

Нанка О.В.

Харківський національний технічний
університет сільського господарств
ім. Петра Василенка

УСТАТКУВАННЯ, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ
ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

УДК 631.363.7

Приведені конструкції устаткування, методики і результати досліджень механіко-технологічних властивостей фуражного зерна. В результаті досліджень встановлено, що геометричні параметри окремих зернин коливаються в широких межах. Найбільша довжина зерна у вівса, найменша у пшениці, найбільша ширина у гороху, найменша у вівса. Зерновий матеріал, крім гороху і кукурудзи, мають форму близьку до еліпсоїда обертання, або циліндра. Товщина їх майже дорівнює ширині, а довжина майже у два рази більше товщини. Найбільші максимальні дотичні напруження, які виникають при різанні одиничної зернини характерні для кукурудзи. Найменші максимальні дотичні напруження характерні для різання одиничної зернини гороху і дорівнюють $1,18 \cdot 10^6$ Н/м².

Ключові слова: устаткування, методика, механіко-технологічні дослідження, результати досліджень.

Вступ. Дослідження процесу подрібнення зернових кормів не можливе без усебічного вивчення їх основних механіко-технологічних властивостей, до яких відносяться: геометричні параметри окремої зернини; об'ємна (насіпна) щільність; максимальне дотичне напруження руйнування зернини; коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього тертя, вологість та інші.

Зерно злакових культур це надзвичайно складний біологічний об'єкт, який представляє собою єдине ціле органічне сполучення різко різносторонніх по своїй структурі, фізичним властивостям, хімічному складу, абсолютній масі та біологічному призначенню його анатомічних частин (зародиш, ендосперм, зовнішні і внутрішні оболонки). Кожна його частина, як і все зерно в цілому несуть відповідну інформацію про можливість отримання заданого виходу і якості готової продукції, технологічних методах його переробки і їх режимних параметрів при яких необхідно виконувати технологічний процес.

Анатомічна будова зерна чинить вплив на багато фізичних показників, які використовуються при його застосуванні як сировини для отримання продуктів подрібнення при приготуванні комбікормів. В практичній технології анатомічна будова зерна розглядається з двох позицій: які технологічні прийоми найбільш ефективні при виборі головних технологічних операцій та який вихід продукції і якої якості при цьому досягається.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для раціональної організації і оптимального ведення технологічного процесу приготування комбікормів необхідно знати механіко-технологічні властивості зернових кормів, які в значній мірі впливають на енергоємність процесу і якість кінцевого продукту. Крім того вивчення їх значень дозволяє знайти найбільш ефективні способи дії робочих органів машин на продукт, який переробляється і визначити їх раціональні параметри і режими робіт. Питанню вивчення механіко-технологічних властивостей зернових кормів присвячений ряд робіт, із яких слід відзначити наступні.

Перші роботи по вивченню міцності зерна з'явилися в восьмидесятих роках минулого століття. Демидов А.П. [1] зазначив, що відносне стискання зерна пропорційне силі роздавлювання. Причому межа міцності змінюється в залежності від його вологості. Крім того, Демидов А.П. емпірично отримав вираз, що відображає залежність напружень від відносного стискання і товщини зерна.

Тарутин П.А. [2] вивчав питання які зв'язують твердість зерна з величиною зусиль для руйнування і з питомими витратами енергії на подрібнення. Він отримав можливість

встановити величину зусиль стискання необхідних для подрібнення зерна, а також розвиток деформацій і їх динаміку в зерні постійної вологості.

Крагельський І.В. [3] встановив, що найбільш значимо на величину зусилля для руйнування зерна впливають вологість і розмір зерна, причому більш крупне зерно має меншу міцність в порівнянні з малим.

Куприц Я.Н. [4] встановив, що твердим сортам пшениці властивий більш високий опір руйнуванню, а більш м'яким - менший. Постійної величини міцності зерен в межах навіть одного сорту не спостерігається.

Наумов І.А. [5] встановив, що одне і теж зерно пшениці в залежності від характеру прикладання діючої сили може проявляти себе як крихке або пластичне тіло. При повільних деформаціях зерно веде себе в більшій або меншій мірі пластично, а при швидких деформаціях веде себе як крихке тіло згідно закону Гука.

Мельников С.В. [6] установив, що при збільшенні вологості зерна на 1% витрати енергії на одиницю продукції збільшуються на 6%, а ступінь подрібнення зменшується на 3% при одночасному зниженні продуктивності.

В результаті аналізу приведених результатів досліджень встановлено, що вони можуть бути застосовані при дослідженні процесу подрібнення зерна способом удару, який характерний для молоткових дробарок. Крім того встановлено, що механіко-технологічні властивості зерна характерні не тільки для даного сорту, але і місця його вирощування. Тому виникає необхідність в більш детальному вивченні механіко-технологічних властивостей фуражного зерна для умов України з зазначенням найбільш розповсюджених сортів, які використовуються для годівлі тварин і птиці.

Мета і завдання досліджень. Розробити конструкції устаткування, розробити методики і виконати експериментальні дослідження механіко-технологічних властивостей фуражного зерна. Виконати аналіз отриманих результатів.

Результати досліджень. Характеристики міцності зерна відображають механічні властивості зернин різних культур чинити опір деформації певного виду при їх статистичному і динамічному навантаженні. Основними показниками фізико-механічних властивостей зерна є пружність, пластичність, міцність, крихкість, в'язкість і мікротвердість. Міцність окремих зернин оцінюють за величиною руйнівної напруги, яку беруть рівною тимчасовому опору під час стискання.

Для визначення максимального дотичного напруження руйнування зерна злакових культур нами була запропонована нова автоматизована вимірювальна система (рис. 1), яка складається із приладу для створення дотичних навантажень на зернину 1, тензодатчика 2, вагового терміналу 3, аналогового-цифрового перетворювача 4 і персонального комп'ютера 5. Запропонована автоматизована система дозволяє визначати зусилля руйнування зернини і фіксувати їх значення в вигляді графічних залежностей на екрані монітора комп'ютера.

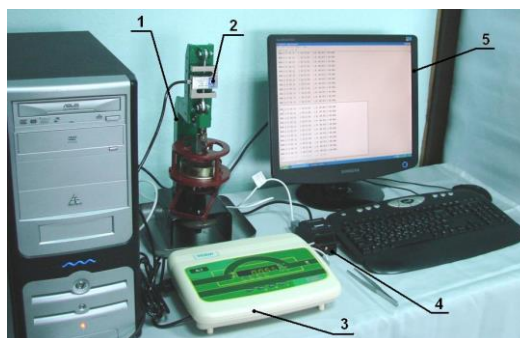


Рис. 1. Автоматизована вимірювальна система для визначення дотичного напруження руйнування зерна злакових культур: 1 - приладу для створення дотичних навантажень на зернину; 2 - тензодатчик; 3 - ваговий термінал; 4 - аналогового-цифровий перетворювач; 5 - персональний комп'ютер

У багатьох машинах переробних виробництв зерно піддається динамічному навантаженню, тому показники міцності, отримані за умов статичного навантаження без врахування швидкості деформації не відображають робочі процеси в повній мірі. З метою усунення цього недоліку, нами запропонований новий спосіб вимірювання сил різання і розроблений новий прилад і автоматизована система [7, 8] для визначення динамічних зусиль різання окремих зернин злакових культур.

Автоматизована вимірювальна система динамічних сил різання (рис. 2) зерна складається із станини 1, на якій встановлений електродвигун 2, на валу якого закріплений ротор виконаний в вигляді диска 4 з ножем 5. Ніж 5 закріплений на диску 4 з можливістю його повороту відносно осі кріплення, що дає змогу змінювати кут різання α без заміни ножа. Пристрій для фіксації зразка зерна 6 і подачі його до ножа 5 складається із циліндричної трубки 7 в якій розташований шток 8 і пружина 9, яка переміщує шток 8 і зерно 10 в напрямку взаємодії ножа із зерном. Реєстрація динамічних зусиль різання відбувається тензодатчиком 11, який жорстко з'єднаний із пристроєм для фіксації зразка матеріалу 6. Для перетворення електричного сигналу тензодатчика 11 в цифровий сигнал служить аналого-цифровий перетворювач 12. Величина динамічних зусиль різання відображається на моніторі комп'ютера 13 за допомогою програмного забезпечення 14.

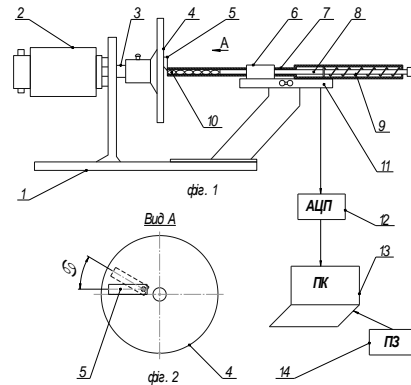


Рис. 2. Автоматизована система для визначення динамічних зусиль різання окремих зернин злакових культур: 1 - станина; 2 - електродвигун; 3 - ротор; 4 - диск опорний; 5 - ніж; 6 - пристрій для фіксації окремої зернини; 7 - труба циліндрична; 8 - шток; 9 - пружина; 10 - зернина; 11 - тензодатчик; 12 - аналого-цифровий перетворювач; 13 - персональний комп'ютер; 14 - програмне забезпечення

З метою експериментального визначення динамічного коефіцієнта внутрішнього тертя ковзання сипких матеріалів нами розроблений прилад загальна схема і загальний вигляд наведені на рис. 3.

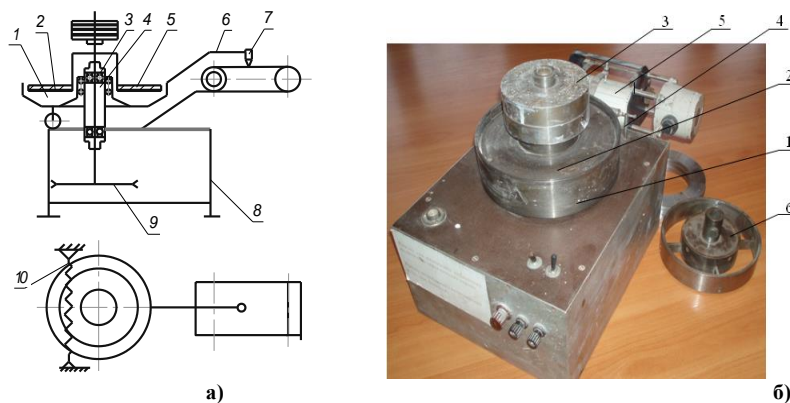


Рис. 3. Схема приладу а) і його загальний вигляд б) для визначення коефіцієнтів зовнішнього і внутрішнього тертя сипких матеріалів: а) 1 – чашовидний бункер; 2 – диск, виготовлений з досліджуваного матеріалу; 3 – підшипникові опори; 4 – вісь; 5 – диск; 6 – самописець; 7 – пишучий пристрій; 8 – станина; 9 – електродвигун; 10 – силівимірювальні пружини; б) 1 – бункер; 2 – рухомий диск; 3 – ваги; 4 – динамометричний пристрій; 5 – самописець; 6 – пристрій для зрушення сипучого матеріалу

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

Прилад складається з чашовидного бункера 1, розташованого на вертикальній трубчастій осі 4 з підшипниковими опорами 3. Диск 5 діаметром 200 мм з отвором посередині насаджений на вісь і жорстко з'єднується з нею під час досліду. До нижньої частини диска 5 гвинтами кріпиться диск 2, вирізаний з випробовуваного матеріалу. Пристрій забезпечений самописцем 6 з пристосуванням, що пише, 7. Чашовидний бункер за допомогою силівимірювальних пружин 10 сполучений із станиною 8. Привод диска 5 здійснюється від електродвигуна 9.

Для визначення механіко-технологічних властивостей зерна використовувались як стандартні методики і прилади, так і методики і прилади розроблені автором роботи. Зокрема для визначення фізичних властивостей зерна використовували наступні стандарти:

- геометричні характеристики зерна по ДСТУ 4138 -2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості.

- об'ємна маса по ДСТУ 2240 93. Насіння сільськогосподарських культур. Технічні умови.

- маса 1000 зернин по ГОСТ 842-76. «Зерно» Методи визначення маси 1000 зернин.

- вологість по ДСТУ ГОСТ 29144:2009 (ИСО 711 - 85) . Зерно и зернопродукты.

Определение влажности(базовый контрольный метод).

При проведенні експериментальних досліджень використовувалось зерно наступних сортів злакових культур: пшениця «Харківська - 98», ячмінь «Фенікс», овес «Нептун», горох «Камерон», кукурудза «Слобожанська МВ», соя «Мрія». Сорти наведених злакових культур найбільш розповсюджені в Харківській області і найбільш широко використовуються в якості зернових кормів в тваринництві.

Дотичне напруження руйнування зернини визначали за допомогою автоматизованої вимірювальної системи і приладу для створення дотичних навантажень на зернину, які наведені на рис. 5.6 і 5.7. Послідовність визначення максимальних дотичних напружень була наступною:

- зернина, однієї із злакових культур, закріплювалася на робочому столі пристроєм 3 для фіксації зерна;

- створювались навантаження на зернину при її взаємодії з пуансоном за рахунок переміщення рухомого стола 2 разом з зерниною;

- напруження реєструвались в вигляді графічних кривих на моніторі комп'ютера;

- максимальне значення напруження приймалося за основу і по його значенню визначали максимальне дотичне напруження руйнування зернини по формулі:

$$\tau = \frac{P}{S_3}, \quad (1)$$

де P - максимальне зусилля при якому відбувається руйнування зерна;

S_3 - площа поперечного перетину зернини.

Коефіцієнт зовнішнього тертя зернових кормів по робочій поверхні визначали в наступній послідовності. У чашовидний бункер 1 (рис. 5.11) засипається зерно однієї із злакових культур. На вісь 4 встановлюється і жорстко фіксується диск 5 з прикріпленим до нього диском 2, виготовленого з матеріалу, коефіцієнт тертя по якому необхідно визначити. Диск 5 з диском 2 щільно притискається до зерна, що знаходиться в чашовидному бункері. При включенні електродвигуна за рахунок фрикційного зв'язку між випробовуваною поверхнею і зерном виникає крутильний момент, величина якого реєструється в вигляді діаграми пишучим пристроєм. За отриманими даними, після опрацювання діаграми коефіцієнт тертя визначається по наступній формулі:

$$f_{зоб} = k \frac{M}{Q}, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт, який залежить від величини площини диска;

M - момент сили тертя, одержаний шляхом обробки діаграми;

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
 Technical service of agriculture, forestry and transport systems

Q - нормальний тиск на зразок зерна.

При визначенні коефіцієнта внутрішнього тертя замість диска 2 встановлюється пристрій для зрушення сипкого матеріалу. Подальші операції проводяться по раніше описаній методиці.

Результати досліджень фізичних властивостей зерна наведені в таблиці 1

Таблиця 1

Фізичні властивості зернових кормів

Показник	Найменування зернової культури				
	Пшениця	Ячмінь	Овес	Горох	Кукуруд-за
Довжина, мм	4,58...7,43	6,15...10,15	6,53...13,98	5,45...8,35	5,52...12,8
Ширина, мм	2,34...4,17	2,87...4,48	2,22...4,15	5,41...8,11	4,96...11,4
Товщина, мм	1,29...4,17	2,31...3,67	1,24...3,89	5,11...8,17	2,54...8,1
Еквівалентний діаметр, мм	3,87	4,18	4,02	6,14	4,97
Площа поперечного перетину, $m^2 \cdot 10^{-5}$	1,1	1,3	1,2	2,9	1,9
Щільність, kg/m^3	1,28...1,53	1,25...1,38	1,15...1,48	1,23...1,45	1,28...1,3
Маса 1000 зернин, г	26,4...42,3	31,5...55,4	21,6...38,8	115...135	195...275
Вологість, %	12,6...13,0	12,4...12,9	12,8...13,1	13,0...13,2	12,9...13,2

Із приведеної таблиці слідує, що геометричні параметри окремих зернин зернових кормів коливаються в широких межах. Найбільшу довжину має зерно вівса (13 мм), найменша у пшениці (7,43 мм), найбільша ширина у гороху (8,11 мм), найменша у вівса (4,14 мм). Зерновий матеріал, крім гороху і кукурудзи, мають форму близьку до еліпсоїда обертання, або циліндра. Товщина їх майже дорівнює ширині, а довжина майже у два рази більше товщини.

Експериментальні дослідження по визначенню максимальних дотичних напружень руйнування зерна в умовах статичного навантаження виконувалися в наступній послідовності. Попередньо зерно, яке підлягало дослідженню кондиціювали для досягнення однієї вологості (~14%) і калібрували по розмірам. Потім зерно закріплювали на робочому столі приладу і прикладали зусилля, яке спричиняло його руйнування. Для дослідження застосовували зерно пшениці, ячменю, вівся, гороху і кукурудзи при наступних значеннях вологості: 12%; 14%; 16%; 18% і 20%. Значення зусилля при якому відбувалося руйнування зернини відображалось на екрані монітора персонального комп'ютера в вигляді діаграми (рис. 4), де по осі x наведено час в секундах, по осі y зусилля руйнування в Н.

Як слідує із наведеної діаграми зусилля руйнування однієї зернини пшениці сорту «Харківська - 98» при вологості 12,6% складає 19,2 Н. Розрахунок максимального дотичного напруження проводили за формулою (1).

Результати досліджень максимальних дотичних напружень руйнування однієї зернин зернових кормів наведені в таблиці 2.

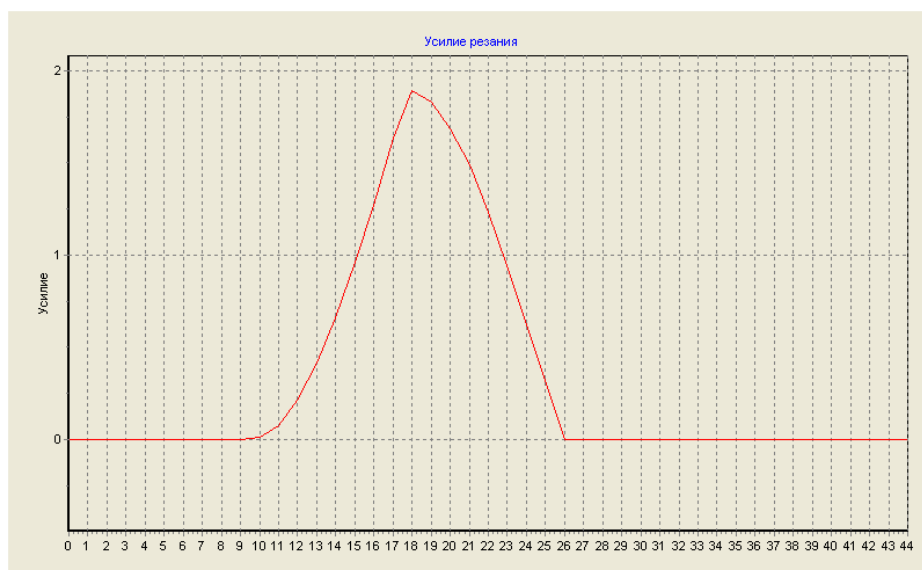


Рис.4. Графічне відображення зусилля руйнування одиничної зернини пшениці при вологості 12,6%

Таблиця 2

Максимальні дотичні напруження руйнування одиничних зернин зернових кормів

Показник	Найменування зернових культур				
	Пшениця	Ячмінь	Овес	Горох	Кукурудза
Зусилля руйнування, Н	19,2	26,5	17,5	34,3	45,2
Площа поперечного перетину, $\text{м}^2 \cdot 10^{-5}$	1,1	1,3	1,2	2,9	1,9
Максимальне дотичне напруження, $\text{Н}/\text{м}^2 \cdot 10^6$	1,74	2,04	1,42	1,18	2,3

Із приведеної таблиці слідує, що найбільші максимальні дотичні напруження, які виникають при різанні одиничної зернини характерні для кукурудзи і складають близько $2,3 \cdot 10^6 \text{ Н}/\text{м}^2$. Найменші максимальні дотичні напруження характерні для одиничної зернини гороху і дорівнюють $1,18 \cdot 10^6 \text{ Н}/\text{м}^2$.

Висновки. В результаті досліджень встановлено, що геометричні параметри окремих зернин зернових кормів коливаються в широких межах. Найбільшу довжину має зерно вівса, найменшу - пшениці, найбільша ширина у гороха, найменша у вівса. Зерновий матеріал, крім гороху і кукурудзи, має форму близьку до еліпсоїда обертання, або циліндра. Товщина їх майже дорівнює ширині, а довжина майже у два рази більше товщини. Найбільші максимальні дотичні напруження, які виникають при різанні одиничної зернини характерні для кукурудзи. Найменші максимальні дотичні напруження характерні для одиничної зернини гороху і дорівнюють $1,18 \cdot 10^6 \text{ Н}/\text{м}^2$.

Література

1. Демидов А.П. Определение прочностных характеристик зерна различных культур / А.П. Демидов, С.Е. Чирков, И.Г. Глебов // Мукомольно-элеваторная промышленность. - 1971. - №8. - С. 19 - 28.
2. Тарутин П.П. Испытание сопротивления зерен пшеницы, раздавленных после облучения ультракороткими волнами / П.П. Тарутин. - М.: ВНИИЗ, 1979. - 50 с.

Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів
Technical service of agriculture, forestry and transport systems

3. Крагельский И.В. Дробление зерна при статических и динамических условиях в зависимости от влажности и размера / И.В. Крагельский. - М.: ВИСХОМ, 1937. - 96 с.
4. Куприц Я.Н. Физико-механические основы размола зерна / Я.Н. Куприй. - М.: Заготиздат, 1946. - 214 с.
5. Наумов И.В. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи / И.В. Наумов. - М.: Колос, 1975. - 176 с.
6. Мельников С.В. Исследование рабочего процесса молотковой дробилки и разработка оснований к проектированию рационального типа машин для дробления\кормов: автореф. дис на соискание научной степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01. «Механизация сельскохозяйственного производства» / С.В. Мельников. - Ленинград, 1952. - 25 с.
7. Пат. 87806 Україна: МПК G01N 3/00, G01L 1/20, B02C 9/00. Спосіб вимірювання сил різання зернових продуктів / Нанка О.В., Бойко І.Г., Науменко О.А., заявник і патентовласник Нанка О.В., Бойко І.Г., Науменко О.А., - №u2013 07958; заявл. 25.6.2014; опубл.25.02.2014, Бюл. №4.
8. Пат.98997 Україна: МПК G01N 3/02. Копер для вимірювання сил різання зернових продуктів / Нанка О.В., Бойко І.Г., заявник і патентовласник Нанка О.В., Бойко І.Г., - №u2014 13565; заявл. 17.12.2014; опубл.12.05.2015, Бюл. №9.

Nanka O.V. Equipment, methods and results of researches on mechanical and technological properties of feed grain

Construction of equipment, methods and results of researches on mechanical and technological properties of feed grain are given. As a result of studies found that the geometric parameters of individual grains of cereal forages vary within wide boundaries. The greatest length of the grain has oat, wheat is smallest, the largest width of the grain has pea, the smallest in oats. Grain material except peas and corn, have a form close to an ellipsoid of revolution or a cylinder. Their depth is almost equal to the width and length is almost twice bigger than the thickness. The biggest shear stresses occur when cutting corn. The smallest tangential stresses are for a single seed of peas and equal to $1,18 \cdot 10^6 \text{ N / m}^2$.

Keywords: equipment, methods, mechanical and technological research, results of research.

References

1. Demidov A.P. Opredelenie prochnostnyh harakteristik zerna razlichnyh kul'tur / A.P. Demidov, S.E. Chirkov, I.G. Glebov // Mukomol'no-jelevatornaja promyshlennost'. - 1971. - №8. - S. 19 - 28.
2. Tarutin P.P. Ispytanie soprotivlenija zeren pshenicy, razdavlenyih posle obluchenija ultrakortkimi volnami / P.P. Tarutin. - M.: VNIIZ, 1979.- 50s.
3. Kragel'skij I.V. Droblenie zerna pri statisticheskikh i dinamicheskikh uslovijah v zavisimosti ot vlazhnosti i razmera / I.V. Kragel'skij. - M.: VISHOM, 1937. - 96 s.
4. Kupric Ja.N. Fiziko-mehaniicheskie osnovy razmola zerna / Ja.N. Kuprij. - M.: Zagotizdat, 1946. - 214 s.
5. Naumov I.V. Sovershenstvovanie kondicionirovanija i izmel'chenija pshenicy i rzhi / I.V. Naumov. - M.: Kolos, 1975. - 176 s.
6. Mel'nikov S.V. Issledovanie rabocheho processa molotkovoju drobilki i razrabotka osnovanij k proektirovaniju racional'nogo tipa mashin dlja droblenija kormov: avtoref. dis na soiskanie nauchnoj stepeni kann. tehn. nauk: spec. 05.20.01. «Mehanizacija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva» / S.V. Mel'nikov. - Leningrad, 1952. - 25 s.
7. Pat. 87806 Ukraina: MPK G01N 3/00, G01L 1/20, B02C 9/00. Sposib vymiriuvannja syl rizannja zernovykh produktiv / Nanka O.V., Boiko I.H., Naumenko O.A., zaiavnyk i patentovlasnyk Nanka O.V., Boiko I.H., Naumenko O.A., - №u2013 07958; zaiavl. 25.6.2014; opubl.25.02.2014, Biul. №4.
8. Pat.98997 Ukraina: MPK G01N 3/02. Koper dlja vymiriuvannja syl rizannja zernovykh produktiv / Nanka O.V., Boiko I.H., zaiavnyk i patentovlasnyk Nanka O.V., Boiko I.H., - №u2014 13565; zaiavl. 17.12.2014; opubl.12.05.2015, Biul. №9.