

## Оптимізація водотеплового оброблення під час вироблення борошна із стародавніх пшениць

Г. М. Господаренко, В. В. Новіков, В. С. Кравченко, І. Ф. Улянич

*Розроблено рекомендації що до перероблення пшениці спельти на борошно вищого та першого сорту. Проведеними дослідженнями впливу параметрів водо теплового оброблення на вихід борошна із зерна пшениці спельти, його білизну та вміст золи підтверджено гіпотезу, що дія вологи на властивості зерна пшениці спельти подібна до зерна голозерних пшениць. Зроблений порівняльний аналіз виходу та якості зразків, що розмелювали після проведення водо теплового оброблення та за фактичної початкової вологості від 13,0 % до 14,5 %. Використання водо теплового оброблення (вологість 15–16 %) дозволяє отримати на 0,6–3,0 % більший загальний його вихід, вміст золи у ньому зменшується на 0,26 % після першого розмелювання і на 0,22 % після другого. Білизна борошна після першого і другого розмелювання підвищується на 10 і 20 од. п. відповідно. Під час розмелювання зерна пшениці спельти без проведення водо теплового оброблення кращі результати (загальний вихід борошна 83,0–83,3 %, вміст золи 0,76–0,91 %, білизна 25–51 од. п.) мають зразки за найбільшої початкової вологості (14,0–14,5 %)*

*Під час виробництва борошна із зерна пшениці спельти рекомендований спосіб водо теплового оброблення полягає у однократному зволоженні та відволоженні зерна. Відмінність від класичного способу полягає у відсутності етапу зволоження перед першою драною системою. Оптимальним є зволоження зерна до 15,5 %, за тривалості відволоження 30 год. Використання запропонованого способу оброблення дозволяє отримати загальний вихід борошна 85,0 %. За основними показниками якості отриманий продукт відноситься до борошна вищого та першого сорту.*

*Результати, що наведено у статті, дозволяють обґрунтовано налаштовувати роботу апаратів для зволоження зерна та вибирати оптимальний час його відволоження*

*Ключові слова: пшениця спельта, водотеплове оброблення, вміст золи, білизна борошна, вихід борошна*

### 1. Вступ

Нині зафіксовано істотне зростання темпу життя сучасного суспільства, підвищення негативної дії факторів зовнішнього природного середовища на організм людини, наявній значній кількості доступних продуктів харчування із незбалансованим хімічним складом. Для нівелювання негативної дії цих факторів набуває популярності здоровий спосіб життя, невід'ємною складовою

якого є продукти оздоровчого та дієтичного харчування, що мають зростаючий попит.

Основною вимогою до сучасних продуктів дієтичного та оздоровчого харчування можна віднести високу біологічну цінність та безпечність, доступність для споживачів, короткотривале приготування. Одним перспективних шляхів задоволення відповідних потреб є розширення асортименту хлібобулочних продуктів за рахунок використання зерна підвищеної цінності, зокрема стародавніх пшениць (полби та спельти). Відомо, що споживчі властивості хлібобулочних виробів в основному формуються за рахунок якісних показників борошна.

Суть традиційного виробництва борошна полягає у звільненні борошністого ендосперму від захисних шарів, які мають істотні зв'язки між собою. Саме це ускладнює відповідний технологічний процес. Підвищення ефективності добування борошна високих сортів відбувається у наслідок використання водотеплового оброблення, що зумовлює зміни технологічних властивостей зерна та фіксує на оптимальному рівні. Відомо, що за допомогою водотеплового оброблення можна зменшити енергозатрати, а отже покращити техніко-економічні показники виробництва. Проте відповідні закономірності добре вивчені для зерна традиційних пшениць. Різний хімічний склад та відмінності анатомічної будови зерна пшениці спельти та пшениць, що використовують в борошномельній промисловості зумовлює сумніви, що дія води і тепла на них буде аналогічною. Вплив дії режимів виробництва борошна на зерно спельти нині вивчено недостатньо та вимагає уточнення, а технології його перероблення – удосконалення, що зумовлює актуальність проведених досліджень.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

За останні роки зафіксовано підвищення попиту на зерно пшениці спельти, особливо у Європі. При цьому його розглядають не тільки як цінну продовольчу культуру, а й селекційний матеріал [1]. Робота [1] є цінною з точки зору селекції, показує потенціал пшениці спельти, пропонує шляхи її раціонального використання, зокрема для виробництва хлібобулочних виробів, проте інформація про базисні показники якості не наведена. Частково відповідне питання вирішено у роботі [2]. Цінним в роботі є глибоке порівняння якості сортів та ліній пшениці спельти, що вирощуються на території України. Доведено, що зерно пшениці спельти має високі споживчі властивості. Також досліджено можливість використання зерна пшениці спельти для виробництва хліба, що мав високий показник органолептичного оцінювання. Борошно для виробництва хліба отримували за методикою перероблення традиційних пшениць. Тому залишається незрозумілим вплив основних параметрів борошномельного виробництва на якість борошна.

Спельта має значну кількість дієтичних волокон та фітохімічних речовини. Вони сприяють контролю глюкози в крові, підвищенню чутливості до інсуліну та гіперінсулінемії. Антиоксидантні сполуки можуть служити захистом від негативних наслідків хронічної гіперглікемії. Тому зерно пшениці спельти можна розглядати як перспективну сировину для продуктів дієтичного харчування, зо-

крема для запобігання хронічних захворювань, таких як діабет другого типу [3]. Крім цього, глютенін-зв'язані омега-гліадини, присутні в традиційних пшеницях, не були виявлені у зерні пшениці спельти [4]. Нині проводять дослідження спрямовані на розроблення технології отримання безглютенових, або із низьким його вмістом хлібобулочних продуктів у тому числі із використанням зерна пшениці спельти [5]. Незважаючи на глибокі наукові дослідження хімічного складу зерна спельти в роботах [3–5], не вказані раціональні режими отримання борошна. Залишається маловивченим розміщення харчових волокон у зернівці спельти, що викликає труднощі під час вибору оптимальних режимів її водо-теплового оброблення. Для вирішення відповідної проблеми необхідні додаткові дослідження хімічного складу поверхневих шарів зерна пшениці спельти та встановлення їх безпечності для харчування. Це дасть змогу розробленню ефективної технології цільнозенкових продуктів із зерна пшениці спельти, що нині користуються підвищеним попитом [6].

Цікавим зерно спельти є і для генної інженерії, зокрема може сприяти розведенню програм, що спрямовані на розширення біорізноманіття [7]. Генетичні варіації є основою поліпшення врожаю [8]. Порівнюючи послідовності геномів приєднання *Triticum spelta* та однієї з похідних гексаплоїдних ліній з послідовностями міжнародного довідкового генотипу *Chinese Spring*, було виявлено варіанти, більш ніж у десять разів вищі, ніж ті, що присутні серед генотипів звичайного пшениці (*T. aestivum* L). Тому значення *T. spelta* у збагаченні генетичної варіації звичайної пшениці можуть бути величезними [9].

Сучасна агротехнологія використовує значну кількість синтезованих систем захисту рослин, стимуляторів росту, живильних речовин хімічного походження. Особливістю їх внесення є розпилювання на рослину. Тому значна їх частина та продукти їх розпаду можуть накопичуватись на поверхневих шарах зернівок. Наявність шкідливих залишків пестицидів у продуктах харчування є серйозною причиною занепокоєння серед споживачів, що зумовлює необхідність контролю їх вмісту [10]. Зерно пшениці спельти краще захищено від дії негативних біотичних та абіотичних факторів тому існують передумови вважати, що воно є більш безпечною сировиною для харчування порівняно із традиційними плівковими формами, проте відповідні дослідження ще не проводились.

Стабільний попит можна очікувати і від реалізації композиційних сумішей. При цьому покращення біологічної цінності відповідних продуктів можна досягти використовуючи плодоовочеву сировину [11]. Доведено ефективність змішування борошна із спельти та амаранта. Отриманий продукт мав високу біологічну цінність, відмінне кулінарне оцінювання та значну тривалість зберігання без істотних втрат якості [12]. Однак не вирішеним у роботі [12] залишається вплив гранулометричного складу борошна та його якості на формування якості хлібобулочних виробів із комбінованим складом сировини.

Конкурентноспроможність хлібобулочних продуктів формується за рахунок якості сировини, зокрема борошна [13]. Найбільший вплив на техніко-економічні показники борошномельного виробництва зумовлюють ефективність очищення зерна, його кондиціонування (водотеплове оброблення) та под-

рібнення (драний і розмельний процес) [14]. При цьому частка впливу водотеплового оброблення – найбільша. Проте вплив гранулометричного складу борошна також вагомий, зокрема він впливає на реологічні властивості тіста [15]. Причинно-наслідковий зв'язок встановлено між якістю випічки, біотичними та абіотичними чинниками під час вирощування зерна, режимами його первинного оброблення [16]. Тому вивчення режимів водотеплового оброблення та подрібнення зерна є доцільним. Враховуючи зміну технологічних властивостей зерна (у тому числі зерна пшениці спельти) у наслідок селекції та гібридизації актуально перевіряти реакцію зерна на дію води, тепла, вивчати його міцність. Це дозволить обирати енергоефективні режими перероблення зерна для досягнення максимальної якості готової продукції.

Аналіз даних джерел літератури [2, 5, 6, 11] дозволяє зробити наступні висновки. Зерно пшениці спельти, що має високу біологічну цінність може ефективно розширити асортимент хлібобулочних продуктів та є конкурентоспроможним в умовах сучасного ринкового середовища. Серед асортименту хлібобулочних виробів із зерна пшениці спельти найбільш поширені є цільнозернові продукти, що отримують із обдирного борошна та борошна 2-го сорту. Відповідні технології не вимагають адаптування до нової сировини (спельти) за рахунок простого виробничого процесу. Проте зростаючої популярності набувають хлібобулочні вироби із зерна пшениці спельти, вироблені із вищого та першого сорту борошна. Отримання відповідних продуктів є складним процесом, а його ефективність істотно залежить від параметрів водотеплового оброблення. Зазвичай сортовий помел зерна пшениці спельти проводять із використанням загальноприйнятих технологій. Недостатня кількість даних в роботах [9, 13, 15, 17], відсутність комплексного оцінювання дії вологи та тривалості відволожування на кількісні та якісні показники борошномельного виробництва не дозволяє його оптимізувати.

### **3. Мета та задачі дослідження**

Метою проведених досліджень було обґрунтування режимів водотеплового оброблення зерна пшениці спельти під час її перероблення на борошно вищого та першого сортів із використанням скороченого технологічного процесу. Це зумовить можливість ефективно проводити зволоження та відволожування зерна для отримання максимального виходу борошна вищого та першого сортів.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні задачі:

- дослідити вплив вологості зерна та тривалості його відволожування на білизну борошна після першого та другого розмелювання, вміст золи борошна після першого та другого розмелювання та загальний вихід борошна;
- проаналізувати процес вироблення борошна математично та встановити зони оптимуму, за яких можливо досягти найбільшого виходу борошна вищого та першого сорту.

#### 4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом досліджень було зерно спельти сорту Зоря України. Показники якості сировини наведено [17].

Робота виконувалась в умовах лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва (м. Умань, Україна). Виробництво борошна здійснювали на борошномельному комплексі МВР-000342.90. Принцип роботи борошномельного комплексу та програма проведених досліджень висвітлена у наукових працях [18, 19]. Визначення хімічних показників борошна проводили загальноприйнятими методами [20].

Маса зерна пшениці спельти для проведення одного дослідження становила 5 кг. Вихід борошна визначали за формулою:

$$X = \frac{100F}{k}, \quad (1)$$

де  $F$  – фактичний вихід продукту, %;  $k$  – початкова кількість зерна, кг.

Фактично отримані продукти зважували на лабораторних вагах фірми СВА (дискретність 0,05 г).

Статистичне оброблення даних здійснювали за допомогою програм Microsoft Excel 2010 та STATISTICA 10.

Дослідження проводили у чотирьох повторюваннях, які були рандомізовані у часі. Отримані вибірки даних аналітичних повторювань обробляли описовою статистикою для визначення коефіцієнта варіювання. Вважали, що результати експерименту достовірні за слабкого варіювання даних вибірок аналітичних повторювань, що використовували для подальшого статистичного оброблення. Зв'язки між факторами встановлювали за допомогою дисперсійного та регресійного аналізів [21, 21].

Під час проведення дисперсійного аналізу підтверджували або спростовували «нульову гіпотезу». Для цього визначали значення коефіцієнта « $r$ », що показував ймовірність відповідної гіпотези. У випадках коли  $p < 0.05$  «нульова гіпотеза спростовувалась, а вплив фактора був достовірним [21, 21]. Силу впливу факторів встановлювали за допомогою визначення значення часткового ета-квадрату (Partial eta-squared). Partial eta-squared – показник, що вказує на розмір ефекту (подібний до показника  $R^2$  множинної лінійної регресії). Розмір ефекту є мірою зв'язку між двома змінними та є стандартним показником для порівняння двох вибірок даних [21, 22].

Під час оптимізації процесу вироблення борошна перевагу надавали центральному композитному плану [21, 22].

Якість отриманих математичних моделей перевіряли визначенням коефіцієнта детермінації та дослідженням наявності автокореляції залишків. Вважали модель прийнятною якщо вона описувала не менше 80-ти відсотків процесу, а теорія про автокореляцію її залишків була відхилена [21, 22].

## 5. Результати дослідження впливу параметрів кондиціонування на вихід та якість борошна

Попередніми дослідженнями підтверджено істотний вплив параметрів оброблення на комплексні технічні показники борошномельного виробництва та вихід готової продукції [18, 19]. Проте, враховуючи сучасні закони ринкового середовища та вимоги до конкурентоспроможності готової продукції, результатів попередніх досліджень [20, 21] недостатньо для формування оптимальних режимів перероблення зерна пшениці спельти. Відсутня відповідна інформація і в інших роботах [2, 15–16]. Тому доцільним було проведення комплексного дослідження впливу цих параметрів на кількісні та якісні показники борошномельного виробництва. Оскільки якість борошна істотно відрізнялась залежно від режимів оброблення зерна перед розмелюванням, оцінювання впливу чинників проводили окремо для зразків із кондиціонуванням та без нього. Було сумісно поєднано вплив параметрів водотеплового оброблення зерна пшениці спельти на основні показники якості борошна (білізна, вміст золи), які раніше вивчались окремо у вигляді нового поєднання.

Відповідно до чинних на території України «Правил організації та ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» вихід борошна за двохсортного помелу зерна пшениці становить 73–78 %. Вихід борошна без застосування водотеплового оброблення (розмелювання зерна за його фактичної вологості 13,0–14,5 %) був вищим за базові показники (рис. 1).

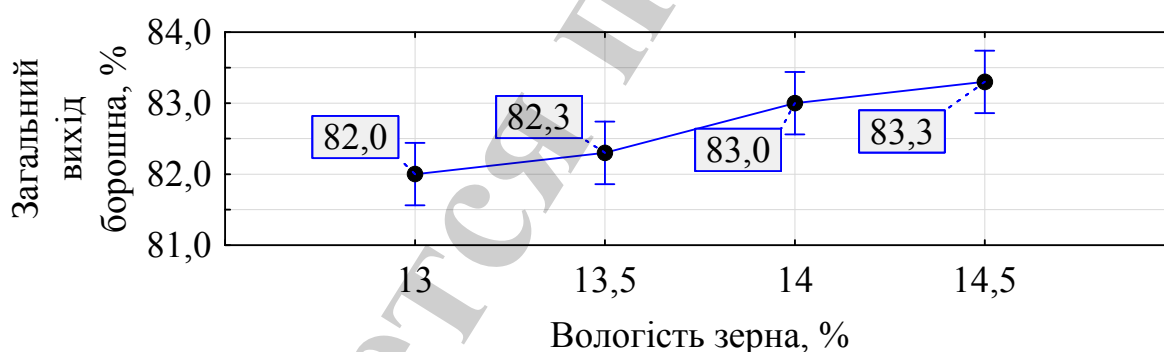


Рис. 1. Вихід борошна із зерна спельти без використання водотеплового оброблення за фактичної вологості 13,0–14,5 %

Із ймовірністю 98,3 % можна стверджувати, що застосування водотеплового оброблення (ВТО) достовірно підвищувало вихід борошна в середньому на 0,8 %. Важливим є якість борошна, зокрема вміст в ньому золи та його білізна, що є передумовою під час визначення його сорту. Відповідні показники достовірно відрізнялись у зразках із проведенням водотеплового оброблення та без нього (рис. 3).

Найменший вміст золи у борошні був зафіксований після першого розмелювання у зразках, що зволожувати та проводили їх відволожування. Він становив 0,56 %. Найбільший вміст золи зафіксовано після другого розмелювання у зразках, де не проводили водотеплове оброблення (0,95). Отже відповідно

до характеристики борошна за стандартом ГСТУ 46.004-99 за вмістом золи зразки без проведення ВТО після першого та другого розмелювання відносились до другого сорту. Використання ВТО зменшувало вміст золи у зразках після першого розмелювання в середньому на 0,25 %, а другого – на 0,21 %. Використання ВТО за вказаним показником давало змогу отримувати борошно вищого сорту після першого розмелювання та першого сорту – після другого розмелювання.

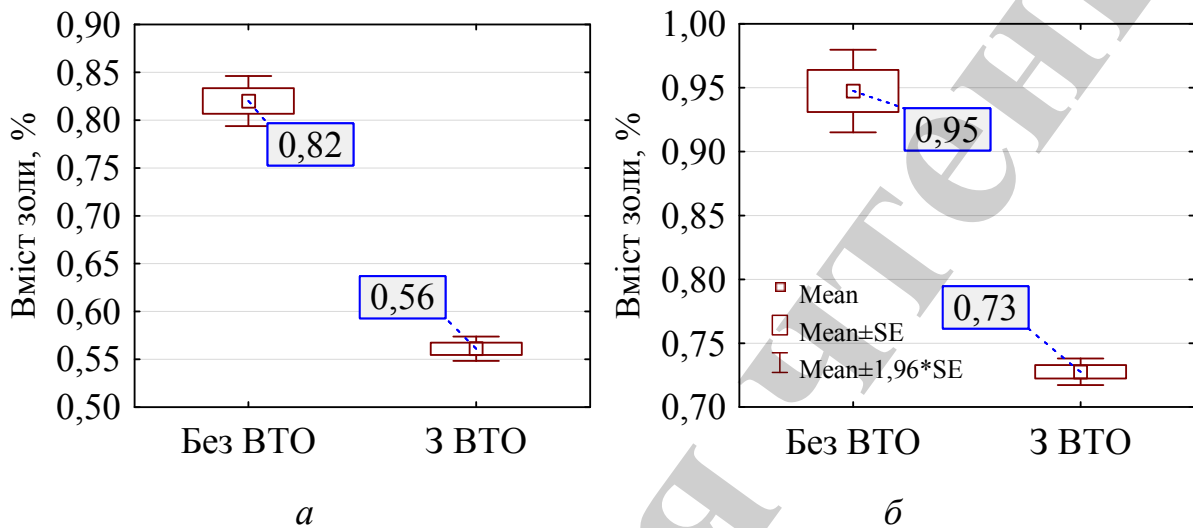


Рис. 2. Вміст золи у борошні із зерна пшениці спельти залежно від використання водотеплового оброблення: *а* – після першого розмелювання; *б* – після другого розмелювання

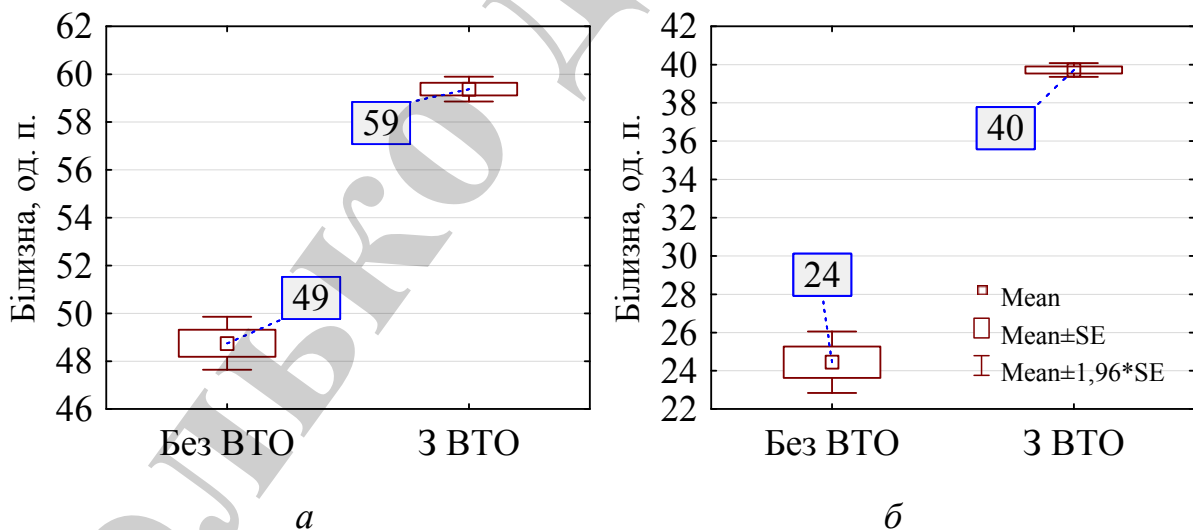


Рис. 3. Показники якості борошна із зерна пшениці спельти залежно від використання водотеплового оброблення: *а* – після першого розмелювання; *б* – після другого розмелювання

Аналогічно покращенню показників вмісту золи, використання ВТО позитивно впливало на білизну борошна. Так, після першого розмелювання білизна

борошна підвищувалась в середньому на 10 %, а після другого – на 15 % у результаті проведення ВТО.

В Україні зерно пшениці спельти малопоширене, проте має зростаючий попит за кордоном, що стимулює аграріїв збільшувати обсяги виробництва. Нині пшеницю спельту експортують у вигляді сировини. Більш доцільним є її перероблення на продукти із найбільшою доданою вартістю. Проте сучасного обсягу виробництва зерна пшениці спельти недостатньо для проектування високопродуктивних заводів тому прогнозованим є розвиток підприємств низької продуктивності для її перероблення. Покращення якості та техніко-економічних показників у результаті проведення водо теплового оброблення необхідно враховувати індивідуально для кожного підприємства. Важливою є і маркетингова стратегія розвитку підприємства, зокрема популяризація продуктів із підвищеним вмістом клітковини, для вироблення яких зерно спельти має низку переваг.

Тому було доцільно дослідити окремо вплив основних факторів водотеплового оброблення. У зразків, що були перероблені за початкової вологості від 13,0 % до 14,5 % найбільший вихід борошна зафіксовано за її найбільшого значення – 83,3 % (рис. 1). За вологості 13,0 % вихід борошна був найменшим та становив 82,0 %. Підвищення вологості до 15,0–15,5 % істотно підвищувало вихід борошна до 85,0–85,0 % (рис. 4).

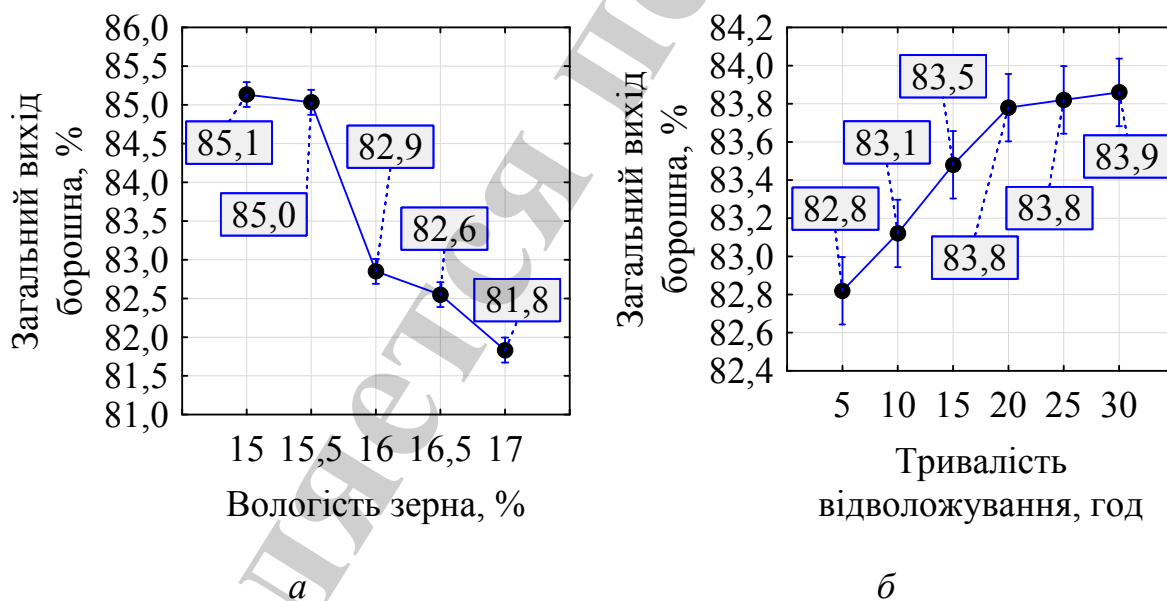


Рис. 4. Вплив параметрів водотеплового оброблення на вихід борошна (вертикальні смуги позначають 0,95 довірчих інтервалів):  
*а* – залежно від градієнта зволоження; *б* – залежно від тривалості відволоження

Поступове підвищення вологості до 16,5–17,0 % сприяло зменшенню виходу борошна на 2,5–3,3 %. Подальше підвищення вологості було неефективним, оскільки істотно погіршувало процес виробництва борошна, знижувало ефективність роботи вальцьового верстату.



Проте збільшення тривалості відволожування зерна спелити мало позитивний вплив на вихід борошна. Найбільший ефект (приріст виходу до 1 %) спостерігали за збільшення тривалості відволожування з 5 до 20 год. Подальше збільшення тривалості відволожували неістотно впливало на вихід борошна.

Встановлено, що найбільший вплив на вихід борошна зумовлювала вологість зерна перед розмелюванням (Partial eta-squared=0,92). Вплив тривалості відволожування був майже у два рази меншим порівняно із впливом вологості (Partial eta-squared=0,51).

Вміст золи у борошні, що виробляли без проведення ВТО, був найменший у зразках із вологістю 14,5 % (рис. 5). Підвищення початкової вологості сприяло зменшенню вмісту золи у борошні. Ця тенденція була подібною для першого та другого розмелювання.

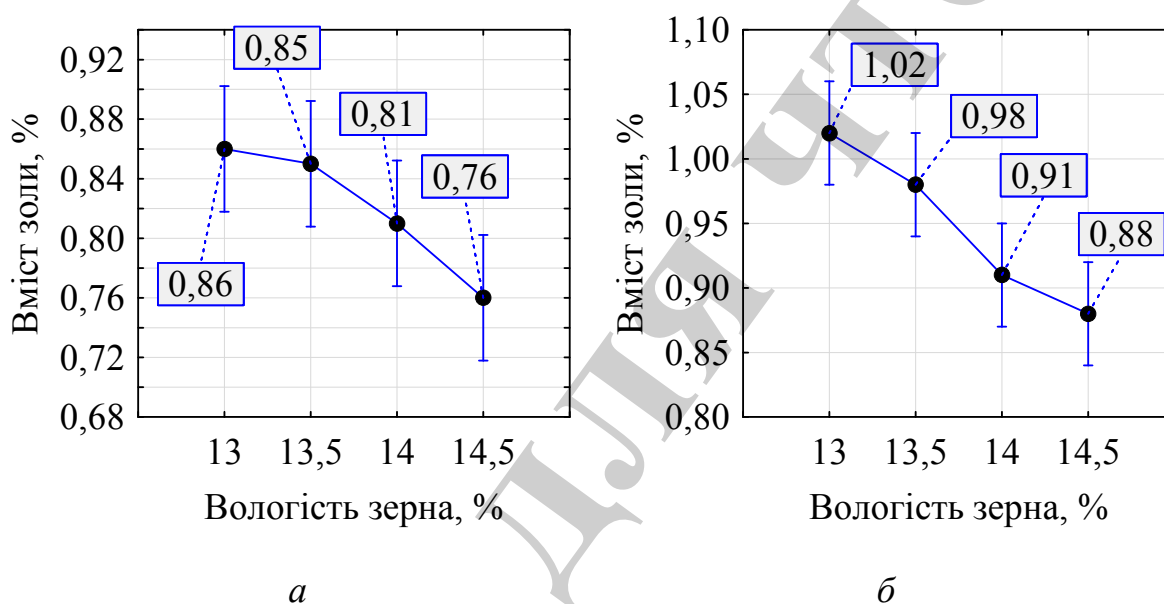
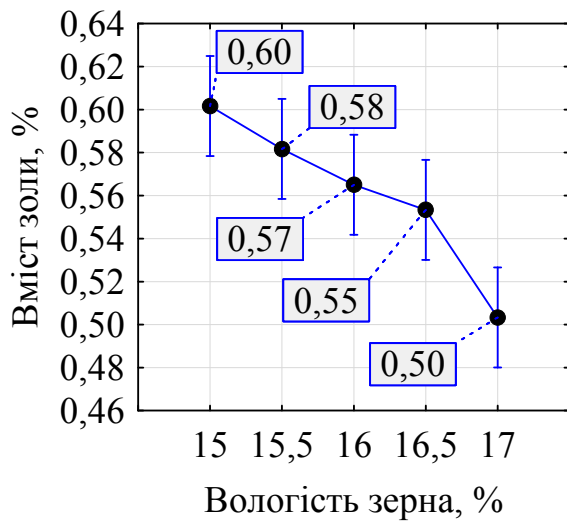
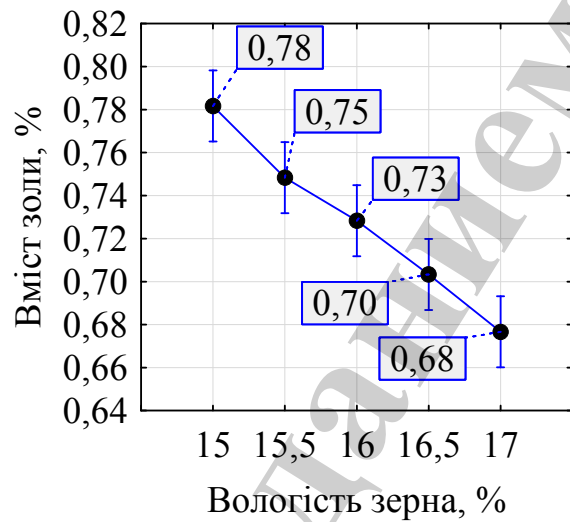


Рис. 5. Вміст золи у борошні із зерна спелити, що вироблено без проведення ВТО (вертикальні смуги позначають 0,95 довірчих інтервалів):  
 а – після першого розмелювання; б – після другого розмелювання

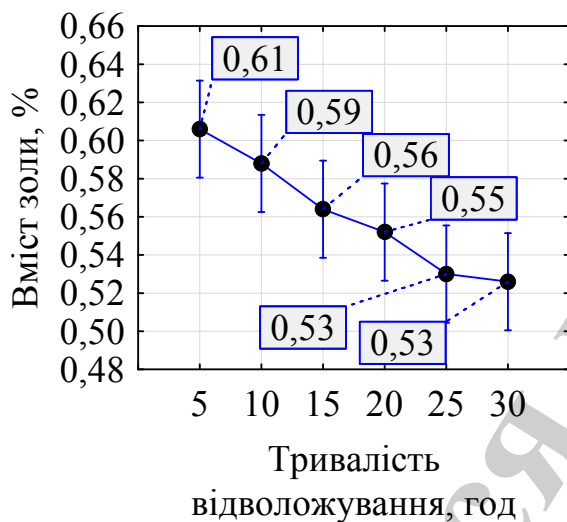
Підвищення вологості з 15,0 до 17,0 % зумовлювало істотне зменшення вмісту золи у борошні в середньому на 0,1 % (після першого розмелювання з 0,60 до 0,50 %, а після другого – з 0,78 до 0,68) (рис. 6). Збільшення тривалості відволожування мало аналогічну дію та сприяло зниженню вмісту золи на 0,08 % після першого розмелювання та на 0,06 % після другого.



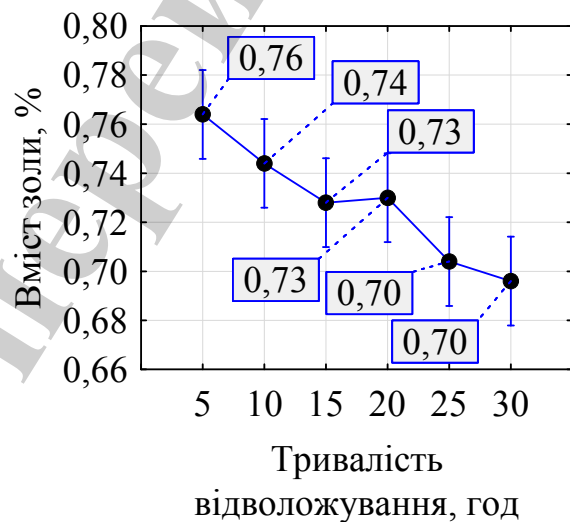
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 6. Вплив режимів ВТО на вміст золи в борошні після першого та другого розмелювання (вертикальні смуги позначають 0,95 довірчих інтервалів):

*a* – вміст золи залежно від вологості після першого розмелювання;

*б* – вміст золи залежно від вологості після другого розмелювання;

*в* – вміст золи залежно від тривалості відволожування після першого розмелювання; *г* – вміст золи залежно від тривалості відволожування після

другого розмелювання

Під час першого розмелювання приріст вологи та тривалість відволожування мали однаковий вплив, оскільки частковий ета-квадрат становив 0,26 і 0,21 відповідно (рис. 7). Проте на якість борошна після другого розмелювання мала більший вплив вологість зерна (Partial eta-squared=0,46) тоді як вплив тривалості відволожування істотно не змінювався (Partial eta-squared=0,25).

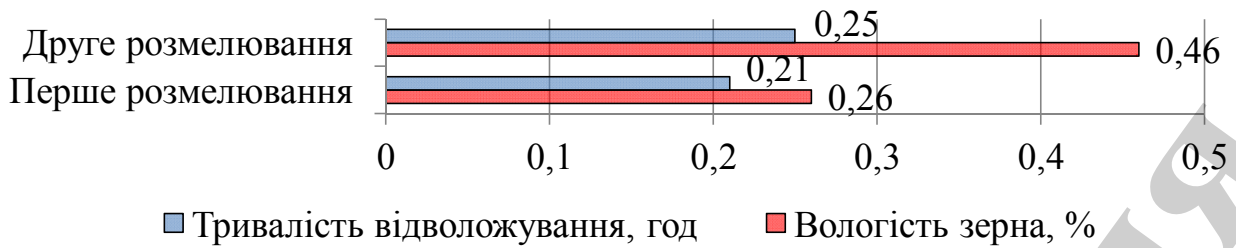


Рис. 7. Ступінь впливу параметрів ВТО на вміст золи у борошні після першого та другого розмелювання

Білизна борошна достовірно відрізнялась за різної початкової вологості зерна пшениці спельти (рис. 8). Істотної відмінності не було зафіксовано між показниками білизни борошна отриманого під час першого розмелювання зерна вологістю 13,0 % і 13,5 %. Підвищення початкової вологості до 14,0–14,5 % сприяло істотному збільшенню білизни борошна (до 5 %). Дія вологи на показник білизни борошна під час другого розмелювання була подібною, а відповідний показник знаходився у межах 21–29 од. п., що на 45–50 % менше порівняно із результатами першого розмелювання.

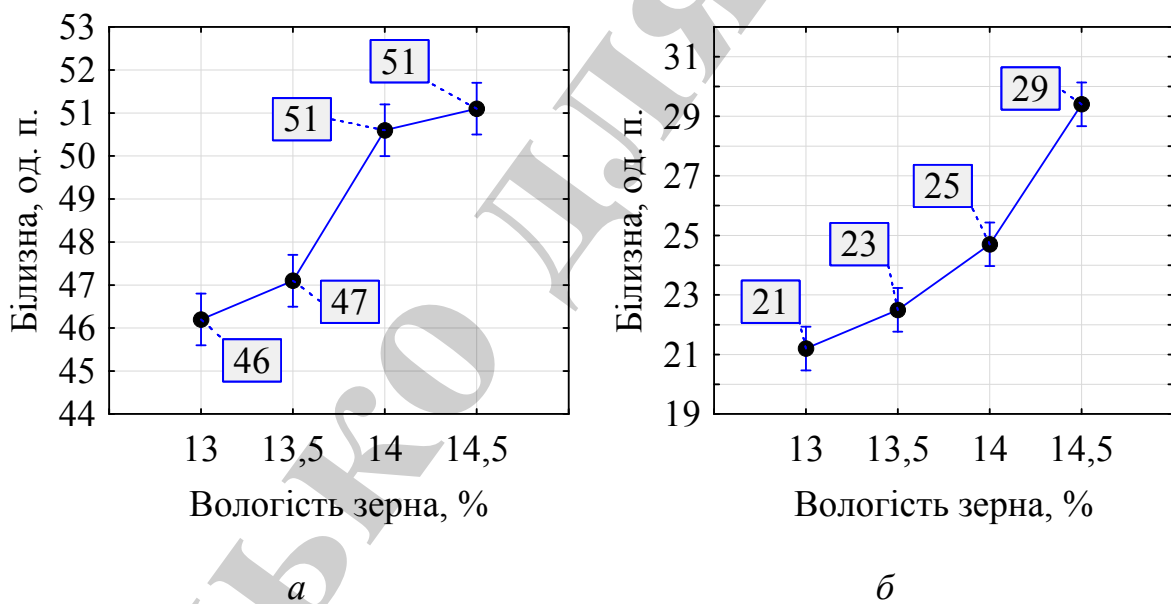
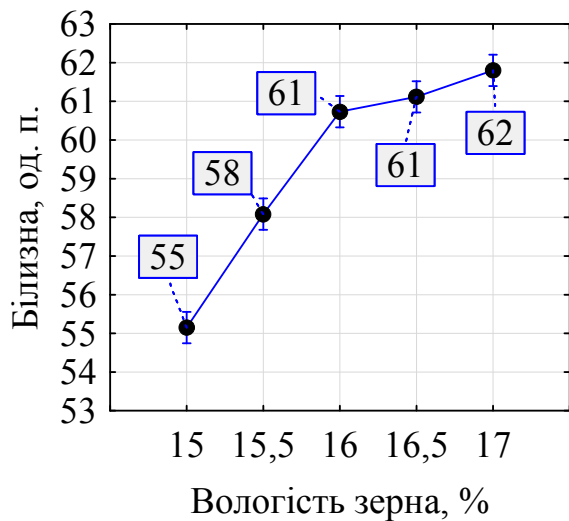
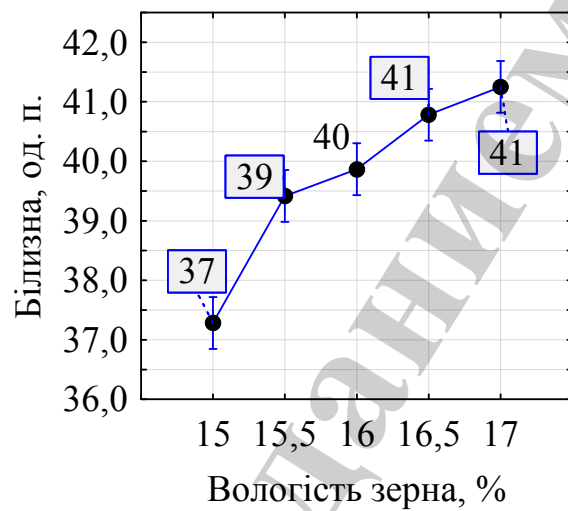


Рис. 8. Білизна борошна із зерна спельти, що вироблено без проведення ВТО (вертикальні смуги позначають 0,95 довірчих інтервалів):  
 а – після першого розмелювання; б – після другого розмелювання

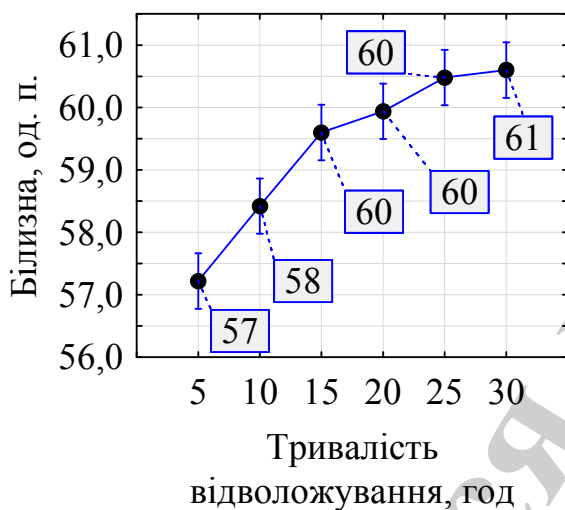
Використання ВТО істотно підвищувало білизну борошна (рис. 9). Найбільш стрімке підвищення білизни борошна під час першого та другого розмелювання зафіксовано за вологості 15,0–16,0 %. Подальше підвищення вологості впливало менш істотно на білизну борошна незалежно від черговості розмелювання.



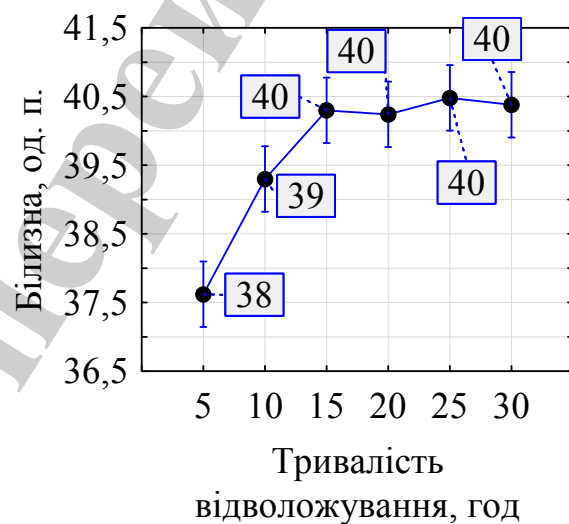
*a*



*б*



*в*



*г*

Рис. 9. Вплив режимів ВТО на білизна борошна після першого та другого розмелювання (вертикальні смуги позначають 0,95 довірчих інтервалів):  
*a* – білизна борошна залежно від вологості після першого розмелювання;  
*б* – білизна борошна залежно від вологості після другого розмелювання;  
*в* – білизна борошна залежно від тривалості відволоження після першого розмелювання; *г* – білизна борошна залежно від тривалості відволоження після другого розмелювання

Збільшення тривалості відволоження також позитивно впливало на показник білизни борошна. Найбільший його приріст під час першого і другого розмелювання зафіксовано за тривалості відволоження 15 год. За більш тривалого відволоження показник білизни борошна стабілізувався на рівні 61–62 од. п. після першого розмелювання та 40–41 од. п. після другого, що відповідало вищому та першому сорту.

Доведено, що вологість зерна впливала найбільше на білизну борошна під час першого та другого розмелювання (рис. 10).

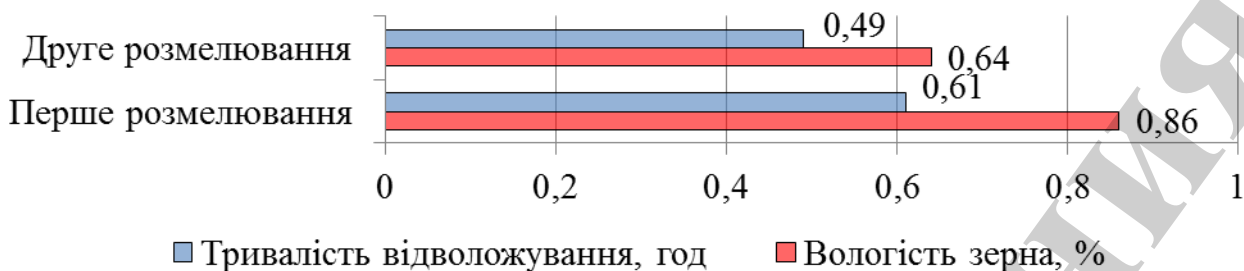


Рис. 10. Ступінь впливу параметрів ВТО на білизну борошна після першого та другого розмелювання

Вплив тривалості відволожування бум меншим, проте вагомим. Більше значення зміна режимів ВТО мала під час першого розмелювання.

Для опису процесу було обрано поліном другої степені:

$$Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_1^2 + b_4X_2^2 + b_5X_1X_2, \quad (2)$$

де  $i$  – індекс, що відповідає номеру вихідної змінної:  $i=1$  для загального виходу борошна,  $i=2$  для вмісту золи після першого розмелювання,  $i=3$  для вмісту золи після другого розмелювання,  $i=4$  для білизни борошна після першого розмелювання,  $i=5$  для білизни борошна після другого розмелювання;  $X_1$  – вологість зерна, %;  $X_2$  – тривалість відволожування, год;  $b_0$ – $b_5$  – коефіцієнти регресії.

Під час досліджень використовували план пасивного експерименту. Розрахунок коефіцієнтів регресії та оцінювання математичних моделей здійснено за допомогою програми Statistica 10 [22, 23]. Результати статистичного оброблення експериментальних даних наведено у таблиці 1.

Таблиця 1  
Значення коефіцієнтів регресії

Модель	Коефіцієнт регресії	Довірчий рівень $p$	Наявність автокореляції	Коефіцієнт детермінації ( $R^2$ )	
$Y_1$	$b_0$	152,24666700	0,000003	автокореляції залишків не виявлено	0,86
	$b_1$	-7,34952381	0,041848		
	$b_2$	0,185714286	0,012969		
	$b_3$	0,482785714	0,000668		
	$b_4$	-0,00184285	0,025860		
	$b_5$	-0,02342857	0,006374		
$Y_2$	$b_0$	-1,92960000	0,050856	автокореляції залишків не виявлено	0,73
	$b_1$	0,41205714	0,028210		
	$b_2$	-0,01571428	0,018946		

	b <sub>3</sub>	-0,04717285	0,000678		
	b <sub>4</sub>	0,00005571	0,004868		
	b <sub>5</sub>	0,00261714	0,001938		
Y <sub>3</sub>	b <sub>0</sub>	2,41553333	0,028585	автокореляції залишків не виявлено	0,79
	b <sub>1</sub>	-0,14059047	0,061828		
	b <sub>2</sub>	0,00238095	0,007868		
	b <sub>3</sub>	-0,01536857	0,012574		
	b <sub>4</sub>	0,00001428	0,008089		
	b <sub>5</sub>	0,00076571	0,021095		
Y <sub>4</sub>	b <sub>0</sub>	-512,54133300	0,000000	автокореляції залишків не виявлено	0,91
	b <sub>1</sub>	66,50933330	0,000000		
	b <sub>2</sub>	-1,93333333	0,000000		
	b <sub>3</sub>	1,59088571	0,000000		
	b <sub>4</sub>	-0,00568571	0,000000		
	b <sub>5</sub>	-0,07862857	0,000000		
Y <sub>5</sub>	b <sub>0</sub>	-231,88866700	0,000011	автокореляції залишків не виявлено	0,81
	b <sub>1</sub>	29,87352380	0,000000		
	b <sub>2</sub>	-0,81904761	0,000006		
	b <sub>3</sub>	2,04661429	0,000000		
	b <sub>4</sub>	-0,00852857	0,000000		
	b <sub>5</sub>	-0,10308571	0,000000		

Отримані математичні залежності були адекватними та надійними, про що свідчить відхилення теорії про наявність автокореляції та високі показники коефіцієнтів детермінації..

Під час статистичного оброблення використовували надбудову програми Statistica 10 design & Analysis of Experiments (Central composite, non-factorial, surface designs). Для побудови моделі та її аналізу були використані всі дані отримані експериментальним шляхом (включаючи дані аналітичних повторювань). Під час встановлення оптимуму були задані бажані показники. Зокрема рівень показника білизни після першого розмелювання було встановлено в межах 54,0–63,4 од. п., що відповідає вимогам до борошна вищого сорту, а після другого – 36,0–42,4 од. п. (перший сорт). Бажаний вміст золи в борошні після першого розмелювання становив 0,55–0,80 % (вищий сорт), а після другого – 0,75–0,87 % (перший сорт). Обмеження виходу борошна не створювали, оскільки всі отримані результати (80,9–86,2 %) перевищували базові показники (72–76 %). Перевагу надавали зразкам з найвищим виходом борошна.

Для визначення раціональних параметрів перероблення зерна пшениці спельти на борошно за допомогою програми Statistica 10 були побудовані функції бажаності, що максимально задовольняли поставлені обмеження (рис. 11).

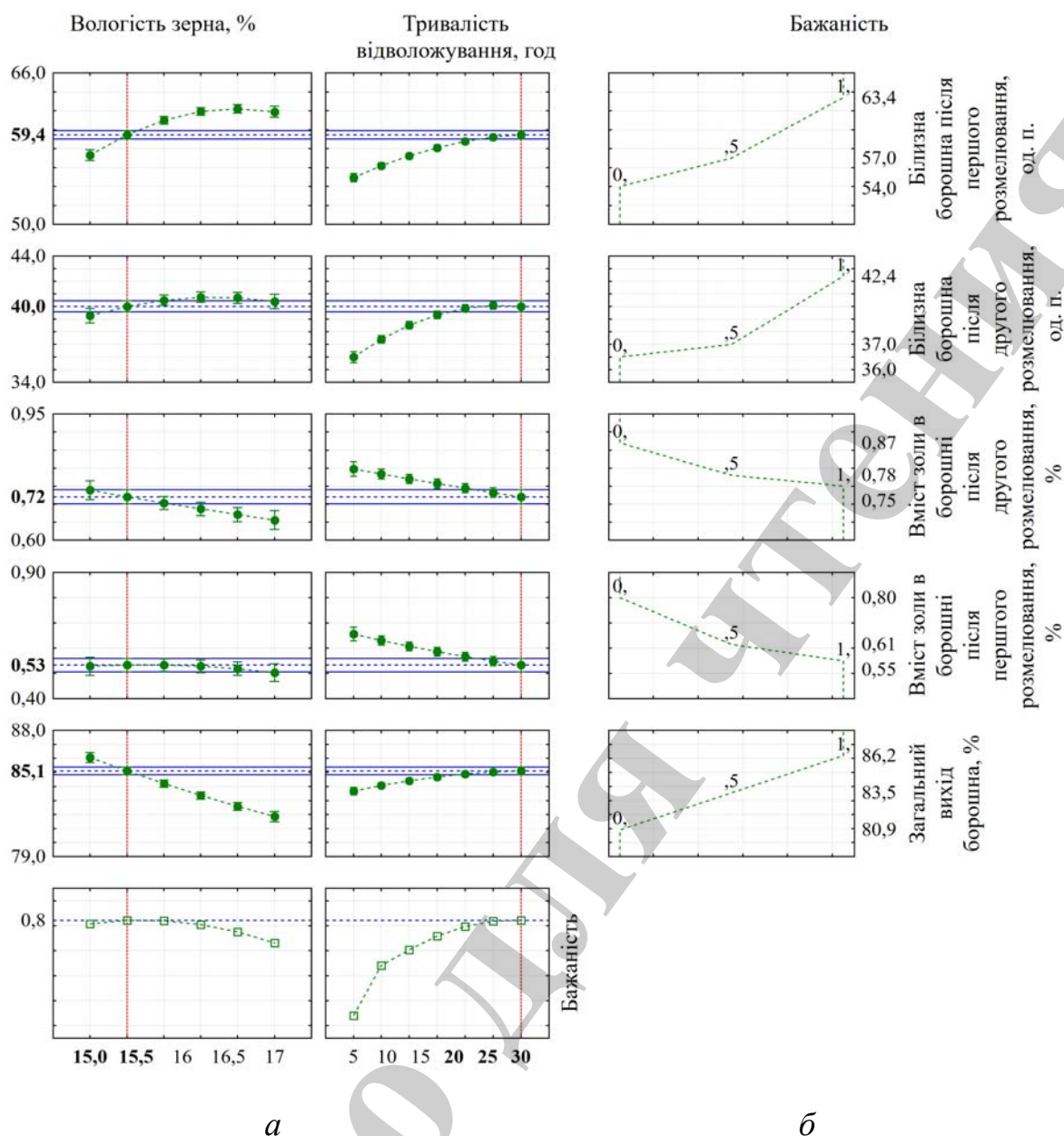


Рис. 11. Комплексне оцінювання впливу ВТО на вихід та якість борошна із зерна пшениці спельти: *а* – функція бажаності залежно від вологості; *б* – функція бажаності залежно від тривалості відволожування

Найбільше задовольняє поставлені вимоги бажаності зволоження зерна пшениці спельти до 15,5 % та його відволожування впродовж 30 год. Використання запропонованого способу оброблення дозволяє отримати загальний вихід борошна 85,1 %. Отриманий продукт за білизною можна розділити на борошно вищого та першого сорту, що становила 59,4 і 40,0 од. п. Аналогічно можна його класифікувати і за вмістом золи (0,53, 0,72 %).

## 6. Обговорення результатів використання водотеплового оброблення під час перероблення зерна спельти

Дослідженнями підтверджено, що зерно пшениці спельти ефективно переробляти на борошно використовуючи скорочений технологічний процес: одно-



разове зволоження до 15,5 % з подальшим відволоженням упродовж 30-ти год, оскільки за такого рівня зволоження утворюється найбільша кількість проміжних продуктів подрібнення. Подальше зволоження є неефективним, оскільки надмірна волога сприяє утворенню злиплених часточок (крупок та дунстів). У результаті відбувається істотне зниження виходу, оскільки злиплі часточки спрямовують у відходи на етапі сепарування. Максимальна тривалість відволоження доцільна за рахунок ступеневого проникнення вологи у зернівку, що втікає із рис. 6. За відсутності необхідної кількості оперативних бункерів, тривалість відволоження допускається зменшувати до 20-ти год. Додаткове зволоження перед першою драною системою проводити непотрібно. Існує можливість вироблення борошна із зерна спельти без використання водотеплового оброблення, проте якість отриманих продуктів істотно погіршується, а технічні показники виробництва – знижуються.

Підвищений загальний вихід борошна (до 85 %) зумовлений більшим вмістом ендосперму в зерні пшениці спельти порівняно із голозерними пшеницями. Крім цього позитивно впливає на показники вироблення борошна застосування водотеплового оброблення, що наведено на рис. 2, 3.

Відповідно до Правил організації та ведення технологічного процесу на борошномельних заводах [23] рекомендовані різні режими водотеплового оброблення. Вони обираються на основі технологічних властивостей сировини та характеризуються ступеневим характером. Зазвичай зі збільшенням продуктивності підприємства істотно підвищується матеріалоемність цього процесу. Результати дослідження свідчать, що зерно пшениці спельти можна ефективно переробляти із використанням однократного зволоження та відволоження без додаткового зволоження перед першим розмелюванням. Очевидно, що структура поверхневих шарів плівкових форм зерна пшениці спельти відрізняється від голозерних форм. Це сприяє особливому механізму проникнення вологи в центральні частини ендосперму. Менша товщина поверхневих шарів пшениці спельти зумовлює ефективне проникнення вологи після одноразового зволоження. Перероблення зерна спельти на борошно без використання ВТО зумовлює зменшення виходу та погіршення його якості.

Зменшення виходу борошна після зволоження зерна до вологості 16,0 % і більше пов'язано із утворенням пресованих вальцями проміжних продуктів, що виділяються разом із висівками. Проте підвищення тривалості відволоження зерна спельти позитивно впливає на вихід борошна.

Підвищений вміст золи у зразках, що не зволожували пояснюється малою кількістю та якістю утворених проміжних продуктів. Відомо, що проведення водотеплового оброблення сприяє утворенню мікротріщин ендосперму, зменшенню його склоподібності. У результаті подрібнення такого зерна на драних системах значну частину борошністого ендосперму можна ефективно сепарувати, що доведено результатами дослідження наведених на рис. 5, 6, 8, 9.

Проте незважаючи на покращення якості борошна за збільшення вологості зерна та тривалості його відволоження, надмірна вологість негативно впливала на технологічний процес.



Однак результати та рекомендації проведених досліджень мають обмеження, а саме: вони стосуються малих підприємств із скороченим технологічним процесом, що використовують комплекси типу МВР-000342.90. Достовірно неможливо спрогнозувати вплив параметрів ВТО на показники борошномельного виробництва із розвинутим технологічним процесом, що зумовлює напрям подальших досліджень.

## 7. Висновки

1. Вологість зерна та тривалість його відволожування достовірно впливали на вихід борошна та основні показники його якості. У результаті використання водотеплового оброблення загальний вихід борошна підвищувався в середньому на 0,8 %. Білизна борошна покращувалась на 10–15 од. пр., а вміст золи зменшувався на 0,22–0,26 %. Найбільший вплив на вказані показники зумовлює градієнт зволожування зерна.

2. Науково обґрунтовані та уточнені режими водотеплового оброблення під час вироблення борошна із зерна пшениці спельти на системах із скороченим технологічним процесом, а саме його зволожування до вологості 15,0–15,5 % та відволожування впродовж 20–30 год. За неможливості проведення довготривалого відволожування його значення можна зменшувати до 10–15 %, проте отримані продукти будуть мати нижчу якість. За використання рекомендованих режимів перероблення за дворазового розмелювання можна отримати борошно вищого та першого сорту із загальним виходом 85 %.

## Література

1. Can spelt wheat be used as heterotic group for hybrid wheat breeding? / Akel W., Thorwarth P., Mirdita V., Weissman E. A., Liu G., Würschum T., Longin C. F. H. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. Vol. 131, Issue 4. P. 973–984. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3052-3>
2. Elucidation of the mechanism that forms breadbaking properties of the spelt grain / Osokina N., Liubych V., Novak L., Pushkarova-Bezdil T., Priss O., Verkhohantseva V. et. al. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, Issue 11 (92). P. 39–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126372>
3. Biskup I., Gajcy M., Fecka I. The potential role of selected bioactive compounds from spelt and common wheat in glycemic control // *Advances in Clinical and Experimental Medicine*. 2017. Vol. 26, Issue 6. P. 1015–1021. doi: <https://doi.org/10.17219/acem/61665>
4. Classification of spelt cultivars based on differences in storage protein compositions from wheat / Koenig A., Konitzer K., Wieser H., Koehler P. // *Food Chemistry*. 2015. Vol. 168. P. 176–182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.040>
5. Effects of chemical composition and baking on in vitro digestibility of proteins in breads made from selected gluten-containing and gluten-free flours / Wu T., Taylor C., Nebl T., Ng K., Bennett L. E. // *Food Chemistry*. 2017. Vol. 233. P. 514–524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.158>

6. Mellado-Ortega E., Hornero-Méndez D. Lutein Esterification in Wheat Flour Increases the Carotenoid Retention and Is Induced by Storage Temperatures // *Foods*. 2017. Vol. 6, Issue 12. P. 111. doi: <https://doi.org/10.3390/foods6120111>
7. Chromosomal distribution of pTa-535, pTa-86, pTa-713, 35S rDNA repetitive sequences in interspecific hexaploid hybrids of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt (*Triticum spelta* L.) / Goriewa-Duba K., Duba A., Kwiatek M., Wiśniewska H., Wachowska U., Wiwart M. // *PLOS ONE*. 2018. Vol. 13, Issue 2. P. e0192862. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192862>
8. Unlocking the diversity of genebanks: whole-genome marker analysis of Swiss bread wheat and spelt / Müller T., Schierscher-Viret B., Fossati D., Brabant C., Schori A., Keller B., Krattinger S. G. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. Vol. 131, Issue 2. P. 407–416. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-017-3010-5>
9. Sequence divergence between spelt and common wheat / Liu M., Zhao Q., Qi F., Stiller J., Tang S., Miao J. et. al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2018. Vol. 131, Issue 5. P. 1125–1132. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3064-z>
10. Simultaneous Determination of Residue from 58 Pesticides in the Wheat Flour Consumed in Tehran, Iran by GC/MS / Rezaei M., Shariatifar N., Shoeibi S., Ahmadi M. A., Khanikia G. J. // *Iran J Pharm Res*. 2017. Vol. 16, Issue 3. P. 1048–1058.
11. Saleh M., Lee Y., Obeidat H. Effects of incorporating nonmodified sweet potato (*Ipomoea batatas*) flour on wheat pasta functional characteristics // *Journal of Texture Studies*. 2018. doi: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12319>
12. Breadmaking performance and textural changes during storage of composite breads made from spelt wheat and different forms of amaranth grain / Filipčev B., Bodroža-Solarov M., Pestorić M., Šimurina O. // *Food Science and Technology International*. 2016. Vol. 23, Issue 3. P. 235–244. doi: <https://doi.org/10.1177/1082013216683133>
13. The Application of FT-IR Spectroscopy for Quality Control of Flours Obtained from Polish Producers / Sujka K., Koczoń P., Ceglińska A., Reder M., Ciemniowska-Żytkiewicz H. // *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2017. Vol. 2017. P. 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/4315678>
14. Hydrothermal grain pre-processing and ultra-fine milling for the production of durum wheat flour fractions with high nutritional value / Ciccoritti R., Terracciano G., Cammerata A., Sgrulletta D., Del Frate V., Gazza L., Nocente F. // *Food Science and Technology International*. 2017. Vol. 24, Issue 3. P. 242–250. doi: <https://doi.org/10.1177/1082013217745199>
15. Hackenberg S., Jekle M., Becker T. Mechanical wheat flour modification and its effect on protein network structure and dough rheology // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 248. P. 296–303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.054>
16. Petrenko V., Liubich V., Bondar V. Baking quality of wheat grain as influenced by agriculture systems, weather and storing conditions // *Romanian Agricultural Research*. 2017. Issue 34. P. 69–76.

17. Любич В. В. Вплив абіотичних та біотичних чинників на продуктивність сортів і ліній пшениці спельти // Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2017. № 3. С. 18–24.
18. Любич В. В., Новіков В. В. Вплив параметрів водотеплового оброблення зерна спельти на показники ефективності вироблення борошна // Вісник ЖНАЕУ. 2017. Т. 1, № 2 (61). С. 134–138.
19. Господаренко Г. М., Любич В. В., Новіков В. В. Технологічне оцінювання виходу борошна із зерна пшениці спельти залежно від водотеплового оброблення // Науковий вісник НУБіП України. 2017. № 269. С. 215–224.
20. Методи контролю якості харчових виробництв. К.: НУХТ, 2014. 116 с. URL: <http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/73.19.pdf>
21. Систематичний аналіз в селекції польових культур: навч. пос. / Літун П. П., Кириченко В. В., Петренкова В. П., Коломацька В. П. Харків. 2009. 351 с.
22. Комп'ютерні методи в сільському господарстві та біології / Царенко О. М., Злобін Ю. А., Скляр В. Г., Панченко С. М. Суми, 2000. 200 с.
23. Крошко Г. Д., Левченко В. І., Нікітчук Л. П. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. Київ, 1998. 147 с.

Тільки для