

УДК 636.085.55.4

**ОБРОБКА ЗВОЛОЖЕНОЇ ПОВЕРХНІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ****І.І.Дударев , В.П. Чучуй , В.В. Лірник***Одеський державний аграрний університет*

*Зерно злакових культур є джерелом значного потенціалу енергії, і містить практично всі речовини, необхідні для нормального функціонування організму людини, тварин, і птиці. Вологість характеризує кількість поживних речовин в зерні, а також його придатність до зберігання та переробки. Врахування розподілу вологи в зернах злакових культур дозволяє обирати раціональні режими зволоження. Волога в зерні знаходиться у вигляді: хімічно зв'язаної води (зв'язана вода); фізико-хімічно зв'язаної води (зв'язана вода); механічно зв'язаної води (вільна вода). Хімічно зв'язана вода входить до складу білків, вуглеводів, жирів і інших з'єднань. Її можна виділити, лише порушивши структуру цих речовин. Молекули фізико-хімічно зв'язаної води втрачають властивості розчинника й виявляються пов'язаними з гідрофільними речовинами. Така вода може бути видалена із зерна шляхом висушування. Вільна вода знаходиться в капілярах зерна, і легко піддається сушінню. Саме ця волога бере активну участь у фізіологічних, біохімічних і мікробіологічних процесах у зерні. Дослідження розподілу вологи в анатомічних структурах оболонок зерна пшениці з урахуванням кінетики дифузійної вологості приділяється встановленню кількісних закономірностей зміни вологості двох верхніх шарів плодової оболонки, що підлягають відділенню в процесі шелушення, а також визначення тривалості волопереносу, при якій досягнута їх рівноважна вологість. Урахування вологості плодової оболонки та решти структурних часток зерна злакових культур, необхідне для вибору раціонального режиму зволоження для ефективного відокремлення квіткових плівок з поверхні. Для виконання процесу луцення зерна, як підготовчої операції у загальній обробці, використовують зволоження поверхневої оболонки з метою покращення коефіцієнту технологічної ефективності загального показника, тобто коефіцієнту луцення який є кількісним показником ефективності роботи машини. При обробці в луцильній машині зволоженого зерна відділення оболонок відбувається по поверхнях із найменшою міцністю зв'язку. Такою умовною поверхнею розділу в першу чергу слід рахувати межу двох подовжніх шарів. Кондиціювання та гідротермічна обробка полегшує процес луцення зерна, що також підвищує коефіцієнт луцення, коефіцієнт цілісності зерна і загальну ефективність луцення.*

**Ключові слова:** зерно, оболонки, тертя, руйнування, луцення, вологість.

**Вступ.** Зерно є основним продуктом сільського господарства. Зернові культури використовують для виробництва та отримання крохмалю, патоки, спирту, до продуктів переробки зерна відносять борошно, макаронні вироби,

круп, хліб. Зернові продукти є основними постачальниками засвоюваних вуглеводів - головного енергетичного компонента їжі. При споживанні 500 г пшеничного хліба з борошна якісних сортів в організм споживача надходить від 21 до 64 % добової потреби життєво необхідних кислот. крупу виробляють з овса, ячменя, пшениці, кукурудзи та горошини. Можливо також перероблення в крупу та інших зернових культур. Доля круп'яних продуктів у харчовому раціоні людини від загального споживання зернових малих в порівнянні з продукцією мукомольних мілків і в середньому становить по різних оцінках від 7 до 13%. Сучасний огляд існуючих технологічних процесів спрямованих на виробництво крупи може бути здійснений на основі оптимального вибору машин, які є складовими частинами усього технологічного процесу. Обладнання яке існує в господарстві задовольняє потребам споживачів частково, так для оптимального складу обладнання, яке використовується для виготовлення крупи, нами виконані відповідні розрахунки та зроблено склад технологічної лінії, яка забезпечить задоволення споживачів як власного району, так і других районів в Україні. На вихід її якість крупи впливають багато показників якості зерна. Насамперед велике значення мають зміст плівок, крупність, вологість зерна й зміст домішок у ньому. Вміст плівок - плівчатість - визначають у зерні, очищеному від домішок. Чим вище плівчатість, тим менше вміст ядра, тим менше крупи одержують із такого зерна. Як правило, плівчатість крупного зерна менше, ніж дрібного. Саме дрібні фракції практично в зерна всіх круп'яних культур мають дуже високу плівчатість. Тому відокремлення квіткових плівок є важливішою операцією обробки зерна злакових культур. Вологість зерна дуже впливає на його технологічні властивості в процесі луцення, а також на кінцеву вологість крупи. Зайву вологу можна виділити, лише порушивши структуру цих речовин. Молекули фізико-хімічно зв'язаної води втрачають властивості розчинника і виявляються пов'язаними з гідрофільними речовинами. Така вода може бути видалена із зерна шляхом висушування. Вільна вода знаходиться в капілярах зерна і легко піддається сушінню. Ця волога впливає на фізіологічні, біохімічні та мікробіологічні процеси в зерні. Але для виконання процесу луцення зерна, як підготовчої операції у загальній обробці, використовують зволоження поверхневої оболонки для покращення коефіцієнту технологічної ефективності загального показника.

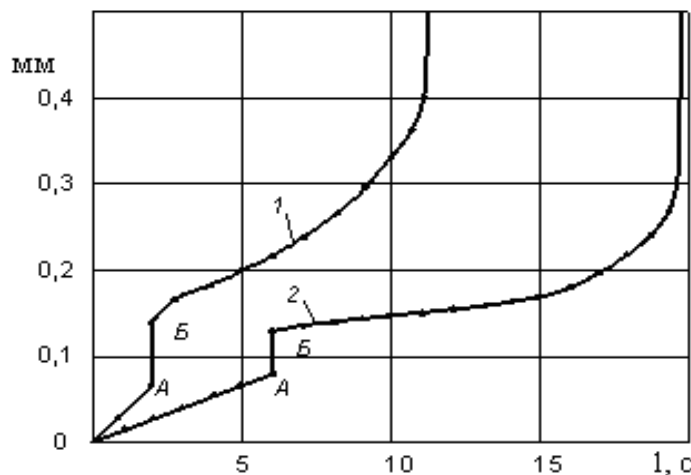
**Проблема.** Доцільність і необхідність усунення квіткових, плодкових та насінневих оболонок зерна досягається за допомогою використання луцильних машин у складі технологічних ліній з урахуванням властивостей зерна, а саме його вологи. Закономірність процесу переносу вологи в зовнішні шари оболонок характеризується високою інтенсивністю насичення вологою, яка зі збільшенням глибини шару знижується що суттєво впливає на процес його обробки луценням.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При організації і проведенні післязбиральної обробки зерна необхідно враховувати специфічні біологічні і технологічні властивості компонентів оброблюваної зернової маси. На

практиці дуже часто вологість свіже збираного зерна вимагає використання однієї з трьох технологічних схем обробки: - при вологості зерна менш 17 % достатньо застосувати первинну і повторну очистки; - при вологості зерна в межах 17...20 % застосовується попередня очистка, сушка, первинна і повторна очистки; - при вологості зерна вище 20 % необхідні попередня очистка, не однократна сушка, первинна і повторна очистки. Повторну очистку зерна застосовують при необхідності доведення зірнового матеріалу до насінних кондицій. Післязбиральну обробку зерна виконують так, щоб зернова маса відповідала вимогам стандарту по кількості повноцінних насінин у виділенному зразку основної культури, інших рослин (в тому числі бур'яну), вологості, відсотку подрібнених і травмованих зерен і т. п. Зернівка будь-якої культури – це живий організм, якому притаманні властивості живих об'єктів: дихання, розвиток, старіння і інше. Частинами зернівки є плівка, оболонки (плодові і насінні), алейроновий шар, зародок, ендосперм. Різні частини зернівки по різному чутливі до теплових умов. Зерна злакових відносяться до колоїдних капілярно-пористих тіл, окремі частини яких (оболонки, зародок) мають різну структуру, різні фізичні і хімічні характеристики. Що становить основну масу зернових крохмаль, так само як і клітковина, є речовина кристалічної структури. Білкові речовини мають аморфну структуру. Зерновим, у відмінність від ідеально твердих тіл, властива просторова анізотропія, тобто їх механічні властивості в різних напрямках неоднакові. Нарешті, зерна злакових відносяться до органічних тіл і відрізняються складною конфігурацією. Вказані особливості структури зерна значно впливають на механічні властивості і на його поведінку в процесі деформації і подрібнення. У залежності від характеру і величини, прикладених до зерна зовнішніх сил його лінійні розміри і форма змінюються, тобто в зерні виникають деформації. Вони можуть бути пружними (оборотними) і пластичними (необоротними). Якщо зовнішні сили не перевищують деякої межі, то зсув частинок з рівноважних положень і виникаючі деформації будуть оборотними. При пружній деформації після зняття зовнішніх сил зерно під дією сил міжатомної взаємодії повертається в первинний стан. Пластичні деформації виявляються при навантаженнях, що перевищують межу пружності. Пластична деформація супроводжується «перебігом» речовини без порушення його цілісності. Пластичні деформації у відмінність від інших є деформаціями великого масштабу і розвиваються з дуже маленькою швидкістю. Розвиток пружних, а потім пластичних деформацій в зерні при дії на нього зовнішніх сил закінчується руйнуванням. настає при виникненні в ній напруги, що перевищує деяку межу, звану межею міцності, або критичною напругою. У механіці руйнування доведена особлива роль тріщин, які є в будь-якому тілі, зокрема в зерні. На кінчиках тріщин відбувається концентрація напруги, що обумовлює руйнування зернових при нижчій напрузі. У теорії руйнування доводиться, що є деяка критична напруга  $\sigma^*$  для даної довжини тріщини  $t$ , при перевищенні якого вона росте:

$$\sigma_* = \sqrt{\frac{2E\lambda}{\pi\ell}}, \quad (1)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу;  $\lambda$  – питома робота руйнування на одиницю приросту поверхні продукту (константа матеріалу).



**Рис. 1.** Криві деформації зерна пшениці в часі при швидкості навантаження: 1-437 г/с; 2-223 г/с (по І.А.Наумову).

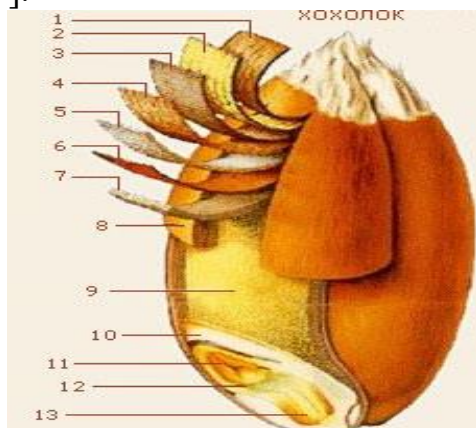
На рисунку 1 як приклад наведені криві, що характеризують процес руйнування пшениці при вологості  $W = 12,5\%$  і швидкості вантаження 437 і 223 г/с. З кривих видно, що перша фаза деформації (ділянка ОА), на якій величина деформації прямо пропорційна часу і навантаженню. При пружною стадією слідує стрибкоподібне збільшення деформації (ділянка АБ) із-за крихкого руйнування оболонок і верхніх шарів ендосперму. Третя стадія характеризується поступовим збільшенням пластичної деформації, яка перед руйнуванням різко зростає. При повільному вантаженні зернові проявляють більшою мірою пластичні властивості: міцність такого зерна нижче, а деформація вище. Істотно також те, що вплив швидкості вантаження на зміну механічних характеристик зерна більшою мірою виявляється на вологому зерні, чим на сухому. Аналіз даних твердості поверхні цілого зерна пшениці дозволив встановити, що локальна величина її залежить від показників вологості  $W_{об}$ , скловидності  $C$  та частини виміру  $\xi$ . Залежність мікротвердості  $H_o^n$  плодових оболонок зерна пшениці Українка, рядова м'яка. Одеська 16, Одеська 26, Новомічуринка різної скловидності відповідно 46, 42, 70, 96, 93 % при значеннях коефіцієнта  $k_n$ , рівних 156, 162, 246, 324, 330, визначена емпіричним вираженням

$$H_o^n = k_n \exp(-0,05 W_{об}), \quad (2)$$

де:  $k_n = 3C_i + 12\xi$  - коефіцієнт, що враховує сумарні дані скловидності зерна, при середньому значенні  $\xi = 3$ .

Встановлено, що підвищення вологості зерна досліджених пшениць в арифметичній прогресії обумовлює зниження твердості всіх шарів за законом геометричної прогресії. Найбільшу твердість має алейроновий шар, а найменшу - насінна оболонка. Доведено, що при підвищенні вологості від

10 до 50 % спостерігалось відносно зниження мікротвердості алейронового шару в 6...10 разів; для плодових і насінних оболонок зниження було приблизно однаковим і становило 0,3...0,5 від їхніх величин у повітряно-сухому стані [1, ].



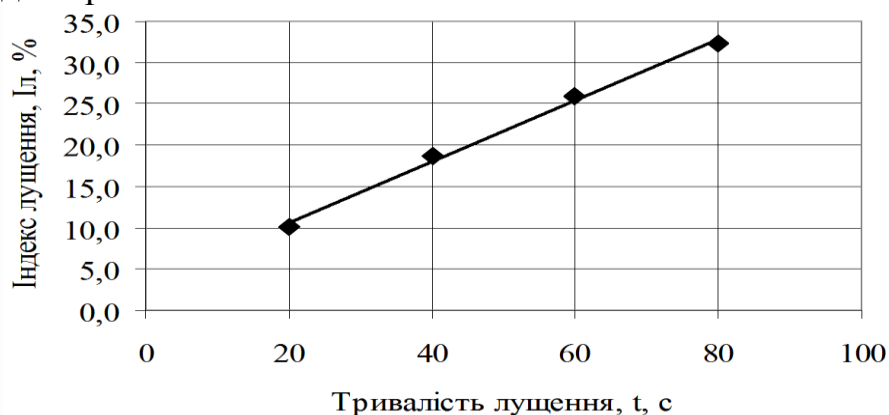
**Рис. 2.** Будова зерна: 1,2,3 – плодові оболонки; 4,5,6 – насінні оболонки; 7 – алейроновий шар; 8 – шари клітин плодової оболонки пшениці з поверхні; 9 – ендосперм; 10 – щиток; 11 – нирка; 12 – осьова частина зародка; 13 – корінець.

Зерно пшениці і іржі складається з декількох анатомічних частин - оболонок, ендосперму і зародка та інших, які характеризуються різними фізіологічними функціями і у зв'язку з цим мають різну будову і хімічний склад (рис 2). Зі зростанням скловидності зерна спостерігається підвищення твердості його анатомічних частин. Дослідженнями встановлена різна твердість попередньо відділених оболонок з їх зовнішньої й внутрішньої сторони. Для низько скловидних пшениць мікротвердість із зовнішньої сторони менше, ніж із внутрішньої, у високо скловидних - зовнішня частина оболонок має підвищену твердість [2]. Значення твердості ендосперму  $H_e$  перебуває у прямої залежності від крупності зерна кукурудзи, що характеризується масою 1000 зерен, а оболонок  $H_o$  - у зворотній. При цьому для зерна кукурудзи  $H_o = (1,5..7,5) H_e$ , а для пшениці, навпаки,  $H_e = (1,1..2,5) H_o$ . Така залежність визначена для зразків пшениці різних сортів і районів при  $W = 9..12\%$  і загальної скловидності 40... 100 %. Співвідношення між значеннями твердості оболонок й ендосперму у зернівках пшениці й кукурудзи істотно різні. Більша твердість оболонок зерна кукурудзи дозволяє створювати в робочій зоні луцильних машин підвищені динамічні напруження в порівнянні із зерном пшениці. Оцінюючи міцність одиничних зерен величиною руйнуючої напруги, встановили, що для ячменю вона складає в середньому  $7,03 \pm 1,02$  Мпа в статичних випробуваннях проти  $12,73 \pm 0,4$  Мпа, отриманих в динамічному режимі. На підставі цих даних С.В. Мірошників уклав, що «властивість більшості матеріалів підвищувати свою міцність із збільшенням швидкості занурення властиво і зерну». Із зернових культур найбільшою міцністю володіє ячмінь, який, будучи основною фуражною культурою, може бути прийнятий за еталон для порівняльної оцінки. Про співвідношення показників міцності зерна різних культур можна

судить з наступних даних С.В. Мельникова (міцність зерна ячменю прийнята за 100%): - ячмінь – 100%; - пшениця – 91%; - жито – 83%; - горох – 65%;

Вологе зерно містить менше поживних речовин і нестійке при зберіганні. Зволоження активізує фізико-хімічні та фізіологічні процеси (дихання, проростання, розщеплення високомолекулярних біополімерів, активізація ферментів, набухання), все це ускладнює його зберігання та переробку. На поверхні вологого зерна починають швидко розвиватися мікроорганізми, також в зерновій масі збільшується число комах, кліщів та інших шкідників. Сукупність перерахованих процесів в зерні призводить до погіршення його якості і до його псування при зберіганні. Змінюються фізичні властивості вологого зерна. Воно значно набухає, поверхня стає гладкою. Знижується сипкість і натура зерна. Також підвищується еластичність оболонок і зменшується опір стискуванню. В результаті при переробці збільшуються витрати енергії на дроблення зерна, знижується вихід і якість продукції. В деяких випадках переробка зерна стає неможливою. Найважливіший спосіб поліпшення якості зерна при зберіганні і переробці, сушку, виконують з обов'язковим урахуванням стану зерна по вологості. Вологість зерна визначають у навішення разом з домішками, так як їх вологість відрізняється від вологості зерна. Волога в зерні знаходиться у вигляді: хімічно зв'язаної води (зв'язана вода), фізико-хімічно зв'язаної води, та вільної води. Для однаковості оцінки вмісту води розрізняють сухе, середньої сухості, вологе і сире зерно. Наприклад, у пшениці, жита, ячменю сухе зерно має вологість до 14%, зерно середньої сухості - від 14,1% до 15,5%, вологе - від 15,6% до 17%, сире - від 17,1% і більше. У насіння олійних рослин показники вологості ще менше, а у насіння деяких бобових культур, навпаки, більше. Сухе насіння соняшнику містять не більше 7%, а квасолі - не більше 15% вологості. Зерно добре зберігається «в сухому» стані. При цьому в ньому практично відсутня вільна волога, вся вода пов'язана з гідрофільними колоїдами зерна. Межа вологості, при якій в зерні з'являється вільна вода, залежить від хімічного складу, культури, і від її анатомічної будови. Більш низькі показники вологості у олійних пов'язані з великим вмістом жиру, який не утримує воду і, отже, вона у великих кількостях зосереджується в гідрофільній частини зерна, що призводить до активізації біохімічних процесів. Зазвичай це пов'язано з величиною критичної вологості, яка лежить зазвичай в зоні «середньої сухості» зерна. Зволоження зерна під час підготовки його до помелу має значний вплив на процеси відокремлення оболонок. Одним з напрямів удосконалення цього етапу є його інтенсифікація з метою зменшення тривалості відлежування і прискорення проникнення вологи в середину зернівки. Дослідниками доведено, що лущення зерна пшениці сприяє кращому «захопленню» вологи при його зволоженні на початковому етапі. За рахунок видалення оболонок зерна відбувається більш інтенсивне проникнення вологи у внутрішні частини зерна, що сприяє скороченню тривалості відволоження. На рис. 1 наведено лінійну залежність зміни індексу лущення від тривалості обробки в голендрі УЛЗ-1. На основі даних цього рисунку було обрано тривалість лущення 20 с, при

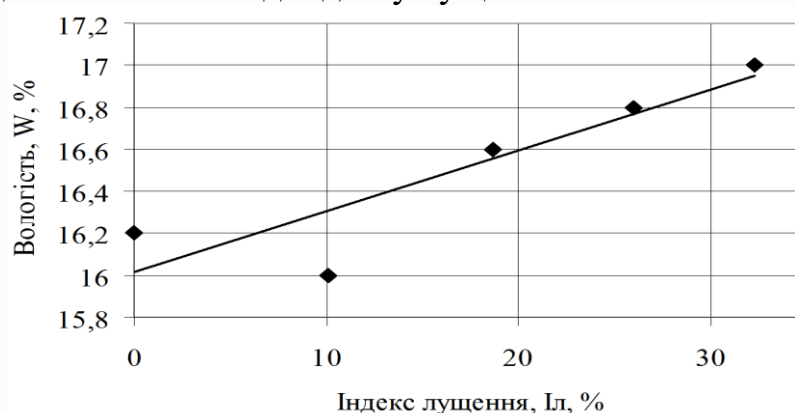
цьому досягається індекс луцення 10,1%. Тривалість луцення 20 с обрано на основі відомостей, які наведено у ряді літературних джерел, з яких відомо, що тривалість перебування зерна в луцильних машинах безперервної дії типу А1-ЗШН становить 12...18 с. Таким чином були створені умови, наближені до виробничих.



**Рис. 3.** Залежність індексу луцення від тривалості обробки в голендрі.

Індекс луцення при тривалості обробки в голендрі 20 с становив 10,1%, при тривалості 40 с – 18,7%, при 60 с – 26,0% і при 80 с – 32,3%. Зі збільшенням індексу луцення більше 10% помітно збільшується кількість мучки, яка утворена стертими частинками ендосперму.

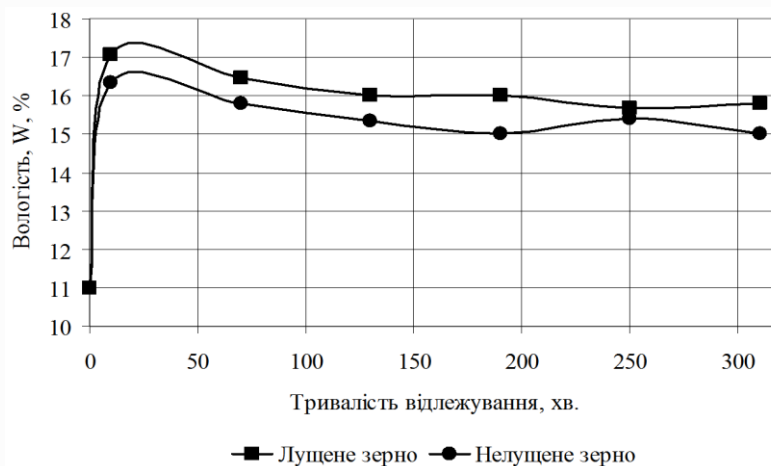
На рис. 4 наведено узагальнену залежність приросту вологи в луценому зерні пшениці в залежності від індексу луцення.



**Рис. 4.** Залежність зміни вологості зерна пшениці при різних значеннях індексу луцення.

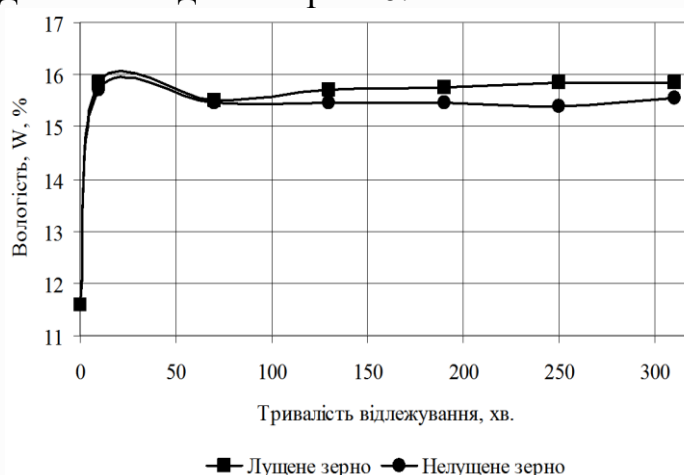
Із даних рис. 2 видно, що збільшення індексу луцення пшениці призводить до підвищення вологості зерна при інших однакових умовах. Найбільша вологість зерен 17,0% спостерігалася при індексі луцення 32,3%. Коефіцієнт кореляції досліджуваних ознак становив 0,89, що свідчить про тісний зв'язок між досліджуваними змінними. Дані рис. 2 підтверджують збільшення поглинання води луценом зерном пшениці протягом періоду відволоження. На рис. 5 наведено кінетику зміни вологості зерна луценого та нелуценого зерна пшениці, що є результатом третього етапу досліджень. Із даних рис. 5. можна побачити, що перші 10 хв. вологість луценого зерна досягала 17,1%, а нелуценого – 16,3%. Через 70 хв. відлежування вологість

зерна як лушеного, так і нелушеного знижувалася і відповідно становила 16,5% та 15,8%.



**Рис. 5.** Кінетика зміни вологості лушеного ( $I_{л} = 10,1\%$ ) та нелушеного зерна пшениці.

Через 190 хв. відлежування вологість зерна також зменшилась і становила для лушеного зерна – 16,0%, а для нелушеного – 15,0%, а при подальшому відлежуванні лушеного та нелушеного зерна вологість суттєво не змінювалася і прямувала до постійної величини. Індекс лушення зерна пшениці становив 10,1%. Після 310 хв. відлежування різниця між вологістю лушеного та нелушеного зерна становила 0,8%. Отримані дані є експериментальним підтвердженням того, що лушене зерно пшениці поглинає більше вологи, ніж нелушене, під час основного етапу відлежування при усіх інших однакових умовах. Додатково були проведені аналогічні дослідження з іншою партією зерна пшениці, яке мала натуру 780 г/л, скловидність 61% та початкову вологість 11,6%. Зерно аналогічно очищали перед проведенням досліджень. Відмінною особливістю цих досліджень було те, що індекс лушення було зменшено – він становив 3,2%. Результати досліджень наведено на рис. 6.



**Рис. 6.** Кінетика зміни вологості лушеного ( $I_{л} = 3,2\%$ ) та нелушеного зерна пшениці.

Як видно із даних рис. 6 характер кривих аналогічний тим, що наведено на рис. 3. Порівнюючи дані рис. 3 та 4 можна побачити, що із зменшенням індексу лушення вологість зерна під час відлежування зменшилась. Через 10



хв. відлежування різниця між вологістю лущеного та нелущеного зерна становила всього 0,15%, а через 310 хв. – 0,3%. Ці дані також є підтвердженням того, що із збільшенням кількості відокремлених оболонок від зерна приріст вологи в зерні під час відлежування збільшується.

Сучасні переробні підприємства для зволоження використовують гідротермічну обробку зерна. Кондиціонування та гідротермічна обробка полегшує процес лущення зерна, що підвищує коефіцієнт лущення зерна, коефіцієнт цілісності зерна і загальну ефективність лущення.

**Мета дослідження.** Визначення насиченості вологою оболонок зерна для забезпечення ефективного лущення.

**Результати досліджень.** На основі експериментальної оцінки геометричних розмірів і фізико-механічних властивостей зернівок пшениці різних сортів з урахуванням радіуса зовнішньої ділянки зернівки прийнятого рівним чверті її ширини  $R = 0,76$  мм, а коефіцієнт дифузії вологи в оболонках  $D = 0,03$  мм<sup>2</sup>/с; товщина двох верхніх поздовжніх шарів плодової оболонки 0,05 мм, величина їх пористості  $C_0 = 0,8$ ; рівноважна початкова вологість повітряно-сухого зерна  $W = 14\%$  і вологість вологонасичення оболонок  $W_R = 55\%$ . Для визначення величини  $W_R$  підготовлені зразки оболонок пшениць з різною стекловидністю  $C$  поміщали в ексікатор між шарами фільтрувального паперу, кінці якої були опущені в воду ( $t_b = 18$  °C), налиту в піддон. Створювана в ексікаторі пароповітряна середовище повного вологонасичення і вільний доступ вологи до оболонок забезпечували їх максимальне насичення. Після закінчення 48 годин визначали вологість зразків за стандартною методикою (табл.1). Як випливає з наведених даних, величина експериментально певної вологості вологонасичення поздовжніх шарів плодової оболонки знаходиться в межах 46%. Однак, з огляду на, що при виготовленні зразків відбувається порушення цілісності структури шарів оболонок (розрив стінок пір і пустот), величина  $W_R$  є дещо заниженою. Це побічно підтверджується експериментальними даними по вологості оболонок, відокремлених в процесі лущення, величина якої при зволоженні зерна на в 8 ... 11% досягала 60% при незначному наявності непоглиненої поверхневої вологи. У зв'язку з цим була прийнята величина  $W_R = 55\%$ . При обробці в лущильній машині зволоженого зерна відділення оболонок відбувається по поверхнях із найменшою міцністю зв'язку. Такою умовною поверхнею розділу в першу чергу слід рахувати межу двох поздовжніх шарів плодової оболонки щодо її поперечних кліток. Кількість вологи, що вводиться в поверхневі шари, і час її проникнення в оболонки повинні вибиратися із забезпечення найбільшого послаблення міцності зв'язків, що особливо важливе для машини, основаної на фрикційному принципі дії. В умовах надмірного зволоження, коли на поверхні зерна залишається механічно волога, виникають умови, значно погіршуючи відокремлення оболонок унаслідок дії її як своєрідного мастила, що знижує величину сипи тертя, превалює в процесі лущення. Операція лущення зволоженого зерна відбувається при одночасному транспортуванні його в обмеженому кільцевому об'ємі робочої зони машини.

Таблиця 1. Вологість вологонасичення оболонок зерна пшениці.

Сорт зерна пшениці Оболочки	Українка (C= 40%)	Одеська 16 (C= 70%)	Одеська 26 ( C=96%)	Новомічуринка ( C=98%)	Середнє значення
Сукупність усіх оболонок з алейроновом шаром	53,5	54,5	55,1	54,2	54,4
Сукупність плодової насінневої	49,4	50,6	48,7	51,3	50,0
Насіннева з поперечними клітинами	49,5	45,5	49,1	48,4	48,5
Плодова без поперечних клітин	46,4	46,0	45,7	45,9	46,0

Конструктивні параметри машини, які включають її робочий діаметр, довжину, розміри, загальна кількість та кути атаки лопаток, величину радіального зазору між верхньою кромкою лопаток і внутрішньою поверхнею циліндрової обичайки. Ураховуючи високу динамічність процесу "захоплення" вологи плодовими оболонками, були проведені розрахунки для зменшених інтервалів часу й побудовані графічні залежності при  $t=0,1...1,0$  с;  $\Delta t = 0,15$ с;  $t = 0,001...0,1$ ;  $\Delta t = 0,0165$  с. Із залежностей виходить, що через 0,05 с зовнішній шар оболонок ( 0,76 мм) досягає вологості, близької до граничної, а у внутрішньому ( 0,71 мм) процес зволоження знаходиться в початковій стадії. Інтенсивність поглинання вологи зовнішніх шарів в інтервалі до 0,1 с знижується, а внутрішніх підвищується, і лише після закінчення цього періоду вона починає знижуватися для всіх шарів. Зовнішній шар через 15 с насичається вологою. Внутрішній шар має вологість на 4 % менше, у порівнянні із зовнішнім, проте через 55... 70 с вологість усіх шарів досягає граничного рівноважного стану. З аналізу графічних залежностей виходить, що при  $t > 0,55$  с, вологість оболонок змінюється прямо пропорційно величині їх радіусу. Для кожного шару зі збільшенням  $t$ , інтенсивність поглинання вологи знижується.

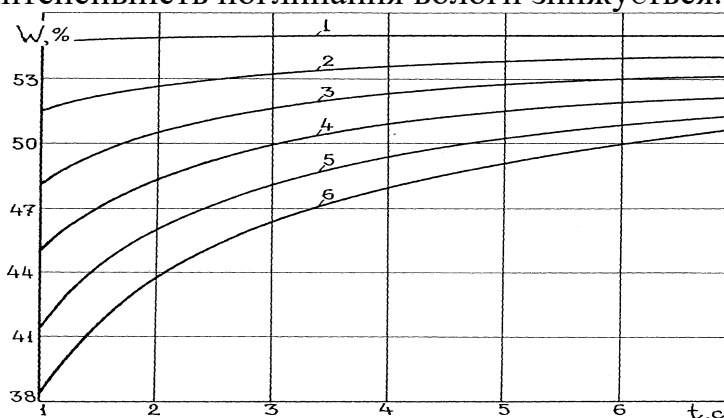
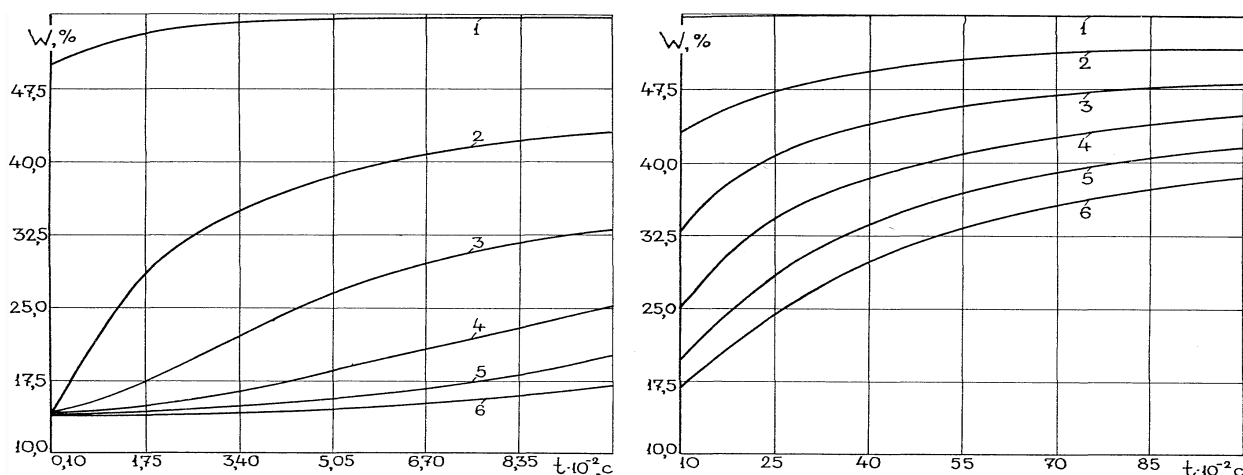
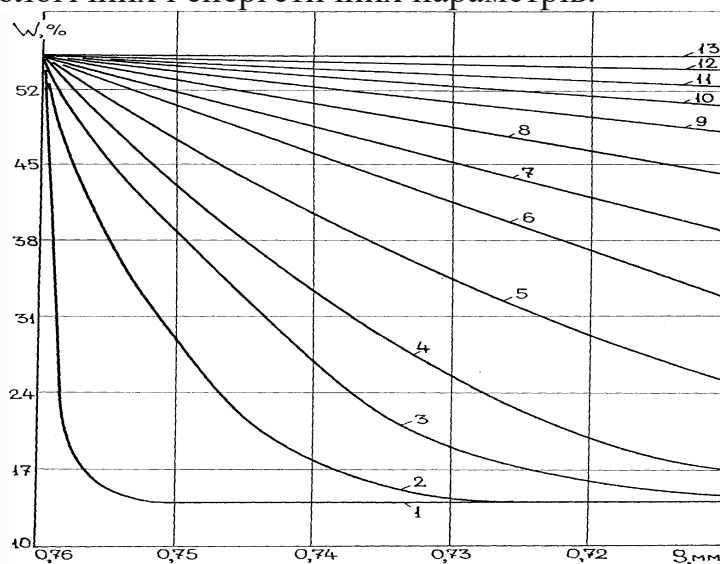


Рис. 7. Залежність вологості шарів плодової оболонки від тривалості переносу вологи  $t=1...7$ с: 1-  $S=0,76$  мм; 2-  $S=0,75$  мм; 3-  $S=0,75$  мм; 4-  $S=0,73$  мм; 5-  $S=0,72$  мм; 6-  $S=0,71$  мм.



**Рис. 8.** Залежність вологості шарів плодової оболонки  $S$ , від тривалості переносу вологи  $t = 0,001 \dots 1,0$  с: 1 -  $S = 0,76$ ; 2 -  $0,75$ ; 3 -  $0,74$  мм; 4 -  $0,73$  мм; 5 -  $0,72$  мм; 6 -  $0,71$  мм

Слід мати на увазі, що розрахована тривалість переносу вологи в шарах плодової оболонки характеризує мінімальний час зволоження зерна, після закінчення якого відбувається послаблення адгезійної міцності їх зв'язку з іншою частиною зернівки. При цьому волога на кордоні розділу поздовжніх і поперечних шарів з насіннею оболонкою починає виробляти розклинюючу дію, а не проникає далі внаслідок високої гідрофільності насінної оболонки. Тому раціональне значення тривалості зволоження зерна перед луценням слід встановлювати за результатами обробки його в машині при варійованих параметрах підготовки з оцінкою ефективності процесу по комплексу технологічних і енергетичних параметрів.



**Рис. 9.** Зміна вологості оболонок за їх товщиною при різній тривалості переносу вологи: 1-  $t = 0,001$ ; 2- $0,018$ ; 3- $0,051$ ; 4-  $0,1$ с; 5- $0,25$ ; 6-  $0,55$ с; 7-  $1$ с; 8- $2$ с; 9- $4$ с; 10-  $7$ с; 11- $10$ с; 12- $25$ с; 13-  $100$ с.

**Висновки.** Урахування вологості плодової оболонки та решти структурних часток зерна різних культур, необхідне для вибору раціонального режиму зволоження. Рекомендованими параметрами величини зволоження зерна може бути збільшення від загальної вологості на  $2 \dots 4\%$ . Раціональний термін відволоження до операції луцення може бути рекомендованим на рівні

10...20 хв. Вологість відокремлених оболонки внаслідок лущення з попереднім зволоженням на 8% та з відволоженням протягом 5 хв. відповідає технологічним вимогам та може бути застосованим з використанням певного обладнання.

#### ЛІТЕРАТУРА

- 1.Брасалин С.Н. Методические аспекты определения коэффициента технологической эффективности шелушения плёчатого зерна / С.Н. Брасалин//Хлебопродукты. – 2013.– №5.– С.48–49.
- 2.Дударев І.І.Волога зерна / Дударев І.І. // Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки.- Одеса:2014 Вип. 74. - С . 129-132.
- 3.Дударев І.І. Лущення зволоженого зерна / Дударев І.І. // Аграрний вісник Причорномор'я. Збірник наукових праць. Технічні науки.- Одеса:2015 Вип. 78. - С . 141-145.

#### ОБРАБОТКА УВЛАЖНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Дударев И.И., Чучуй В.П., Лирник В.В.

**Ключевые слова:** зерно, оболочка, трение, разрушение, лущение, влажность.

#### Резюме

*Зерно злаковых культур является источником значительного потенциала энергии, и содержит практически все вещества, необходимые для нормального функционирования организма человека, животных, и птицы. Влажность характеризует количество питательных веществ в зерне, а также его пригодность к хранению и переработке. Учет распределения влаги в зернах злаковых культур позволяет избирать рациональные режимы увлажнения. Влага в зерне находится в виде: химически связанной воды (связанная вода); физико-химической связанной воды (связанная вода); механически связанной воды (свободная вода). Химически связанная вода входит в состав белков, углеводов, жиров и других соединений. Ее можно выделить, лишь нарушив структуру этих веществ. Молекулы физико-химически связанной воды теряют свойства растворителя и оказываются связанными с гидрофильными веществами. Такая вода может быть удалена из зерна путем высушивания. Свободная вода находится в капиллярах зерна, и легко поддается сушению. Именно эта влага активно участвует в физиологических, биохимических и микробиологических процессах в зерне. Исследование распределения влаги в анатомических структурах оболочек зерна пшеницы с учетом кинетики диффузионной влажности сводится к установлению количественных закономерностей изменения влажности двух верхних слоев плодовой оболочки, которые подлежат отделению в процессе лущения, а также определения длительности переноса влаги, при которой достигнута их равновесная влажность. Учет влажности плодовой оболочки и остальных структурных частей зерна злаковых культур, необходим для выбора рационального режима увлажнения для эффективного отделения пленок цветков из поверхности. Для выполнения процесса лущения зерна, как подготовительной операции в общей обработке, используют увлажнение поверхностной оболочки с целью улучшения коэффициента*

*технологической эффективности общего показателя, то есть коэффициента лущения, который является количественным показателем эффективности работы машины. При обработке в лущильной машине увлажненного зерна отделение оболочек происходит по поверхностям с наименьшей прочностью связи. Такой условной поверхностью раздела в первую очередь следует считать предел двух продольных слоев. Кондиционирование и гидротермическая обработка облегчает процесс лущения зерна, которое также повышает коэффициент лущения, коэффициент целостности зерна и общую эффективность лущения*

## **TREATMENT OF THE MOISTENED SURFACE OF WHEAT GRAIN**

Dudarev I.I., Chucui V.P., Lirnyk V.V.

**Key words:** grain, shell, friction, fracture, peeling, humidity.

### Summary

*Grains of cereals are a source of significant energy potential and contain almost all substances necessary for the normal functioning of the human body, animals and poultry. Humidity characterizes the amount of nutrients in the grain, as well as its suitability for storage and processing. Taking into account the distribution of moisture in the grains of cereals allows you to choose the optimum humidification regimes. Moisture in the grain is in the form of: chemically bound water (bound water) physico-chemically bound water (bound water) mechanically bound water (free water). Chemically bound water is a part of proteins, carbohydrates, fats and other compounds. It can be distinguished only by violating the structure of these substances. Molecules of physico-chemically bound water lose the properties of the solvent and are associated with hydrophilic substances. Such water can be removed from the grain by drying. Free water is in the grain capillaries, and it is easy to be dried. It is this moisture that actively participates in physiological, biochemical and microbiological processes in the grain. The study of the distribution of moisture in the anatomical structures of the shells of wheat grain, taking into account the kinetics of diffusion moisture, is devoted to establishing the quantitative patterns of moisture change in the two upper layers of the fruit shell, to be separated during peeling, and determining the duration of moisture transfer at which their equilibrium moisture is reached. Taking into account the moisture of the fruit shell and other structural grain particles of cereal crops, which is necessary for choosing the optimum moistening regime for effective separation of floral films from the surface. To perform the process of grain peeling as a preparatory operation in the general processing, humidification of the surface shell is used to improve the coefficient of technological efficiency of the total index, that is, the peeling coefficient which is a quantitative indicator of the machine's efficiency. When machining a moistened grain in a Lush Machine, the separation of the shells occurs over surfaces with the lowest bond strength. Such a conditional interface is, in the first place, the boundary of two longitudinal layers. The conditioning and hydrothermal treatment facilitates the process of grain peeling, which also increases the peeling coefficient, the grain integrity coefficient and the overall peeling efficiency.*