комбайном дослідної ділянки, швидкість руху комбайна, площу ділянки, яку досліджували.

За результатами кожної проби із бункера каменеуловлювача, який розміщено перед основним молотильним барабаном комбайну, відбиралася маса, що накопичувалася там. Ця маса представляла собою суміш відділеного від колосків зерна, немолоченого зерна у колоску, вороху і соломи. Накопичену у каменеуловлювачі масу висипали у спеціально підготовлені попередньо підписані пакети. Обробку результатів досліджень здійснювали у лабораторних умовах.

В лабораторних умовах за результатом розбирання взятих у полі проб визначали: масу відділеного зерна –  $m_z$ , масу не відділеного зерна –  $m_{н.з}$ . Загальну масу зерна у ЗСМ визначали  $M_z = m_z + m_{н.з}$ .

Масу соломи визначали із співвідношення зерна до соломи за масою 1:1,2, тобто

$$M_c = 1.2M_z = 1.2 \cdot (m_z + m_{н.з}).$$

При обробці результатів експериментальних досліджень використовувались методи регресійного аналізу. Апроксимація експериментальних залежностей математичною моделлю виконана за допомогою методу найменших квадратів з використанням статистичного програмного пакету STATISTIKA-6.5. Перевірка адекватності математичних моделей проводилась з використанням елементів дисперсійного аналізу за допомогою критерію Фішера на рівні довірчої ймовірності 0,95.

**5. Результати досліджень ступеня відділення зерна пристроєм до жниварки**

Основу пристрою попереднього обмолоту хлібної маси в жниварці комбайна склали проміжний молотильний барабан та дека, встановлена під ним (рис. 2). Барабан виконано у вигляді циліндра діаметром 330 мм із тангенційно закріпленими на його поверхні зубчастими планка-

ми (рис. 1). Глуха (без отворів) циліндрична дека з кутом охоплення 56° ексцентрично встановлена під барабаном з можливістю регулювання зазорів на вході та виході. Іntenсифікація процесу обмолоту досліджувалася також завдяки встановленню на поверхні деки рифлених бичів.

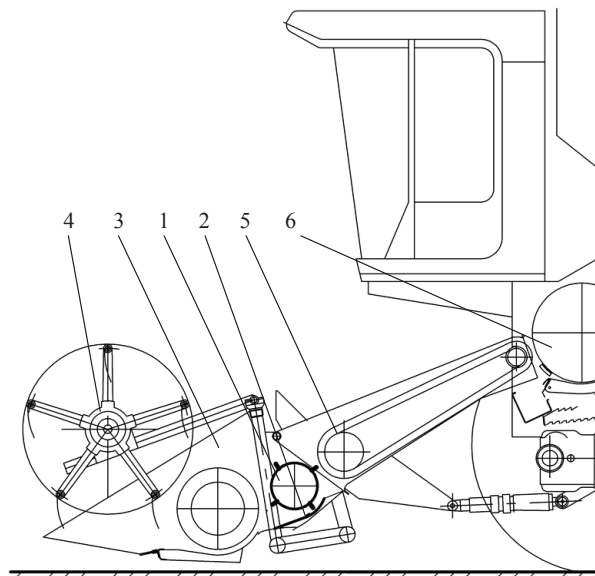


Рис. 2. Схема загального вигляду жниварки комбайна з пристроєм попереднього обмолоту зерна: 1 – зубчато-лопатевий молотильний барабан; 2 – дека; 3 – жниварка; 4 – мотовило; 5 – транспортер похилої камери; 6 – МСС комбайна

За результатами порівняльних експериментальних досліджень встановлено, що зубчато-лопатевий молотильний барабан суттєво більше (на 30–35 %) вимолочує зерна в порівнянні з стандартним бітером проставки. Кількість зерна, що осідає в бункері каменеуловлювача (перед основним молотильним барабаном), залежить від форми (конструкції) молотильного барабану для попереднього обмолоту і частоти його обертання.

Ефективність функціонування пристрою попереднього обмолоту зерна запропоновано оцінювати спеціальним показником. Цей показник комплексно характеризує узгодженість в системі збирання та обмолоту культури цілої низки техніко-експлуатаційних показників та чинників.

Оцінювання ефективності відділення зернівок від колосу пристроєм попереднього обмолоту зерна здійснювали розрахунково-експериментальним методом на підставі аналізу співвідношення маси відділеного ним зерна до маси зерна, яка очікується до надходження:

$$k_B = \frac{m_z}{m_{оч.з}}, \tag{1}$$

де  $m_z$  – маса відділеного пристроєм зерна (встановлюється експериментально), кг;  $m_{оч.з}$  – маса зерна, яку очікується до надходження у похилу камеру пристрою за результатами дослідів (визначається розрахунковим методом), кг.

Коефіцієнт відділення зерна від колосу ( $k_B$ ) спільно із абсолютним значенням маси цього зерна ( $m_z$ ) уможливають комплексно оцінити конструкційно-технологічне

і технічне рішення щодо пристрою попереднього обмолоту зерна.

До пристрою попереднього обмолоту зерна надходить ЗСМ загальна кількість якої співпадає із масою, що надходить до молотарки. Згідно із [1–6] кількість цієї маси (пропускну здатність,  $q$ , кг/с) визначали за залежністю:

$$q = \frac{B \cdot k_{\text{пов}} \cdot v_M \cdot Q}{360}, \quad (2)$$

де  $Q$  – врожайність зерна і соломи, ц/га:  $Q = Q_3 + Q_3 \cdot \beta$ ;  $Q_3$  – врожайність зерна, ц/га;  $\beta$  – частка соломи за масою відносно врожайності зерна;  $B$  – ширина захвату жнивarki, м;  $v_M$  – швидкість руху комбайна, км/год;  $k_{\text{пов}}$  – коефіцієнт ефективності використання ширини захвату жатки (за експериментальними даними значення цього коефіцієнта коливається в межах 0,94–0,99).

Ширина захвату жнивarki складала 6 м.

Внаслідок простих перетворень отримали:

$$k_B = \frac{m_3}{m_{\text{оч.з}}} = \frac{5 \cdot m_3}{18 \cdot q \cdot l_i} \cdot v_M \cdot (1 + \beta), \quad (3)$$

де  $l_i$  – довжина дослідної ділянки, м.

На рис. 3–5 наведено залежності коефіцієнта відділення зерна ( $k_B$ ) від різних чинників. Довжина експериментальної ділянки (довжина гону комбайна) має суттєвий вплив на значення коефіцієнта відділення зерна (рис. 3–5). Збільшення довжини ділянки призводить до зменшення значення коефіцієнта відділення зерна. Це обумовлено тим, що обсяг камери камнеуловлювача, звідки здійснювався забір проб обмолоченого зерна, обмежений, що на довгих прогонах призводить до спотворення результатів вимірювань.

Збільшення масової частки соломи щодо врожайності зерна також призводить до збільшення значення коефіцієнта відділення зерна (рис. 3).

Аналізуючи залежність (3) та побудовані графічні залежності (рис. 3–5), відмітимо, що за малих значень пропускну спроможності і довжини гону ( $q = 2$  кг/с,  $l_i = 6$  м, рис. 3) створюються умови максимального відділення зерна в похилій камері жатки. Коефіцієнт відділення зерна за таких умов складав 0,93. Тобто фактично 93 % зерна, яке надходить в похилу камеру жатки, відділяється від колоса. Це зерно осідає в нижній частині похилої камери і формує свій потік.

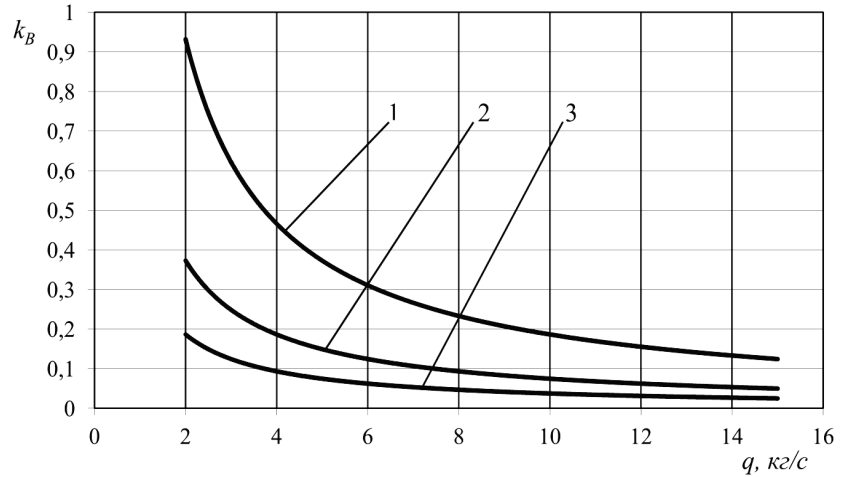


Рис. 3. Розрахунково-експериментальні залежності коефіцієнта відділення зерна ( $k_B$ ) від пропускну здатності ( $q$ ) за умов  $m_c = 3,5$  кг;  $\beta = 1,3$ ;  $v_M = 5$  км/год, для різних  $l_i$ : 1 –  $l_i = 6$  м; 2 –  $l_i = 15$  м; 3 –  $l_i = 30$  м

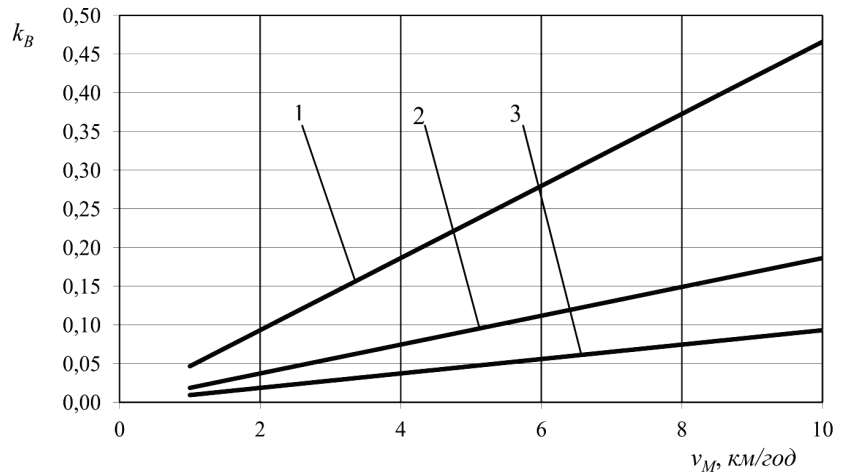


Рис. 4. Розрахунково-експериментальні залежності коефіцієнта відділення зерна ( $k_B$ ) від швидкості руху комбайна ( $v_M$ ), за умов  $m_c = 3,5$  кг;  $q = 8$  кг/с;  $\beta = 1,3$ , для різних  $l_i$ : 1 –  $l_i = 6$  м; 2 –  $l_i = 15$  м; 3 –  $l_i = 30$  м

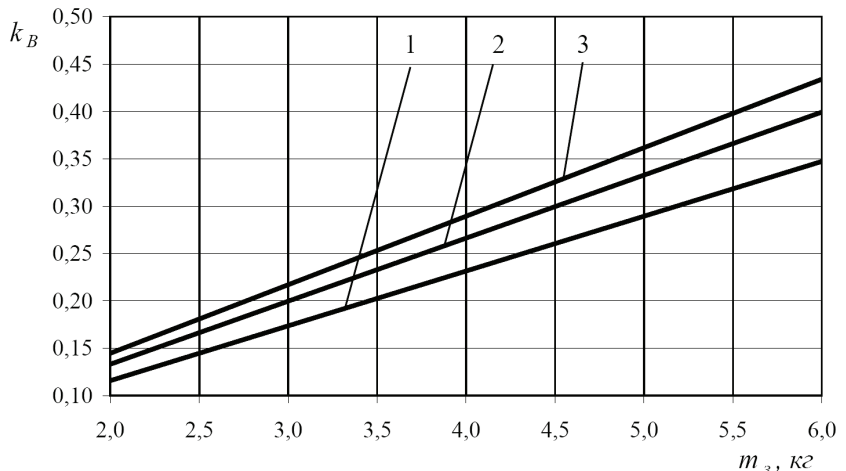


Рис. 5. Розрахунково-експериментальні залежності коефіцієнта відділення зерна ( $k_B$ ) від маси відділеного пристроєм зерна за  $l_i = 6$  м;  $v_M = 5$  км/год;  $q = 8$  кг/с для різних  $\beta$ : 1 –  $\beta = 1,0$ ; 2 –  $\beta = 1,3$ ; 3 –  $\beta = 1,5$

Зі збільшенням швидкості переміщення комбайна значення коефіцієнта відділення зерна зростає (рис. 4). Так швидкості 2 км/год відповідає  $k_B=0,1$ ; за умов  $v_M=6$  км/год –  $k_B=0,3$ ; за умов  $v_M=10$  км/год –  $k_B=0,5$  відповідно.

Результати експериментальних досліджень з визначення ступеня відділення зерна серійною жнивваркою у порівнянні із жнивваркою, яка містить пристрій попереднього обмолоту зерна, наведено на рис. 6, 7.

Відмітимо, що збільшення швидкості руху комбайна призводить до зростання значення коефіцієнта відділення зерна для усіх зразків, що досліджувалися (рис. 6, 7). Проте, для експериментів із жаткою, барабан якої містив бич, жаткою із гладким барабаном провести досліді на максимально запланованих програмі досліджень швидкостях не вдалося.

Під час проведення відмічених експериментальних досліджень спостерігалися випадки зменшення швидкості переміщення комбайну.

Це відбувалося внаслідок погіршення пропускної здатності комбайну, обмовлене накопиченням на вході до пристрою попереднього обмолоту зерна зерно-соломистої маси, яку не сприймав пристрій. Тобто, кількість маси, що надходила до похилої камери жнивварки не відповідала функціональній спроможності пристрою. Це призводило до вимушеного зменшення швидкості переміщення комбайну (зменшення пропускної здатності).

За результатами проведених досліджень встановлено значення коефіцієнта відділення зерна для серійної жатки, яка містила бітер із пальцями, що ховаються, на рівні 0,04–0,06.

Так, за швидкості руху комбайна 5,1 км/год значення маси відділеного зерна з площі 33,5 м<sup>2</sup> складало 0,865 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,05.

За швидкості 6,7 км/год, площі дослідної ділянки 27,6 м<sup>2</sup> значення маси відділеного зерна складало 0,785 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,06.

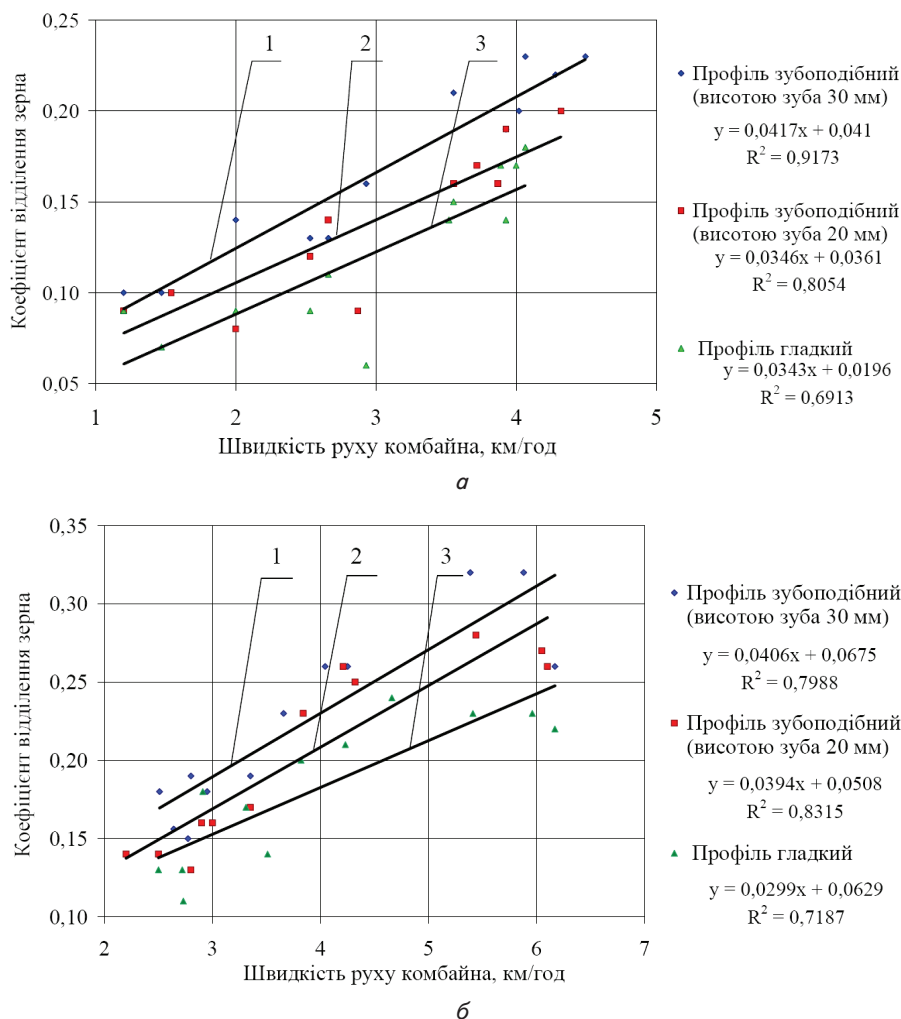


Рис. 6. Експериментальні залежності коефіцієнта відділення зерна ( $k_B$ ) від швидкості руху комбайна: **а** – для жнивварки з проміжним молотильним барабаном, який містить дві додаткові планки; **б** – жнивварки з проміжним молотильним барабаном, який містить чотири додаткові планки: 1 – зубоподібний профіль із висотою планки 30 мм; 2 – зубоподібний профіль із висотою планки 20 мм; 3 – профіль із гладкою планкою

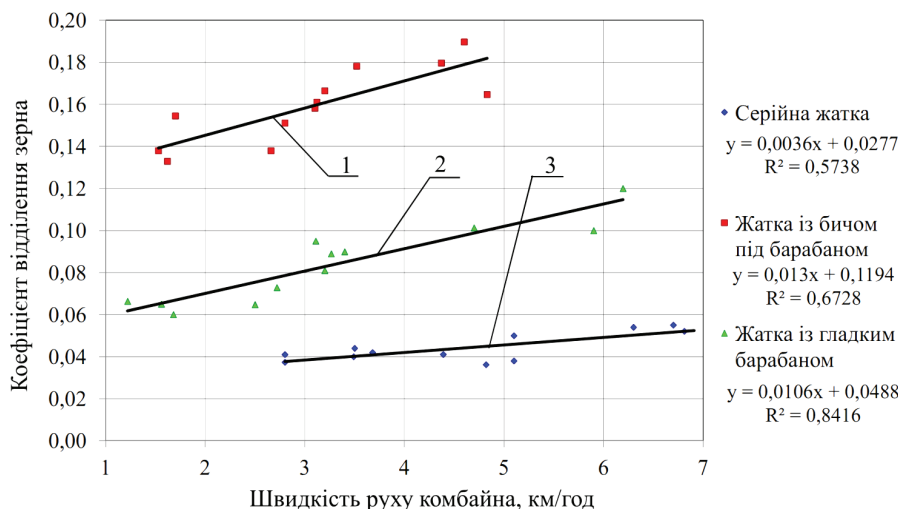


Рис. 7. Експериментальні залежності коефіцієнта відділення зерна ( $k_B$ ) від швидкості руху комбайна: 1 – жатка, яка містить бич під барабаном; 2 – жатка із гладким барабаном; 3 – серійна жатка

Значення коефіцієнта відділення зерна для експериментальної жниварки, яка містить циліндричний зубчато-лопатовий барабан діаметром 330 мм без додаткових планок (гладкий барабан) коливалося в межах 0,06–0,12. За швидкості руху комбайна 6,2 км/год, площі ділянки 31,2 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 1,93 кг значення коефіцієнта відділення становило 0,12. Найменше значення коефіцієнта відділення зерна (0,06) для цього пристрою встановлено за швидкості руху комбайна 2,5 км/год, площі ділянки 38,8 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 1,30 кг.

За результатами випробувань жниварки із проміжним молотильним барабаном із бичем під барабаном значення коефіцієнта відділення зерна коливалося в діапазоні 0,14–0,18. Менше значення коефіцієнта відділення (0,14) встановлено за швидкості руху комбайна 1,53 км/год, площі ділянки 30,0 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 2,14 кг. Найбільше значення (0,18) для цього пристрою попереднього відділення зерна встановлено за швидкості руху комбайна 4,37 км/год, площі ділянки 29,4 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 2,73 кг.

Дослідження жниварки із проміжним молотильним барабаном, який містить дві додаткові планки, проведено у трьох варіантах. За першим варіантом досліджували пристрій, на барабані якого закріплено гладкі планки; за другим – пристрій, барабан якого містить планки зубоподібного профілю із висотою планки 20 мм, за третім – пристрій, барабан якого містить планки зубоподібного профілю із висотою планки 30 мм відповідно. Встановлено, що для пристрою, на барабані якого закріплено гладкі планки, за швидкості руху комбайна 2,53 км/год, значення маси відділеного зерна з площі 35,3 м<sup>2</sup> складало 1,64 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,09. Найбільше значення (0,17) для цього пристрою попереднього відділення зерна встановлено за швидкості руху комбайна 3,89 км/год, площі ділянки 33,5 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 2,94 кг. Для пристрою, барабан якого містить дві планки зубоподібного профілю із висотою планки 20 мм, за швидкості руху комбайна 2,0 км/год, значення маси відділеного зерна з площі 35,3 м<sup>2</sup> складало 1,46 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,08. Найбільше значення (0,19) для цього пристрою попереднього відділення зерна встановлено за швидкості руху комбайна 3,93 км/год, площі ділянки 31,2 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 2,57 кг. Для пристрою, барабан якого містить дві планки зубоподібного профілю із висотою планки 30 мм, за швидкості руху комбайна 4,49 км/год, значення маси відділеного зерна з площі 33,5 м<sup>2</sup> складало 3,98 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,23. Значення коефіцієнта відділення зерна (0,09) для цього пристрою встановлено за швидкості руху комбайна 1,2 км/год, площі ділянки 31,2 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 1,45 кг.

Технологічний процес транспортування і обмолоту ЗСМ, який здійснює проміжний молотильний барабан із чотирма додатковими планками, проведено у трьох варіантах, аналогічних варіантам досліджень барабану із двома планками. За результатами випробувань жниварки із проміжним молотильним барабаном, який містить чотири гладкі планки, значення коефіцієнта відділення зерна коливалося в діапазоні 0,11–0,22. Менше значення коефіцієнта відділення (0,11) встановлено за швидкості руху комбайна 2,73 км/год, площі ділянки 27,6 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 1,57 кг. Найбільше значення (0,22) для цього пристрою попереднього відділення зерна встановлено за швидкості руху комбайна 6,17 км/год, площі

ділянки 37,6 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 4,27 кг. Для пристрою, барабан якого містить чотири планки зубоподібного профілю із висотою планки 20 мм, за швидкості руху комбайна 2,8 км/год, значення маси відділеного зерна з площі 28,2 м<sup>2</sup> складало 1,89 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,13. Найбільше значення (0,28) для цього пристрою попереднього відділення зерна встановлено за швидкості руху комбайна 5,44 км/год, площі ділянки 39,4 м<sup>2</sup>, маси відділеного зерна 5,69 кг. Для пристрою, барабан якого містить чотири планки зубоподібного профілю із висотою планки 30 мм, за швидкості руху комбайна 5,39 км/год, значення маси відділеного зерна з площі 36,8 м<sup>2</sup> складало 6,07 кг, а значення коефіцієнта відділення – 0,32.

За результатами проведених досліджень комбіновано-технологічного процесу транспортування та обмолоту ЗСМ встановлено, що пристрій, барабан якого містить чотири планки зубоподібного профілю із висотою планки 30 мм, стабільно здійснює як транспортування маси, так і забезпечує обмолот до 32 % зерна.

Під час математичної обробки результатів експериментальних досліджень визначали статистичні характеристики: математичне сподівання, дисперсії, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнта варіації згідно [19, 20].

Емпіричні розподіли узгоджували з теоретичними за спеціально розробленими в теорії статистичними критеріями [19, 20].

## 6. Обговорення результатів дослідження ступеня с відділення зерна пристроєм до жниварки

Проведеними дослідження встановлено можливість вимолоту 30–35 % зерна до надходження технологічної маси в основний МСС комбайна.

Відмітимо, що барабан пристрою попереднього обмолоту без пальців, що ховаються, виконує також функцію дозатора технологічної маси. За умов подачі технологічної маси більше за можливість МСС комбайна, барабан пристрою не пропускає її в похилу камеру. Це уможливорює зменшення пошкодження і втрат зерна комбайном. Проведена розробка спрощує конструкцію жниварки за рахунок заміни порівняно складного бітера з пальцями, що ховаються, барабаном зубчато-лопатового типу.

За результатами проведених досліджень удосконалено комбінований технологічний процес транспортування і обмолоту ЗСМ. Ефект обмолоту досягнуто завдяки розробленому пристрою попереднього обмолоту зерна жатки зернозбирального комбайну КЗС 9-1 «Славутич» (рис. 1, 2). Застосування пристрою уможливило відокремлення 30–35 % зерна на ранніх фазах його транспортування до МСС комбайна.

За результатами проведених досліджень удосконалено технологічний процес транспортування ЗСМ, розроблено пристрій попереднього обмолоту зерна жатки зернозбирального комбайну КЗС 9-1 «Славутич» (рис. 1). Завдяки пристрою уможливується відокремлення 30–35 % зерна на ранніх фазах його транспортування до МСС комбайна.

Технологічний процес транспортування ЗСМ по похилій камері жниварки представляє собою складний процес переміщення, у якому постійно, внаслідок відділення зернівок від колоса, відбувається збільшення частки зерна в загальному потоці маси.

Переміщення ЗСМ характеризується такими особливостями:

- відділення окремих зернівок, полови тощо із сучіття зрізаних стебел, осідання в нижній частині потоку технологічної маси більш важчої за масою ніж солома фракції зернівок;
- формування із відділених зернівок окремого зернового потоку;
- травмування зернин вже на ранніх етапах його транспортування.

Найвищий рівень відділення зерна від ЗСМ досягнуто для жнивника із проміжним молотильним барабаном із чотирма додатковими планками, зубоподібний профіль яких мав висоту планки 30 мм. Коефіцієнт відділення зерна для такого пристрою складає на швидкості руху комбайна  $v_M=5$  км/год  $k_B=0,15$ , швидкості  $v_M=6$  км/год  $k_B=0,30$  (максимальне значення  $k_B=0,32$  досягнуто за пропускну здатності комбайна на рівні 12 кг/с).

Рух ЗСМ розглянуто із такими припущеннями: на початку входження маси до пристрою попереднього обмолоту зерна вона представляє собою однорідну масу, що складається із стебел соломи і колосків із зерном. Внаслідок динамічного впливу упорів барабану маса деформується, стискається. Відбувається часткове руйнування зв'язків між зернівками та колосом, а часто і відділення зерна від колоска. Щільність маси дозволяє переміщуватися вільному зерну у нижню частину простору, що утворюється між упором барабану і підбарабаням. Таким чином, у цій зоні з часом утворюється потік (переміщення) вільного зерна. Відзначимо, що переміщення відділеного зерна вже не відбувається спільно із основною частиною ЗСМ. Транспортування цієї маси не буде відзначатися високою рівномірністю, а буде здійснюватися порціонно. Шар обмолоченого зерна є не деформованим.

На ділянці, яка уособлює початок транспортування маси через пристрій попереднього обмолоту зерна, відбувається накопичування в обсязі, еквівалентному об'єму між двома сусідніми упорами і декою. Утворена пробка наступним упором стискається і проштовхується далі. Упори виконують функцію притискання маси, деформацію і транспортування по похилій камері. Функція транспортування узгоджується із кінематичними параметрами механізмів, які подають та приймають ЗСМ.

Упори пристрою взаємодіють із стеблами ЗСМ. Переміщення ЗСМ відбувається у потоці переплетених між собою стебел пшениці (або іншої зернової культури). Упор стискає (деформує) стебла, переміщуючи їх як суцільну безкінечну стрічку по похилій камері.

Профіль лунки, який утворює упор у ЗСМ за умов її переміщення, визначається кривою лінією, дотичною до граней упора за умов довірливих їх положень.

Відмітимо, що в результаті взаємодії передньої поверхні упору відбувається деформація ЗСМ і як наслідок, руйнування зв'язків між зерниною і колоском. Зернівки відділяються від колоску і накопичуються на кожному шарі ЗСМ поступово осідають внаслідок дій сил тяжіння на поверхню похилої камери, утворюючи власний зерновий потік.

Збільшення товщини потоку зернової маси у загальному об'ємі ЗСМ, що переміщується, призводить до зростання сил опору руху. Це є наслідком поступового зменшення висоти зазору між упором барабану і бічною поверхнею похилої камери. Зменшення зазору призводить до зростання деформації ЗСМ, і як відмічалось вище, до збільшення ступеня відділення зернівок від колосу.

Зменшення зазору, збільшення сил опору руху ЗСМ може призвести до забивання похилої камери. З метою унеможливлення таких явищ конструкції сучасних зернозбиральних комбайнів обладнано спеціальними пристроями, завдяки яким, за певних умов, забезпечується збільшення зазору між барабаном і декою. За таких умов сили опору переміщення ЗСМ зменшуються і уся маса проходить по технологічним каналам комбайну на наступні операції.

За умов забивання похилої камери, ступінь деформації ЗСМ значно зростає, що негативно впливає на зерно, яке вже відділилося від колосу. Витрати енергії на одиницю об'єму деформації будуть зростати.

Встановлено рівняння регресії, які адекватно описують залежність коефіцієнта відділення зерна  $k_B$  від швидкості руху комбайна (рис. 6, 7). Коливання значень коефіцієнта кореляції в діапазоні 0,672–0,971 свідчать про те, що для серійної жатки (коефіцієнт кореляції 0,685, для жатки із бичем – 0,672) сила кореляційного зв'язку характеризується середнім показником (значення коефіцієнта кореляції  $0,50 < r < 0,69$ ). Для усіх інших випадків значення сили кореляційного зв'язку відповідає наявності сильного (щільного) зв'язку (коефіцієнт кореляції  $r > 0,70$ ). Знак коефіцієнта кореляції додатний, що уможливує зв'язок між ознаками, які корелюють, охарактеризувати такими, що більшій величині однієї ознаки (змінної) відповідає більша величина іншої ознаки (іншої змінної) [19, 20]. Відмітимо про існування прямо пропорційної залежності між двома показниками, що досліджуються. Іншими словами, якщо один показник (змінна) збільшується, то відповідно збільшується й інший показник (змінна).

Результати проведених досліджень можуть бути використані за умов розроблення нових та удосконалення існуючих конструкцій пристроїв попереднього обмолоту зерна жнивника зернозбирального комбайну.

## 7. Висновки

1. Удосконалено комбінований технологічний процес транспортування та обмолоту ЗСМ, розроблено пристрій попереднього обмолоту зерна жатки зернозбирального комбайну КЗС 9-1 «Славутич», що уможливило відокремлення 30–35 % зерна на ранніх фазах його транспортування до МСС комбайна.

2. Експериментально встановлено залежності коефіцієнта відділення зерна від швидкості руху комбайна, якими враховано відміни механізованих технологічних операцій, зумовлених зміною кінематичних режимів роботи комбайну, кількості упорів та їх висоти на барабані пристрою попереднього обмолоту зерна. Встановлено, що коефіцієнт відділення зерна від колосу у жнивника із проміжним молотильним барабаном, який містить чотири додаткові планки зубоподібного профілю висотою 30 мм, має найбільше (0,32) значення.

3. Розроблено експериментально-розрахунковий метод визначення кількості (ступеня) відділення зерна пристроєм жнивника зернозбирального комбайну, який базується на результатах моделювання комбінованого процесу транспортування та обмолоту зерна, зумовлених взаємодією барабана пристрою із зерно-соломистою масою.

4. Аналітично обґрунтовано та експериментально підтверджено комплексний вплив конструкційних пара-



метрів пристрою та режимів виконання комбінованого процесу транспортування та обмолоту ЗСМ на рівень відділення зерна, що дозволило встановити теоретичну залежність коефіцієнта відділення зерна. Відмічена теоретична залежність уможливило аналітичне обґрун-

тування раціональних параметрів і режимів функціонування пристрою попереднього обмолоту зерна комбайну. Синергетичний ефект взаємопосилення рівня відділення зерна реалізується завдяки системним зв'язкам технологічних операцій транспортування та обмолоту ЗСМ.

#### Література

1. Шейченко, В. О. Економічні аспекти підвищення надійності та якості виконання технологічного процесу машинними агрегатами [Текст] / В. О. Шейченко, Д. О. Войтюк, І. М. Шульган // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2007. – Вип. 51. – С. 204–211.
2. Шейченко, В. А. Исследование микроповреждений и микротравмирования зерна при его уборке зерноуборочными комбайнами [Текст] / В. А. Шейченко, А. Я. Кузьмич, А. Н. Грицака, М. М. Ковалев // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 1 (223). – С. 24–28.
3. Материнська, О. А. Економічна ефективність виробництва зернових культур в сільськогосподарських підприємствах [Електронний ресурс] / О. А. Материнська // Ефективна економіка. – 2013. – № 11. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2521>
4. Špokas, L. The experimental research of combine harvesters [Text] / L. Špokas, V. Adamčuk, V. Bulgakov, L. Nozdrovický // Research in Agricultural Engineering. – 2016. – Vol. 62, Issue 3. – P. 106–112. doi: 10.17221/16/2015-rae
5. Липкович, Э. И. Процессы обмолота и сепарации в молотильных аппаратах зерноуборочных комбайнов [Текст] / Э. И. Липкович. – зерноград: ВНИПТИМЭСХ, 1973. – 165 с.
6. Кленин, Н. И. Параметры зерноуборочных комбайнов с аксиально-роторной молотилкой шириной 1,2 м [Текст] / Н. И. Кленин, С. Г. Ломакин, А. А. Золотов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 3. – С. 25–27.
7. Srivastava, A. K. Engineering principles of agricultural machinery [Text] / A. K. Srivastava, C. E. Goering, R. P. Rohrbach, D. R. Buckmaster. – ASABE, 2006. doi: 10.13031/epam.2013
8. Шейченко, В. О. Дослідження обмолоту зерна трибарабанною молотаркою [Текст] / В. О. Шейченко, В. І. Недовесов, О. М. Грицака // Зб. наук. праць Луцького НТУ. Сільськогосподарські машини. – 2015. – Вип. 33. – С. 149–155.
9. Занько, М. Д. Аналітичне моделювання втрат зерна за молотаркою в залежності від умов роботи зернозбирального комбайна [Текст] / М. Д. Занько, В. І. Недовесов // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2013. – Вип. 97. – С. 483–488.
10. Trollope, J. R. A mathematical model of the threshing process in a conventional combine-thresher [Text] / J. R. Trollope // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1982. – Vol. 27, Issue 2. – P. 119–130. doi: 10.1016/0021-8634(82)90098-1
11. Miu, P. I. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units – Part I [Text] / P. I. Miu, H.-D. Kutzbach // Computers and Electronics in Agriculture. – 2008. – Vol. 60, Issue 1. – P. 96–104. doi: 10.1016/j.compag.2007.07.003
12. Gregory, J. M. Mathematical Relationship Predicting Grain Separation in Combines [Text] / J. M. Gregory, C. B. Fedler // Transactions of the ASAE. – 1987. – Vol. 30, Issue 6. – P. 1600–1604. doi: 10.13031/2013.30610
13. Mirzazadehl, A. Intelligent modeling of material separation in combine harvester's thresher by ANN [Text] / A. Mirzazadehl, S. Abdollahpour, A. Mahmoudi, A. Ramazani Bukat // International Journal of Agriculture and Crop Sciences. – 2012. – Vol. 4, Issue 23. – P. 1767–1777.
14. Антипин, В. Г. О перемещении обмолачиваемой культуры по подбарабанью [Текст] / В. Г. Антипин, В. М. Коробицын // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1979. – № 8. – С. 7–9.
15. Пат. № 2191237 RU. Молотильно-сепарирующее устройство. МПК А01F 12/18, А01F 12/20, А01F 12/22 [Текст] / Федорова О. А. – № 2000105020/13; заявл. 29.02.2000; опубл. 20.04.2002.
16. Пат. № 2202165 RU. Зерноуборочный комбайн. МПК А01D 41/00, А01D 41/02, А01D 41/12, А01F 12/18 [Текст] / Цепляев А. Н., Ряднов А. И., Федорова О. А. – № 2000109659/13; заявл. 17.04.2000; опубл. 20.04.2003.
17. Серый, Г. Ф. Зерноуборочные комбайны [Текст] / Г. Ф. Серый, Н. И. Косилов, Ю. М. Ярмаш, А. И. Русанов. – М.: Агропромиздат, 1986. – 247 с.
18. Колесников, А. В. Повышение эффективности технологического процесса обмолота зернобобовых культур путем усовершенствования молотильно-сепарирующей части молотилки [Текст] / А. В. Колесников // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». – 2013. – Вип. 153. – С. 104–111.
19. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) [Текст] / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
20. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных [Текст] / Г. В. Веденяпин. – 3-е изд. – М.: Колос, 1973. – 199 с.