

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
завідувач кафедри

«_____» листопада 2020 р.

**«НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
КРУП'ЯНИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ»**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи АІ-19-Маг
Білоконний Дмитро Олександрович
Керівник: к.т.н., доцент
Швець Людмила Василівна

АНОТАЦІЯ

В роботі проведено удосконалення технології виробництва крупи із тритикале дробленої № 1, 2, 3 та крупи тритикалевої плющеної на основі наукового обґрунтування раціональних режимів луцення, водотеплового оброблення та використання фракціонування зерна. В роботі наведені результати досліджень по визначенню фізичних та технологічних властивостей зерна тритикале озимого та їх порівняльна характеристика з зерном пшениці озимої. Досліджено фракційний склад зерна тритикале.

Ключові слова: зерно тритикале, водотеплове оброблення, луцення, , фізичні властивості, технологічні властивості.

SUMMARY

The paper improves the technology of production of crushed triticale № 1, 2, 3 and triticale flattened on the basis of scientific substantiation of rational modes of peeling, water heat treatment and use of grain fractionation. The paper presents the results of research to determine the physical and technological properties of winter triticale grain and their comparative characteristics with winter wheat grain. The fractional composition of triticale grain was studied.

Key words: triticale grain, water heat treatment, husking,, physical properties, technological properties.

ВСТУП

Круп'яні продукти порівняно із борошном мають зростаючий попит. Виробництво круп'яних продуктів характеризується простотою технологічного процесу, а будівництво круп'яних заводів – низькими капітальними вкладеннями, середньостроковим терміном окупності основних фондів, що зумовлює їх високу рентабельність і конкурентоспроможність.

Актуальність теми. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності виробництва круп'яних продуктів є використання зерна високої біологічної цінності. Тритикале – перший штучно створений гібрид пшениці та жита, що поєднує їх кращі спадкові якості. Зерно тритикале характеризується високим вмістом білка (10–25 %), що збалансований за амінокислотним складом. Нині відомі гібриди тритикале та пшениці (чотиривидове тритикале), що здатні формувати високі врожаї (до 6,0–9,0 т/га). Вони стійкі до хвороб, шкідників і багатьох несприятливих факторів зовнішнього середовища, а за фізичними та технологічними властивостями наближаються до пшениць.

У технології перероблення зерна на крупу однією з найбільш витратних операцій є водотеплове оброблення. Ефективність його проведення зумовлене особливостями анатомічної будови зернівки та режимами луцення. Нині відомо режими виробництва круп'яних продуктів, що розроблені для зерна пшениці твердої та м'якої. Відмінність технологічних властивостей зерна пшениці та зерна чотиривидового тритикале зумовлює необхідність наукового обґрунтування його перероблення.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – вдосконалення технології виробництва круп'яних продуктів із зерна чотиривидового тритикале за рахунок удосконалення режимів водотеплового оброблення, параметрів луцення та застосування фракціонування для отримання високоякісних, конкурентоспроможних продуктів.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

– визначити доцільність використання зерна тритикале для виробництва круп'яних продуктів, проаналізувати відомі технології перероблення зерна злакових культур та зерна тритикале на крупи;

– зробити порівняльну характеристику фізико-хімічних і технологічних властивостей зерна чотиривидового тритикале та пшениці;

– встановити структуру та провести удосконалення технологічного процесу луцення зерна тритикале під час виробництва крупи із тритикале подрібненої;

– удосконалити процес пропарювання та відволожування під час виробництва крупи тритикалевої плющеної;

– визначити доцільність проведення фракціонування під час виробництва круп'яних продуктів;

– розробити рекомендації з удосконалення технологій виробництва круп'яних продуктів із зерна тритикале.

Об'єкт дослідження. Технологія круп'яних продуктів.

Предмет дослідження. Режимми водотеплового оброблення та луцення під час виробництва круп'яних продуктів із зерна тритикале.

Методи дослідження. Для реалізації визначених задач дослідження використано комплекс загальноприйнятих і спеціальних методів, спрямованих на отримання об'єктивних і достовірних результатів: фізико-хімічні методи, інформаційний метод, статистичний метод, метод моделювання.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ ТА МЕТОДИ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

1.1 Технології перероблення зерна тритикале

Злакові культури є основною сировиною для виробництва хліба та крупів, які задовольняють потребу людини у вуглеводах на 30 % і на 50 % у білках та вітамінах групи В [20].

Завдяки низці господарсько-цінних ознак, зерно тритикале набуває більшого значення у вирішенні білкової проблеми порівняно із пшеницею та може бути більш ефективним джерелом продуктів харчування. Зерно тритикале є перспективною сировиною для виробництва хліба, хлібобулочних, кондитерських, макаронних виробів, продуктів дитячого та дієтичного харчування, сухих сніданків, для промислового отримання крохмалю, солоду, спирту, комбікормів та інших продуктів [10, 23, 34, 37, 47]. У багатьох країнах тритикале застосовують для виробництва пластівців. З борошна тритикале отримують макаронні вироби високої якості [32]. Так, О. Г. Поповою [38] розроблено нові види вафель, пряників, кексів із борошна тритикале. Борошно із зерна тритикале підходить для опарного тіста, приготування печива, бісквітів і крекерів. У США його застосовують для випікання цукрового, вівсяного, кокосового та шоколадного печива, тортів, пончиків, млинців, вафель, макаронних виробів і кексів [22, 35].

Круп'яні продукти є традиційними продуктами харчування, що складають 8–13 % від загального споживання продуктів зернових культур [25, 27]. За даними Г. А. Єгорова [16] витрати електроенергії на виробництво 1 т борошна становлять 20–100 кВт/год, тоді як на 1 т крупи – 0,7–5 кВт/год за вологості зерна 14,0–17,0 %. Крім цього маркетинговими дослідженнями встановлено, що впродовж 2013–2018 рр., обсяг виробництва круп'яних продуктів збільшувався відповідно з 294 до 364 тис. т, що пояснюється підвищенням попиту [45].

Отже, відповідно до фізико-хімічної характеристики зерна тритикале та практики його перероблення в умовах сучасної ринкової економіки України, доцільно його переробляти на круп'яні продукти.

1.2 Технології виробництва круп'яних продуктів із зерна злакових культур

Круп'яна промисловість в основному здійснює первинне перероблення зернової сировини. Її продукція потребує тривалого кулінарного оброблення або використовується в якості сировини для створення інших продуктів харчування. Тому виникає необхідність застосування інноваційних методів для забезпечення його глибоких структурних змін, покращення споживчої якості готового продукту.

Основні етапи вітчизняних технологій отримання круп'яних продуктів включають додаткове очищення сировини, водотеплове оброблення, лушення, контроль проміжних продуктів, подрібнення, плющення та фасування.

Доведено, що технологічні, фізичні та хімічні властивості зерна тритикале подібні до зерна пшениці, тому за основу удосконалення технології перероблення зерна тритикале на крупу рекомендовано використовувати технології перероблення зерна пшениці [33, 49]. Крупи «Полтавські» та «Артек», виробляють із пшениці твердої очищенням сировини на трьох очисних системах, зволоженням зерна теплою водою до вологості 14,5–15,0 % і наступним його відволоженням від 30 до 120 хв. Після цього зерно лушать на 2-х системах з подальшим його шліфуванням і поліруванням на 3-х системах [33].

Технологія перероблення пшениці м'якої включає очищення зерна без поділу на крупну та дрібну фракції, його лушення на оббивних машинах, шліфування та подрібнення з наступним сортуванням проміжних продуктів та їх полірування [33].

Швидкорозварювані крупи виробляють із крупів «Полтавська №1, 2, 3». Послідовність технологічних операцій під час виробництва швидкорозварюваних

крупів: зважування і контрольне просіювання сировини, зволоження до вологості 25,0–27,0 %, первинне відволоження в шнеках упродовж 40 хв, пропарювання вологих крупів у шнекових пропарювачах безперервної дії за тиску насиченої пари 0,1 МПа та експозиції пропарювання 3 хв, повторне відволоження впродовж 40 хв, підсушування крупи до вологості 23,0–25,0 %, плющення на вальцевих верстатах за встановленого диференціалу 1 : 1, висушування плющених крупів до вологості не більше 14,0 %, просіювання, фасування та пакування [33]. Проте, під час виробництва пшеничних пластівців отримують продукти з низькою харчовою цінністю, а вихід крупи становить 55–65 %, що збіднює її білком, вітамінами, мінеральними та іншими активними речовинами [31].

Технологія перероблення зерна пшениці на крупу плющену розроблена американськими вченими передбачає кондиціонування зерна, варіння його впродовж 90 хв за тиску насиченої пари 2,0 МПа, підсушування пропареного зерна до вологості 21,0 %, підігрівання інфрачервоними променями до температури 88 °С з наступним плющенням [42].

Відомо спрощені технології перероблення зерна злакових культур на установках типу УКР-1 і УКР-2, що набули широкого поширення. Вони характеризуються низькими енерговитратами, простотою конструкції, проте мають низький рівень автоматизації та потребують значних затрат ручної праці. Робота цих установок базується на режимах стандартної технології виробництва круп'яних продуктів, проте переробка в них зерна тритикале не передбачена.

Сучасний асортимент круп'яних продуктів із зерна тритикале включає крупи шліфовані типу перлових, крупи подрібнені та пластівці. Уперше пластівці з тритикале отримано в Польщі у 1992 р. пропарюванням зерна за температури 78–90 °С упродовж 2–14 хв з наступним його плющенням на вальцевому верстаті [41].

Дослідженнями К. М. Фесенка [41] встановлено, що під час виробництва пластівців із зерна тритикале оптимальним є зволоження сировини до 14,5–15,0 % та відволоження впродовж 30–40 хв. Луштити зерно доцільно впродовж

6 хв. Найкращими властивостями характеризуються пластівці, отримані за пропарювання зерна тиском 0,17 МПа впродовж 6–8 хв та тривалістю відволожування 10–15 хв. Основна фракція пластівців тритикале, що становить 56–64 % від загальної маси, складається з пластівців діаметром 2,5–6,0 мм.

Сучасна технологія перероблення зерна тритикале на крупи шліфовані та подрібнені полягає в тому, що зерно великої фракції (схід з сита 2,8(2,6)×20 мм) поступає через магнітний захист на першу систему луцення – вертикальну луцильну машину та дуоаспіратор. Після відділення оболонки, мучки та битого ядра продукт луцення, що містить суміш лущених і нелущених зерен тритикале, направляють в розсів оснащений ситами з отворами розміром 2,8×20 мм і 2,6×20 мм. Продукт, отриманий сходом з сит 2,8×20 мм і 2,6×20 мм поступає на магнітний захист другої луцильної системи. Продукт, отриманий проходом сита 2,6×20 мм складається з нелущених зерен і поступає через магнітний захист спільно з продуктом другого луцення на систему шліфування – горизонтальну машину типу БШМ. Після цього продукт додатково очищується на дуоаспіраторі. Крупу № 1 отримують проходом сита з отворами Ø 4,0 мм і сходом сита з отворами Ø 3,0 мм; крупу №2 отримують проходом сита з отворами Ø 3,0 мм і сходом сита з отворами Ø 2,5 мм. Крупа, що відповідає номерам 3, 4 і 5 (прохід сита Ø 2,5 мм) відбирається в окремий бункер. Крупа кожного виду піддається провіюванню та магнітному контролю. Схід сита з отворами Ø 2,5 мм спрямовують на другу систему луцення, а схід сита 063 – на першу шліфувальну систему [39].

1.3 Характеристика основних технологічних операцій під час виробництва круп'яних продуктів

Очищення зерна – важлива технологічна операція на круп'яних заводах. Ефективність очищення зумовлює вихід та якість готового продукту. Вимоги до кількості смітцевої домішки у зерні тритикале та пшениці ідентичні, а будова їх

зерна подібна, тому очищення зерна тритикале доцільно проводити аналогічно до технології очищення зерна пшениці.

Відомо, що ефективним методом очищення поверхні зерна є його вологе оброблення в мийних машинах з наступним відволожуванням і сушінням, унаслідок цього відбувається зниження розчинності водно-сольової фракції білка порівняно з стандартними значеннями та збільшення вмісту спирторозчинних фракцій. Для зерна пшениці під час вологого оброблення показник вмісту водорозчинної фракції зростає з 7,4 до 30,0 %, а вміст солерозчинної фракції – з 11,0 до 28,0 % [21].

Під час перероблення круп'яного зерна особливе значення має різниця у вологості ядра та плівок. Сухі оболонки зерна характеризуються високою крихкістю та малим зусиллям під час їх відокремлення, тоді як вологе зерно має підвищену пластичність ендосперму, що запобігає його руйнуванню. Під час лущення вологого зерна підвищується витрата енергії і знижується продуктивність обладнання. Проте відомо, що у зерна, висушеного за м'яких режимів, вологість оболонок нижче вологості ядра, що зумовлює підвищення ефективності його лущення. У круп'яному виробництві рекомендовано використовувати однорідні за вологістю партії зерна [22].

Нині розроблено й впроваджено методи холодного, гарячого та швидкісного кондиціонування зерна [36].

Завданнями водотеплового оброблення в круп'яному виробництві є зміна вихідних технологічних властивостей зерна в заданому напрямі та стабілізація їх на оптимальному рівні [6].

Водотепловим обробленням зерна можна досягти послаблення структури ендосперму внаслідок часткового гідролізу його міжклітинних перегородок, що складаються з клітковини, геміцелюлози та пектинових речовин [1].

Водотеплове оброблення зерна пшениці покращує ефективність його лущення, сприяє міграції речовин з периферійних частин зерна до центральних, що залишаються в крупі. Таке оброблення зменшує втрати крохмалю під час варіння та підвищує розсипчастість каші [4, 29, 31].

Встановлено [43], що зі збільшенням вологості зерна з 14,0 до 16,0 % Індекс лущення підвищується, а вміст битого ядра зменшується відповідно з 8,5 до 5 %.

Підвищення вологості зерна сприяє зменшенню його твердості в межах 10–18 %. Це явище пояснюється механічним впливом води на зерно, що призводить до його набухання та збільшення в'язкості оболонки. Також змінюється питома маса зернівки. Це пояснюється проникненням води в зерно, що має меншу, порівняно з крохмалем, питому масу та становить відповідно 1,00 і 1,63–1,48. За вологості 12,0 % зерно тритикале має властивості пружного тіла, проте за підвищення вологості до 16,0 % набуває пластичного стану [43].

Оптимальним режимом для виробництва пшеничних пластівців є зволоження зерна до 15,0–16,0 % і його відволоження впродовж 3 год перед одно- чи дворазовим лущенням у машинах А1–ЗШН–3 [25]. Збільшення тривалості відволоження сировини зумовлює підвищення стійкості пластівців до механічного пошкодження, крім цього форма пластівців зберігається під час варіння. Зменшення тривалості відволоження зумовлює збільшення тривалості приготування пластівців а об'єм каші знижується [31].

Використання вологого лущення зерна дозволяє збільшити загальний вихід крупи та скоротити технологічний процес її виробництва за рахунок скорочення процесу лущення та зменшення шліфувально-полірувального процесу на 1–2 системи [32].

Удосконалення режимів зволоження та відволоження зерна твердих сортів пшениці дозволяє зменшити енерговитрати технологічного процесу на 40–50 % [12].

Основна технологічна операція під час виробництва крупи – лущення. Процес лущення є найбільш енергоємним [12]. У круп'яному виробництві лущення проводять на двох системах оббивних машин з абразивною робочою поверхнею, або на лущильних машинах типу А1–ЗШН. Колові швидкості бичів на 1-й системі становлять 16 м/с, на 2-й – 14 м/с, ухил бичів відповідно 10 і 8 % [14].

Встановлено [14], що процеси лущення та шліфування істотно впливають на якість готового продукту та вимагають оптимізації.

Сортування зерна на фракції за крупністю проводиться для підвищення ефективності роботи лущильних машин. Фракціонування зерна збільшує ефективність лущення зерна, проте підвищує загальну енергоємність виробництва. Фракціонування зерна економічно доцільно проводити на підприємствах високої продуктивності [14].

Відомо, що оптимізація процесу лущення зумовлює зменшення кількості битого ядра, що наближається до мінімального значення. Це зумовлює низькі втрати макро- і мікроелементів у наслідок більш рівномірного відділення плодкових і насінневих оболонок та низькими втратами ендосперму [31].

Разом із стандартними видами круп'яних продуктів, встановлено ріст попиту на продукти, отримані з цілого зерна. Вони мають меншу калорійність, більший вміст вітамінів і мінеральних речовин [46].

У результаті збільшення кількості знятих оболонок, вміст незамінних амінокислот і вітамінів у готовому продукті зменшується, а кількість битих зерен збільшується [8, 17, 41].

У технології виробництва плющених крупів застосовують м'які та жорсткі режими пропарювання зерна за підвищеного тиску [30]. Пропарювання зерна істотно змінює властивості білків, їх амінокислотний склад і чутливість до ферментативного перетравлювання, підвищується їх засвоюваність. Теплова денатурація білків зерна порушує вторинну структуру спіральної просторової організації поліпептидних ланцюгів [14].

Під час пропарювання зерна відбувається клейстеризація крохмальних зерен, що зумовлено вмістом у них амілопектину. У першій фазі нагрівання вода повільно поглинається зернами крохмалю, внаслідок чого відбувається їх обмежене набухання. Друга фаза характеризується втратою кристалічної будови крохмальних зерен і збільшенням їх в'язкості. У третій фазі, що відбувається за високих температур, зерна крохмалю втрачають форму, а розчинна частина видаляється з них повністю [6, 9, 19, 24, 26, 40].

Висока тривалість пропарювання та температура води під час зволоження зумовлюють підвищення виходу крупи, що пояснюється клейстеризацією крохмалю. Збільшення тривалості пропарювання нелущеного зерна від 2 до 6 хв підвищує вміст вітамінів на 8–12 %. Проте, подальше збільшення експозицій пропарювання істотно знижує їх вміст [26].

Під час пропарювання круп'яних продуктів тривалість варіння зменшується на 20 %, а вміст водорозчинних речовин збільшується на 20–30%. Зародок, отриманий із пропареного зерна, має кращі властивості завдяки інактивації його ферментів [16]. Пропарювання зерна зумовлює зниження розчинності фракцій білка [21].

Оброблення зерна парою за атмосферного тиску сприяє швидкому його нагріванню та зволоженню. Під час оброблення зерна впродовж 10 хв ступінь клейстеризації крохмалю становить 12–13 %. У результаті плющення в пропареному зерні ступінь клейстеризації крохмалю збільшується на 25–30 %, а після зменшення зазору між вальцями цей показник збільшується. Перетравність крохмалю підвищується прямопропорційно збільшенню ступеню набухання та руйнування його гранул [4].

Порівняльним аналізом технологічної ефективності способів водотеплового оброблення встановлено, що гаряче кондиціювання має більшу ефективність порівняно із холодним, однак його реалізація значно складніша, вимагає дорогого апаратного забезпечення, а нагрівання зерна до температури 50–70°C пов'язане зі значними витратами енергії. Після пропарювання зерно піддають сушінню та охолодженню до температури, що не перевищує температуру виробничого приміщення. Сушіння зерна застосовують для видалення надлишкової вологи, підвищення міцності ядра та зниження міцності оболонки і квіткових плівок [7].

Отже, комплексне вивчення режимів водотеплового оброблення, лущення та їх удосконалення дозволяє поліпшити технологічні властивості зерна, збільшити вихід крупи та підвищити її харчові властивості.

Висновки до розділу 1

1. Зерно тритикале – перспективна сировина для харчової промисловості, що характеризується високими господарсько-цінними властивостями і зростаючим попитом.

2. Технологічні показники зерна тритикале подібні до зерна пшениці, проте мають відмінності, властиві цій культурі, що сформувались у наслідок селекційного відбору.

3. Подібність будови зерна тритикале та пшениці зумовлює можливість використання стандартного обладнання під час його перероблення на крупу, проте технологія виробництва круп'яних продуктів із зерна тритикале потребує додаткового вдосконалення.

4. Встановлено, що вітчизняні технології виробництва круп'яних продуктів характеризуються низьким виходом готового продукту, високими енерговитратами, низькою гнучкістю виробництва та недостатнім асортиментом готової продукції, що зумовлює необхідність їх удосконалення.

5. Необхідно провести досліджень щодо оптимального режиму зволоження і відволоження зерна тритикале перед лушенням. Недостатньо вивчено технологічні властивості фракційного складу зерна тритикале.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою досліджень є наукове обґрунтування та вдосконалення технології виробництва круп'яних продуктів із зерна чотиривидового тритикале за рахунок удосконалення режимів водотеплового оброблення, параметрів лушення та застосування фракціонування для отримання високоякісних, конкурентоспроможних продуктів.

Було визначено науково-методичні основи проведення досліджень, описано експериментальну базу, програму проведення досліджень та зв'язок основних етапів роботи (рис. 2.1).

2.1 Об'єкти і методи досліджень

Для виконання досліджень використані круп'яний цех УКР–2, лабораторія (свідоцтво про реєстрацію № А 06–203).

Під час організації експериментів використовувався метод системного підходу до об'єктів дослідження, що характеризується взаємопов'язаним аналізом різних етапів роботи.

У роботі використано методи, що дозволяють характеризувати вихідну сировину та нові види продукції із зерна тритикале з погляду хімічного складу, біологічної цінності, економічного ефекту від їх впровадження.

Для проведення досліджень використано зерно чотиривидового тритикале: Тактик і Стратег, вирощених в умовах Правобережного Лісостепу. Порівняльну оцінку зерна чотиривидового тритикале проводили з зерном пшениці озимої сорту Подолянка та зерном тритикале озимого сорту Хлібодар харківський, що було вирощено в аналогічних умовах.



Рисунок 2.1 – Блок-сема комплексних досліджень

Досліджуване зерно тритикале відповідало вимогам ДСТУ 4762:2007 «Тритикале технічні умови», а зерно пшениці – вимогам ДСТУ 3768–2010 «Пшениця. Технічні умови». Початкова вологість зерна не перевищувала 12,0 %.

2.1.1 Об'єкти досліджень. Технологія круп'яних продуктів.

2.1.2 Методи досліджень. Технологічний і хімічний аналіз властивостей зерна та продуктів його перероблення проводили методами і стандартами, чинними на момент проведення досліджень:

– відбирання проб – за ГОСТ 13586.3–83 «Зерно. Правила приймання і методи відбирання проб»;

– вологість зерна – за ДСТУ 29144:2009 «Зерно і зернопродукти. Визначання вологості»;

– маса 1000 зерен – за ГОСТ 10842–89 «Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян»;

– натура зерна – за ГОСТ 10840–64 «Зерно. Методы определения натуры» ;

– довжину, ширину та товщину зерна визначали штангенциркулем з точністю вимірювань 0,02 мм;

– фізичні властивості визначали відповідно до методики Г. А. Егорова [15, 16, 17, 18].

Площа зовнішньої поверхні ($F, \text{мм}^2$):

$$F = 1.12a^2 + 3.76b^2 + 0.88l^2 - 10 \quad (2.1)$$

де a – ширина, мм;

b – товщина, мм;

l – довжина, мм.

Об'єм зернівки ($V \text{мм}^3$):

$$V = kabl \quad (2.2)$$

k – коефіцієнт, що враховує форму зерна (0,42–0,52).

Відсотковий вміст ендосперму визначали розрахунково-аналітичним методом та за методом Імбрані (рис. 2.2).

Відповідно до розрахунково-аналітичного методу, вміст ендосперму (M_e , мм³) визначали за формулою:

$$M_e = \frac{V - V_1}{V} 100 - m_z \quad (2.3)$$

де V_1 – об'єм поверхневих шарів зернівки, мм³;

m_z – вміст зародку, %.

$$V_1 = F\delta \quad (2.4)$$

де δ – товщина поверхневих шарів зернівки, мм (0,065 мм);

$$m_z = \frac{m_{1000}}{1000} 0.025 \quad (2.5)$$

де m_{1000} – маса 1000, гр;

Шпаруватість (S , %) визначали за формулою:

$$S = \frac{V_{\text{загальний}} - V_{\text{дійсний}}}{V_{\text{загальний}}} \quad (2.6)$$

де $V_{\text{загальний}}$ – загальний об'єм зернової маси, м³;

$V_{\text{дійсний}}$ – дійсний об'єм зернової маси, м³;

Сферичність (Ψ) визначали за формулою:

$$\psi = \frac{F_{\text{ш}}}{F} \quad (2.7)$$

де F – площа шару еквівалентна зерну, мм²

$$- F_{\text{ш}} = 4.83^3 \sqrt{V^2} \quad (2.8)$$

– індекс розміру частинок становив кількість подрібненого зерна, отриманого проходом сита № 64 та виражався у відсотках по відношенню до маси проби, що аналізували. Зерно вважали твердозерним, якщо ІРЧ становив від 14 % до 24 %, а м'якозерним за ІРЧ від 33 % до 41 %;

- кулінарну оцінку каші проводили за 9-бальною шкалою відповідно до методики корисної моделі «Спосіб кулінарної оцінки круп'яних продуктів із зерна тритикале і пшениці» № у 2015 07630. Суть методики полягає в тому, що круп'яні продукти із зерна тритикале та пшениці масою 50 г варять у спеціальному циліндрі на водяній бані (типу ПОР-1 чи ПКО-1) з додаванням 150 см³ водопровідної води. Після охолодження до кімнатної температури визначають розсипчастість, колір, запах, смак і консистенцію каші під час розжовування за 9-бальною шкалою.

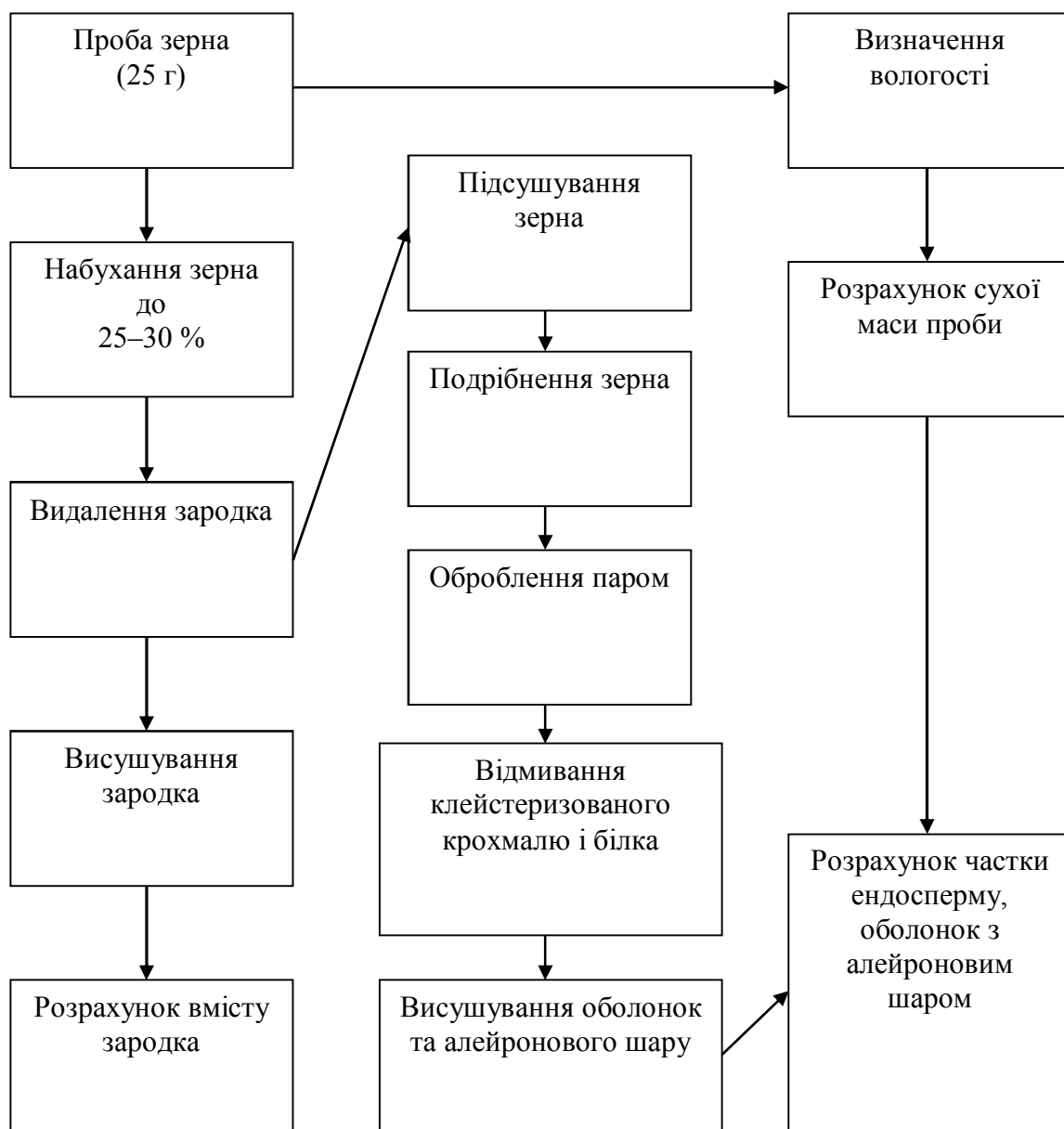


Рисунок 2.2 – Схема експерименту для визначення анатомічних частин за методом Імбрані

Запропонований спосіб оцінки кулінарних властивостей круп'яних продуктів із зерна тритикале не перечить загальноприйнятій 9-бальній шкалі оцінювання крупи. Крім цього розроблено градацію, що забезпечує об'єктивне визначення кулінарних властивостей круп'яних продуктів, отриманих із зерна тритикале та пшениці. Відповідно до градації кулінарної оцінки каші визначали її значення від дуже низької до дуже високої (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Рівень кулінарної оцінки

Оцінка, балів	Градація
8,0–9,0	дуже висока
6,6–8,0	висока
5,4–6,6	середня
4,0–5,4	низька
< 4,0	дуже низька

Крупку подрібнену отримували із зерна тритикале озимого сорту Тактик і Стратег, оскільки вони характеризувались високими показниками якості, мали різне походження, високу урожайність, були стійкими до несприятливих чинників навколишнього природного середовища. Крім цього відповідні сорти здатні формувати врожай на ґрунтах, де пшениця озима його не формує.

Технологічна схема виробництва крупів із тритикале подрібнених в лабораторних умовах включала додаткове очищення зернової суміші пропуском через ситовий сепаратор та аспіраційну колонку. Початкова вологість сировини становила $12,0 \pm 0,2$ %. Зволожували зерно до вологості 13,0–16,0 % крапельним зрошуванням, кількість води вираховували за формулою [33]:

$$X = \frac{G(W_1 - W_2)}{100 - W_1}, \quad (2.9)$$

де X – необхідна кількість води, мл; G – маса суміші, г;

W_1 – задана вологість суміші, %; W_2 – початкова вологість суміші, %.

Відволожування проводили у герметичних ємкостях. Тривалість відволожування становила від 30 до 120 хв.

Зволожене зерно лушили в лабораторному луцильнику УШЗ–1, після цього отриманий продукт сепарували на лабораторному ситовому сепараторі РЛУ–1. Крупку із тритикале подрібнену отримували під час виробничих випробувань на круп'яному цеху УКР–2. Технологічні результати оцінювали за виходом цілого зерна (схід сита $\varnothing 2,0$ мм), вмістом дрібки (прохід сита $\varnothing 2,0$ мм) та мучки (прохід сита 063) відповідно до вимог ГОСТ 276-60 «Крупа пшеничная (Полтавская, Артек). Технические условия».

Крупку тритикалеву плющену отримували із лущеного зерна тритикале (індекс лущення 2–12 %). Пропарювання, відволожування та сушіння проводили в умовах лабораторії. Пропарювали лущене зерно за початкової вологості 14,0 % упродовж 5–15 хв за тиску насиченої пари $0,15 \pm 0,01$ МПа. Відволожували крупку в термоізолюваному бункері впродовж 5–15 хв. Вологість зерна перед плющенням доводили до 25,0 % висушуванням у сушильній установці «Садочок» за сталої температури 90 °С. Плющили крупку на лабораторному вальцевому верстаті.

2.2 Обладнання для проведення досліджень

Розділення зернової суміші на фракції здійснювали на розсві лабораторному універсальному РЛУ–1. Тривалість сепарування становила 5 хв. Під час лущення зерна використано лабораторний лущильник УШЗ–1. Маса досліджуваного зразка становила 100 г. Круп'яні продукти отримували лущенням зерна тритикале впродовж 20–160 с.

Ефективність лущення зерна тритикале визначали індексом лущення, що розраховували за формулою [11]:

$$k = \frac{M_z - M_y}{M_z} 100 \quad (2.10)$$

де, k – індекс лущення, %;

M_z, M_y – маса зерна до лущення та маса ядра після лущення, г.

Для вивчення процесу гарячого кондиціонування використано лабораторний пропарювач періодичної дії (рис. 2.3).

Пропарювач ППД–1 складається з нагрівального елемента 8 на якому нерухомо встановлений корпус апарату 4. У нижній частині корпусу розміщений шар рідини 7. Для запобігання втрат тиску пари на механізмі регулювання 6 передбачено манжетне ущільнення 5. Досліджуваний зразок 3 розміщують в нижній частині сита 2, що герметизується кришкою 1.

Принцип роботи пропарювача періодичної дії полягає у тому, що нижня частина робочої зони апарату заповнюється водою до встановленої відмітки максимального рівня. Ручка механізму контролю подачі пари встановлюється в

горизонтальне положення, що зумовлює поділ робочої зони на дві частини. Нагрівання продовжують до встановлення робочого тиску насиченої пари в нижній частині робочої камери. Після цього переводять ручку механізму контролю подачі пари у максимально вертикальне положення, що зумовлює миттєве вирівнювання тиску в обох камерах до $0,15 \pm 0,01$ МПа.

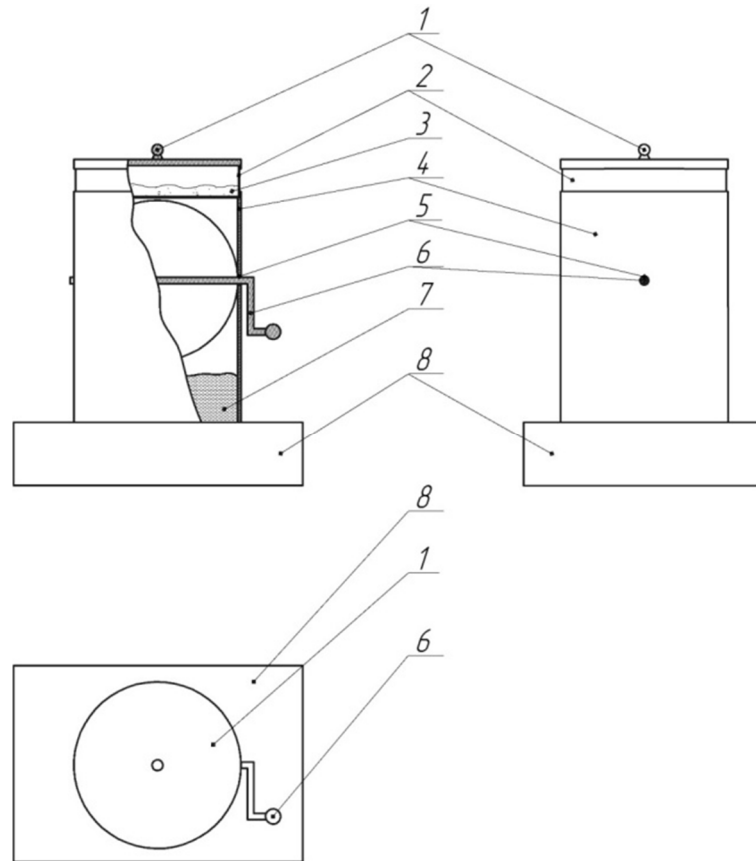


Рисунок 2.3 – Лабораторний пропарювач періодичної дії ППД-1: 1 – герметична кришка, 2 – сито, 3 – шар зерна, 4 – корпус пропарювача, 5 – манжетне ущільнення, 6 – механізм контролю подачі пари, 7 – шар води, 8 – нагрівальний елемент.

Циліндр з дослідним зразком встановлюють в робоче положення перед подачею пари. Час пропарювання контролюють електронним секундоміром з точністю до 0,5 с. Після пропарювання циліндр разом із герметичною кришкою демонтують.

Плющення зерна проводили на лабораторному плющильному верстаті фірми Marga, удосконаленого в умовах кафедри технології зберігання і

перероблення зерна (рис. 2.4). Принцип роботи плющильної машини полягає у деформації сировини вальцями 1 і 2 за встановленого між ними зазору 0,5 мм. Під час виробництва крупи тритикалевої плющеної валок 3 встановлюють у неробоче положення. Потужність електродвигуна верстата становить 0,75 кВт, частота обертання валу електродвигуна – 25 Гц, тип передачі – клинопасова, частота обертання швидкохідного вальця – 2,5 Гц, продуктивність машини становить 0,1 кг/хв, кут нахилу рифлів – 8, кількість рифлів на 1 см – 10.

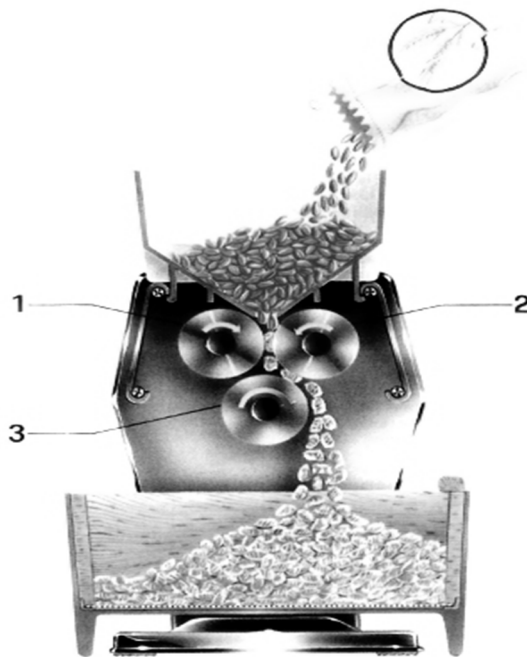


Рисунок 2.4 – Лабораторний плющильний верстат фірми Marga: 1 – тихохідний вал, 2 – швидкохідний вал, 3 – вал для виробництва борошна.

2.3 Методи математичного оброблення експериментальних даних

Зв'язок між технологічними властивостями визначали методом кореляційного та дисперсійного аналізів за допомогою програм Statistica 10 і Microsoft Office 2010.

Точність вимірювань та достовірність даних математично обґрунтовувалися на кожному етапі дослідних робіт.

Експерименти проводили у трьохкратній повторності. Оскільки мало місце дублювання дослідів було проведено перевірку відтворюваності експериментальних даних. Гіпотезу про постійність дисперсії шуму перевіряли,

використовуючи критерій Кохрена. Перевірка даної гіпотези давала можливість стверджувати про однорідність або неоднорідність ряду дисперсій. Під час проведення математичного моделювання використані дані, у яких ряд дисперсій був однорідним.

Розрахункове значення критерію Кохрена розраховували за формулою:

$$G = \frac{\max(S_t^2)}{\sum_{t=1}^N s_t^2} \quad (2.11)$$

де $\max(S_t^2)$ – найбільша в ряду дисперсія.

План повного факторного експерименту містив усі можливі комбінації факторів, які повторювалися на кожному рівні однаково число разів. Кожний фактор мав зумовлену межу вимірювання, всередині якої він змінювався дискретно чи перервано.

Висновки до розділу 2

1. Для вирішення поставлених задач з метою дослідження технологічного процесу перероблення зерна тритикале на крупу розроблено програму комплексних досліджень. Для реалізації програми обрано та наведено загальні, а також удосконалені методики, що дозволяють провести аналіз ефективності ведення технологічного процесу виробництва круп'яних продуктів.

2. Для вивчення впливу параметрів водотеплового оброблення, луцення та фракційного складу зерна на вихід і якість круп'яних продуктів розроблено методику розділення зерна на фракції, методику проведення водотеплового оброблення в лабораторних умовах, методику вивчення впливу параметрів луцення на вихід та якість круп'яних продуктів.

3. Для оцінки достовірності, статистичної надійності, відтворюваності статистичних даних та удосконалення технологій виробництва круп'яних продуктів, було обрано метод математичного моделювання повного факторного експерименту.

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО НОВИХ СОРТІВ І ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ

3.1 Дослідження геометричних розмірів зерна

Дослідженнями встановлено, що зерно чотиривидового тритикале сортів Тактик і Стратег мали більші геометричні розміри зернівки порівняно із зерном сорту Хлібодар харківський, що зумовлено їх генетичними особливостями (табл. 3.1). Так, довжина, ширина і товщина зерна тритикале становили відповідно 7,4–8,6 мм, 2,8–3,4 і 2,9–3,4 мм залежно від сорту.

Ширина та товщина зерна тритикале змінювалась неістотно залежно від сорту, проте підвищувалась прямо пропорційно зі збільшенням довжини зернівки. Порівняльною характеристикою зерна тритикале та пшениці встановлено, що зерно тритикале мало на 0,2–1,1 мм більшу довжину.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика геометричних розмірів зерна пшениці і тритикале різних сортів, мм

Сорт	Довжина	Ширина	Товщина
Подольанка (пшениця), (Контроль 1)	7,2	3,2	4,1
Хлібодар харківський, (Контроль 2)	7,4	2,8	2,9
Тактик	8,1	3,1	3,2
Стратег	8,2	3,3	3,3

Ширина зернівки тритикале наближалась до ширини зерна пшениці, а сорти чотиривидового тритикале характеризувались неістотним її перевищенням порівняно з пшеницею на 0,1–0,2 мм, проте товщина досліджуваних зразків

тритикале була значно меншою у аналогічному порівнянні. Так, товщина зерна пшениці становила 4,1 мм проти 2,9–3,3 мм у зерна тритикале.

Збільшення геометричних розмірів зерна зумовлювало підвищення площі зовнішньої поверхні та об'єму зернівки. Ці показники були найвищими в зерні лінії Стратег і становили відповідно 102,9 мм² і 47 мм³ (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Площа зовнішньої поверхні та об'єм зернівки пшениці та тритикале різних сортів

Сорт	Площа зовнішньої поверхні, мм ²	Об'єм зернівки, мм ³
Подольанка (пшениця), (Контроль 1)	72,7	30,0
Хлібодар харківський, (Контроль 2)	90,1	39,2
Тактик	94,8	40,5
Стратег	102,9	47,0

Найменша площа зовнішньої поверхні та об'єм зернівки були у зерна сортів Хлібодар харківський (90,1 мм² і 39,2 мм³) і Тактик (94,8 мм² і 40,5 мм³).

Дослідженнями встановлено, що зерно тритикале характеризувалося високим вмістом ендосперму – 78,7–80,3 % залежно від сорту (рис. 3.1). Відмінність між показниками вмісту ендосперму, отриманих під час розрахунково-аналітичного методу та методом Імбрані, становила менше 5 %, а тому формулу визначення відсоткового вмісту ендосперму зерна пшениці доцільно використовувати для зерна тритикале.

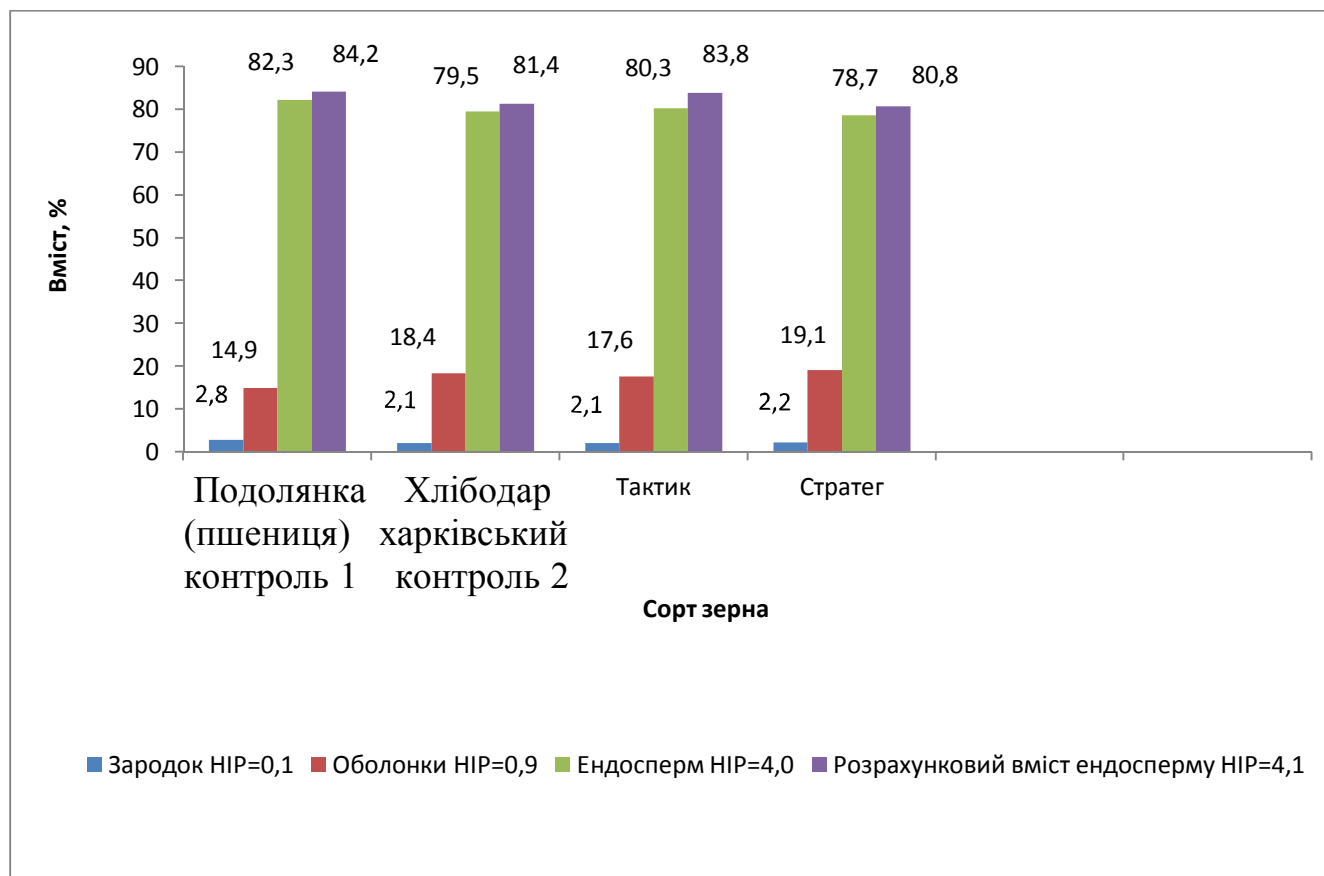


Рисунок 3.1 – Співвідношення анатомічних частин зернівки тритикале, %

Частка зародку в зернівці тритикале змінювалась неістотно залежно від сорту та становила 2,1–2,2 %. Найвища частка оболонок їх кількість була у сорту Стратег (19,0 %). Встановлено, що частка ендосперму зерна тритикале досліджуваних сортів наближалась до його вмісту в зерні пшениці, що становила 82,3 %. Особливість будови зерна тритикале полягала у вищій частці оболонок та меншій частці зародку порівняно із зерном пшениці.

3.2 Дослідження шпаруватості та натуре зерна

Шпаруватість зерна чотиривидового тритикале була вищою порівняно із зерном тритикале сорту Хлібодар харківський та із зерном пшениці (рис.3.2). Відповідні залежності зумовлені більшими міжзерновими просторами, що виникають унаслідок формування зернової суміші крупним зерном.

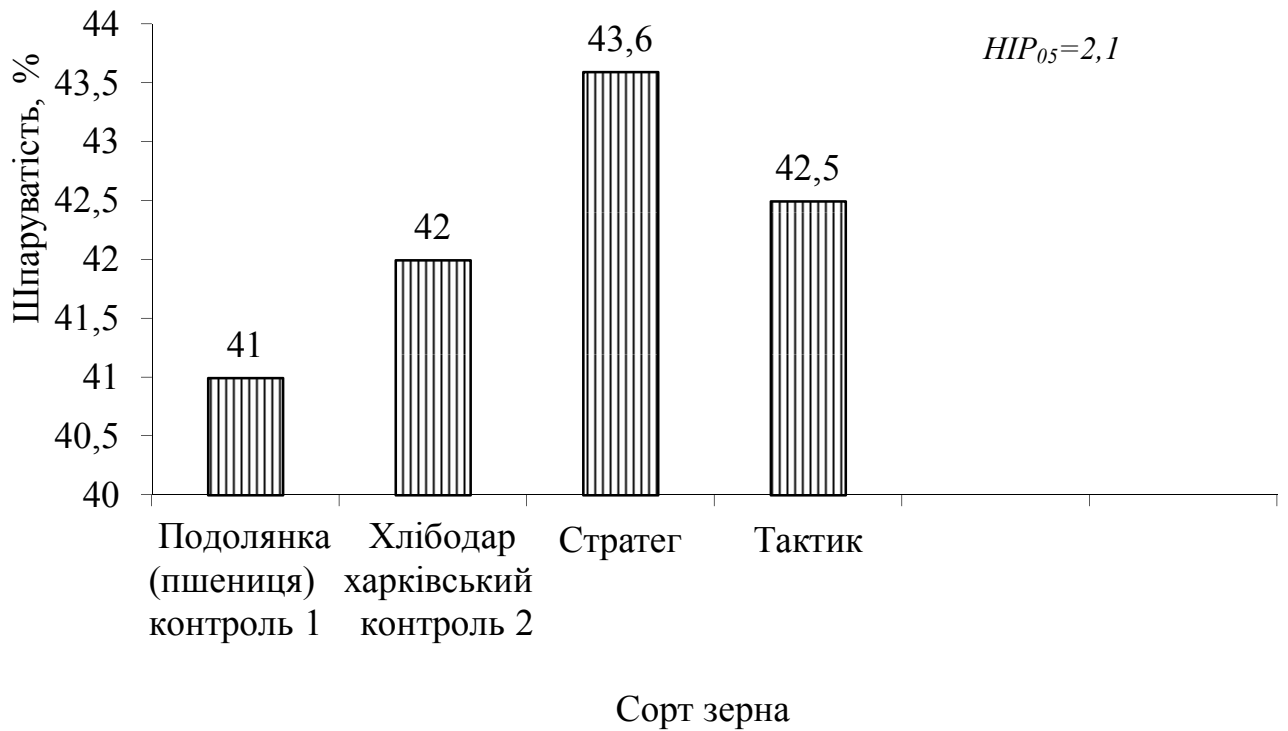


Рисунок 3.2 –Шпаруватість зерна залежно від сорту

Відомо, що показник маси 1000 зерен має високу пряму кореляційну залежність із крупністю зерна, проте у випадку, коли зерно недостатньо виповнене, ця закономірність відсутня [12, 13]. Зерно тритикале нових сортів характеризувалось високими показниками маси 1000 зерен порівняно із зерном тритикале сорту Хлібодар харківський і зерном пшениці сорту Подолянка, що зумовлено їх високою крупністю (рис. 3.3).

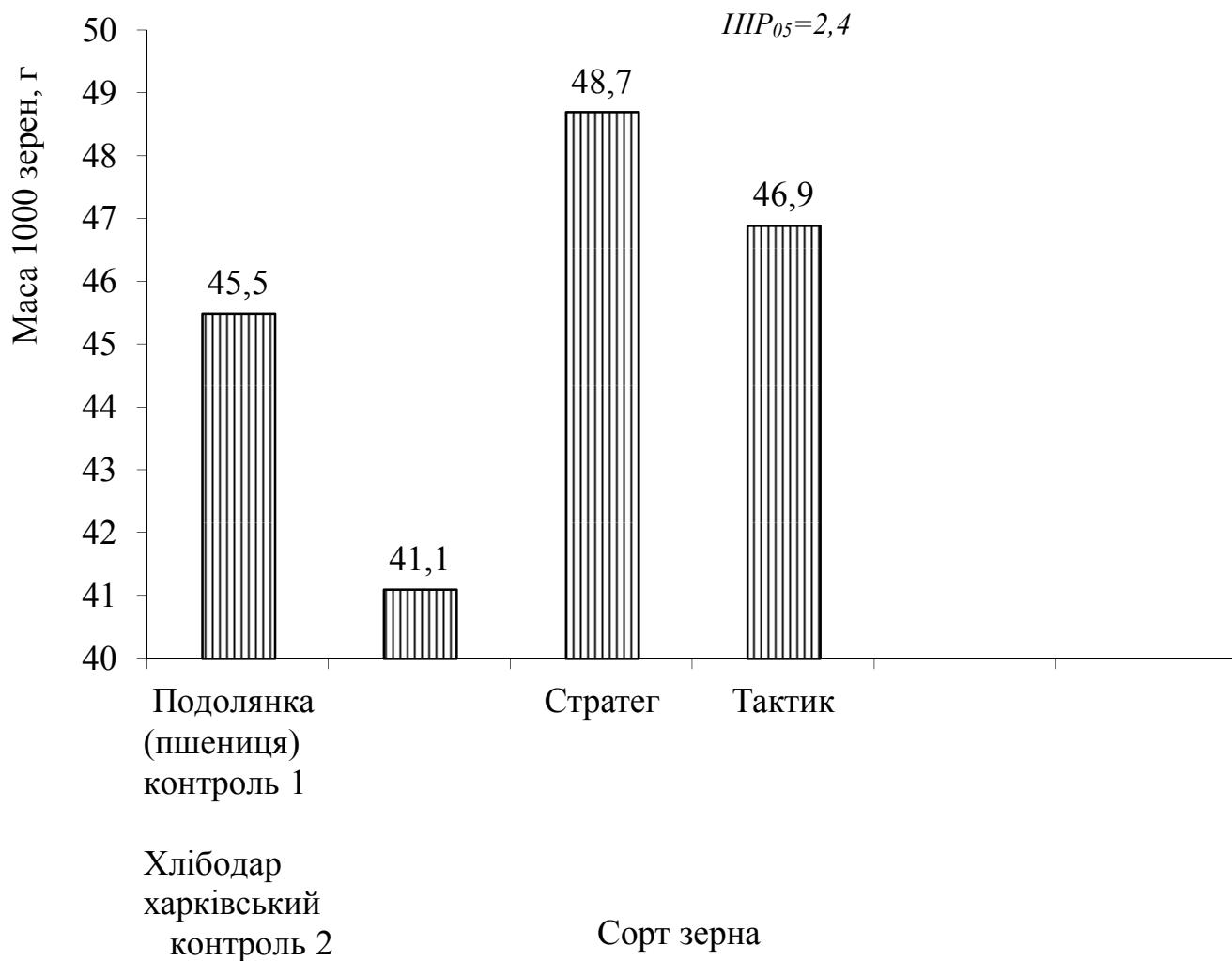


Рисунок 3.3 – Маса 1000 зерен залежно від сорту

Сорт Хлібодар харківський мав на 4,5 г меншу масу 1000 зерен порівняно із зерном пшениці, що становила 45,5 г. Сорти чотиривидового тритикале мали більшу на 3,2–7,6г масу 1000 зерен, порівняно із зерном пшениці, що пояснюється їх вищими показниками сферичності, більшими геометричними розмірами та кращою виповненістю.

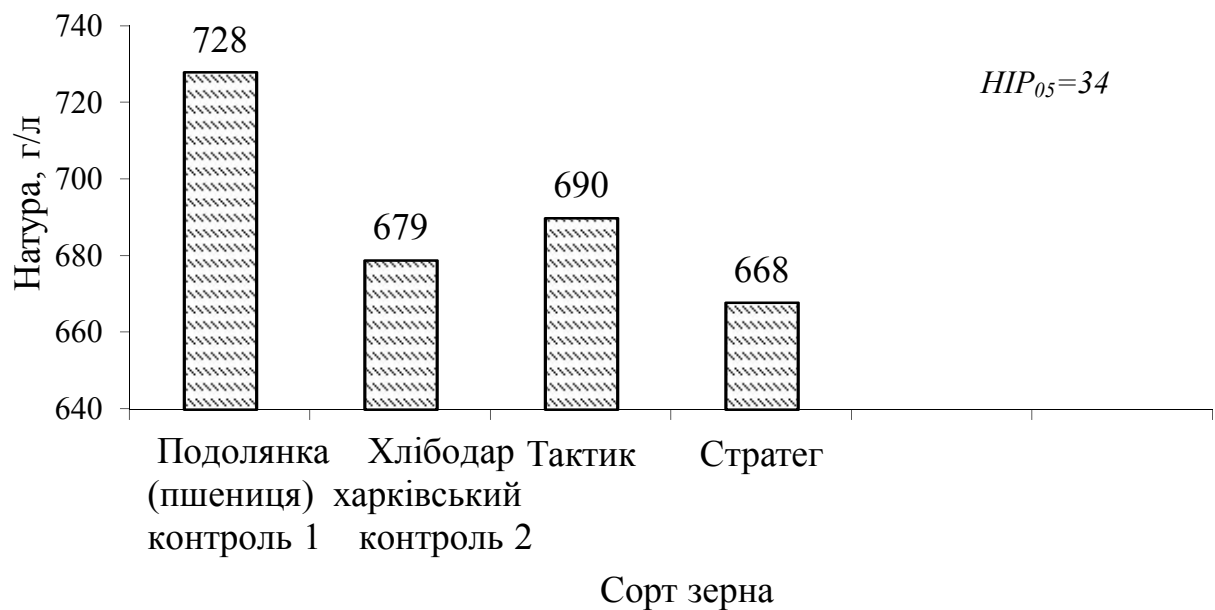


Рисунок 3.4 – Натура зерна тритикале залежно від сорту

Натура зерна тритикале відповідала першому і другому класу (рис. 3.4). Вона змінювалась залежно від сорту та становила від 643 до 690 г/л, що на 38–85 г/л менше порівняно з натурою зерна пшениці (728 г/л). Це зумовлено більшою шпаруватістю зерна тритикале.

Висновки до розділу 3

1. Розміри зерна тритикале істотно змінюються залежно від сорту. Площа зовнішньої поверхні становить 94,8–102,9 мм², об'єм зернівки 40,5–47,0 мм³ залежно від сорту. Зерно тритикале на 1,0–1,1 мм довше порівняно з пшеничним (7,2 мм), проте поступається йому за товщиною.

2. Зерно тритикале має більшу масу 1000 зерен порівняно із зерном пшениці, що змінюється в широкому діапазоні від 41,0 г у сорту Хлібодар харківський до 48,7 г у Стратег. Проте всі сорти тритикале поступаються пшениці за натурою зерна, що становить 668–690 г/л у тритикале і 728 г у пшениці озимої сорту Подолянка.

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ВОДОТЕПЛОВОГО ОБРОБЛЕННЯ ТА ПАРАМЕТРІВ ЛУЩЕННЯ НА ЯКІСТЬ ТА ВИХІД КРУП'ЯНИХ ПРОДУКТІВ ІЗ ЗЕРНА ТРИТИКАЛЕ

4.1 Вплив зволоження, відволоження та лушення зерна на вихід та якість крупів із тритикале подрібнених № 1, 2, 3

Дослідження [1, 44] показали, що великий вплив на фізико-механічні властивості зерна має його вологість. Процеси лушення зерна під час виробництва круп'яних продуктів характеризуються високими енерговитратами та впливають на вихід та якість готового продукту. Сучасними технологіями перероблення пшениці на крупу досягнутий вихід готового продукту до 60 %, тоді як загальний вміст ендосперму у зерні пшениці становить 70–80 %. Тому встановлення оптимальної тривалості лушення залишається актуальним питанням в умовах сучасної ринкової економіки.

Дослідженнями встановлено, що вихід ядра істотно залежав від тривалості лушення та неістотно від вологості та тривалості відволоження. Це пояснюється тим, що принцип роботи машин ударно-стираючої дії полягає у інтенсивному стиранні поверхневих шарів у наслідок тертя зернівок між собою та багаторазового контакту з абразивною поверхнею робочих органів машини. Так, за вологості 12,0 %, збільшення тривалості лушення з 20 до 160 с зумовило зменшення виходу ядра з 90,3 до 78,6 % (рис. 4.1).

Підвищення вологості до 13,0 % зумовлювало збільшення виходу ядра за тривалості лушення 20 с, 40, 60, 80, 100, 120, 140 і 160 с порівняно із аналогічним режимом за вологості 12,0 % відповідно на 2,1 %, 1,9, 0,7, 1,1, 1,9, 2,4, 1,7 і 1,9 %. За початкової вологості 14,0 % вихід ядра був більший на 0,6–2,3 % порівняно із виходом ядра за вологості 12,0 %. Вихід ядра за початкової вологості 14,0 % і тривалості лушення впродовж 20, 60 і 140 с був більший на 0,1–0,2 % порівняно із вологістю 13,0% та аналогічних режимах лушення.

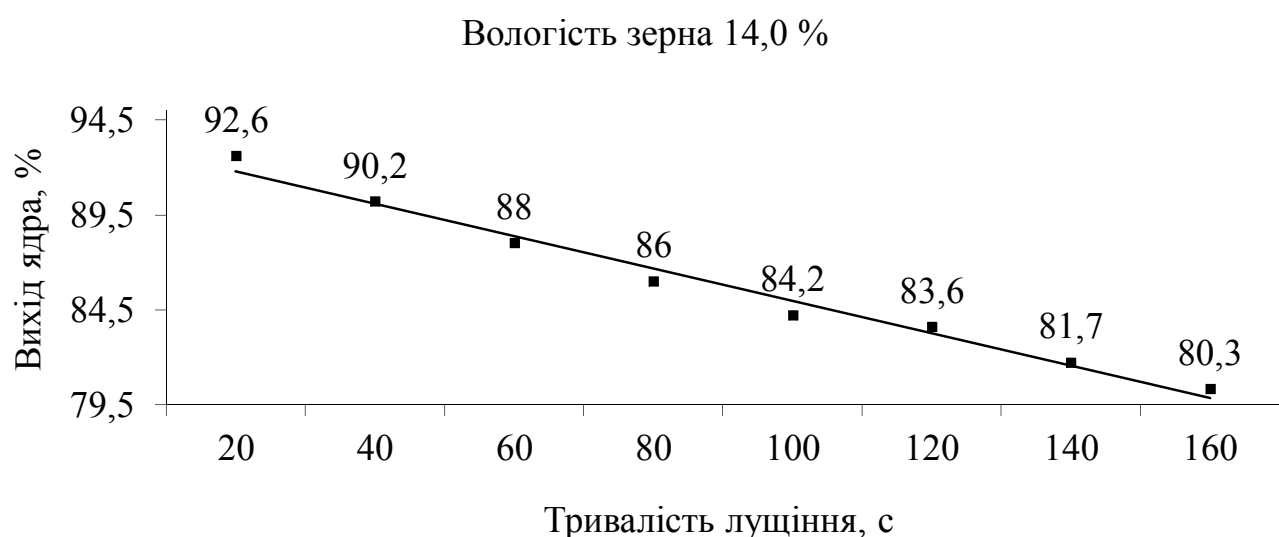
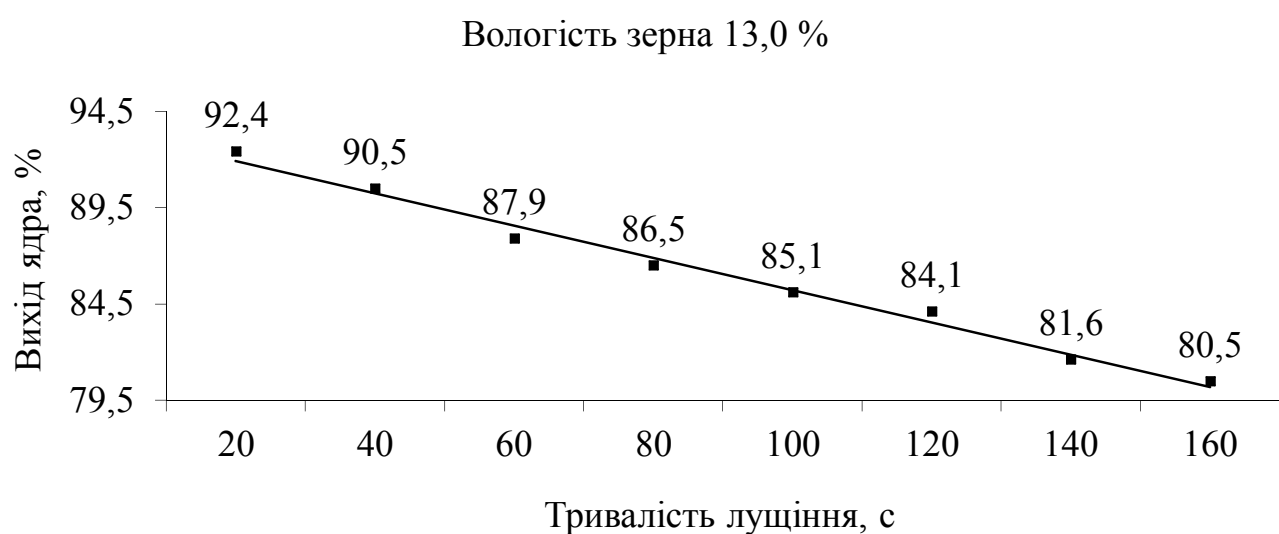
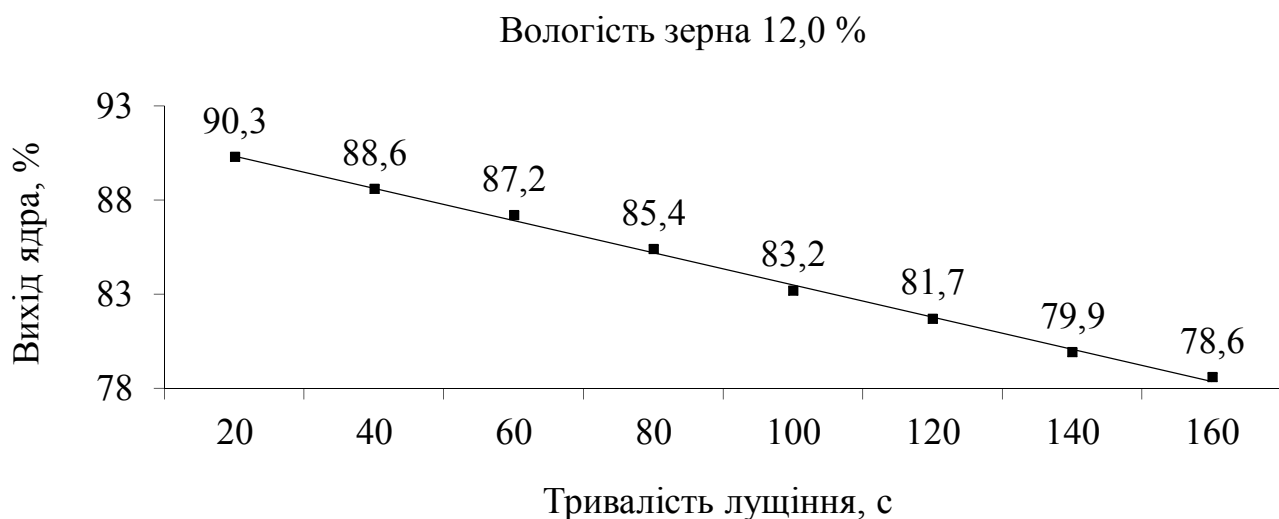


Рисунок 4.1 – Вихід крупи із зерна тритикале озимого сорту Стратег залежно від вологості зерна

Лушчення зерна вологістю 14,0 % впродовж 40 с, 80–120, і 160 с

зумовлювало менший вихід ядра відповідно на 0,3 %, 0,5, 0,9, 0,5 і 0,2 % порівняно із вологістю зерна 13,0 %. Із наведених результатів випливає, що інтенсивність зняття оболонки за сталої тривалості лущення від 20 до 160 с мала найвище значення за початкової вологості зерна 12,0 %. Зміна вологості з 12,0 % до 13,0–14,0 % неістотно підвищувало вихід готового продукту.

Зволоження зерна тритикале до 15,0 і 16,0 % підвищувало вихід ядра неістотно порівняно з сухим зерном (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вихід крупи із зерна тритикале озимого сорту Стратег залежно від вологості та тривалості відволоження, %

Тривалість лущення, с	Тривалість відволоження, хв			
	30	60	90	120
Вологість зерна 15,0 %				
20	92,8	93,6	93,7	93,6
40	90,0	90,6	90,7	90,6
60	87,8	88,7	88,5	88,2
80	86,8	87,8	88,1	87,6
100	85,0	85,7	86,1	86,3
120	84,2	85,0	85,1	84,6
140	81,5	83,2	83,0	83,6
160	80,7	81,6	81,7	81,9
Вологість зерна 16,0 %				
20	93,5	94,0	94,2	94,1
40	90,5	91,6	91,7	91,6
60	89,2	89,5	89,2	88,8
80	87,1	88,4	88,4	88,3
100	85,7	86,1	86,9	86,6
120	84,6	85,7	85,9	85,3
140	83,3	83,5	83,6	84,3
160	81,0	81,1	82,3	82,6

Під час виробництва крупи із зерна тритикале озимого сорту Тактик параметри водотеплового оброблення та тривалості луцення впливали на вихід крупи аналогічно.

За вологості 15,0 % і тривалості відволожування 30 хв, вихід ядра зменшувався за тривалості луцення впродовж 20–160 с з 92,8 % до 80,7 %. Збільшення тривалості відволожування до 60 хв зумовлювало збільшення виходу ядра на 0,6–1,8 %.

Збільшення тривалості відволожування з 30 хв до 90 хв зумовлювало підвищення виходу ядра на 0,76–1,52 %, а за тривалості відволожування 120 хв – на 0,47–2,14 % залежно від тривалості луцення.

Дослідженнями встановлено, що збільшення тривалості луцення зумовлювало підвищення вмісту мучки (рис. 4.2). Найвищий вихід мучки був за початкової вологості 12,0 % та змінювався від 3,5 % до 13,1 % залежно від тривалості луцення. Проте, підвищення вологості з 12,0 % до 14,0 % зумовлювало зменшення виходу мучки на 0,4–2,0 %. Найменша кількість мучки була під час луцення зерна за вологості 15,0–16,0 % (табл. 4.2).

За початкової вологості зерна 15,0 % та тривалості відволожування 30 хв, вихід мучки зменшувався на 0,7–2,0 % порівняно із зерном, лущеним за вологості 12,0 %. Аналогічну тенденцію встановлено під час збільшення тривалості відволожування з 60 до 120 хв. Підвищення вологості з 15,0 % до 16,0 % зменшувало вміст мучки: за тривалості відволожування 30 хв на 0,2–1,8 %; 60 хв – на 0,4–0,9 %; 90 хв – на 0,3–0,9 %; 120 хв – на 0,4–0,8 %.

Дослідженнями встановлено, що вихід дрібки та тривалість луцення мали пряму кореляційну залежність, а підвищення вологості зумовлювало неістотне зменшення дрібки (рис. 4.3, табл. 4.3). Встановлено, що найменший вихід дрібки (6,4 %) був під час луцення зерна, що зволожували до 16,0 % та відволожували впродовж 120 хв.

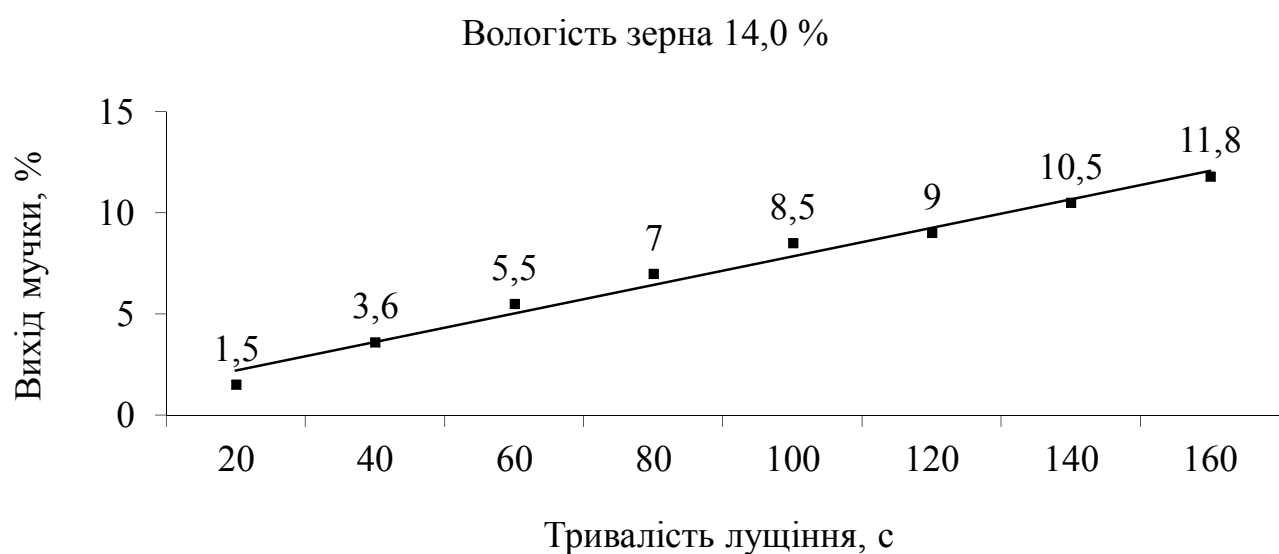
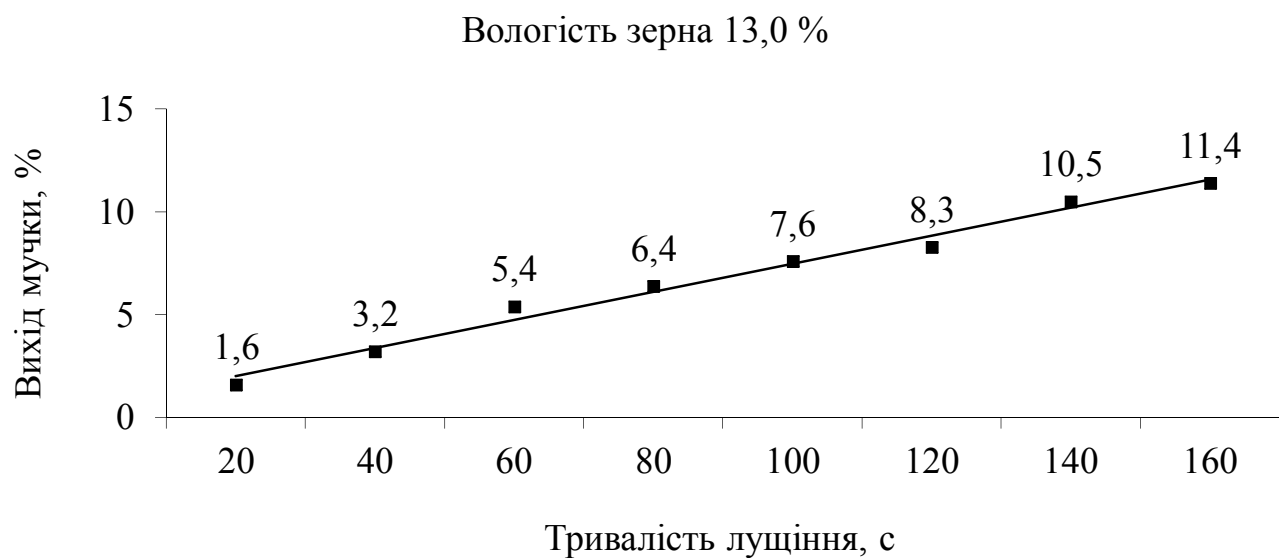
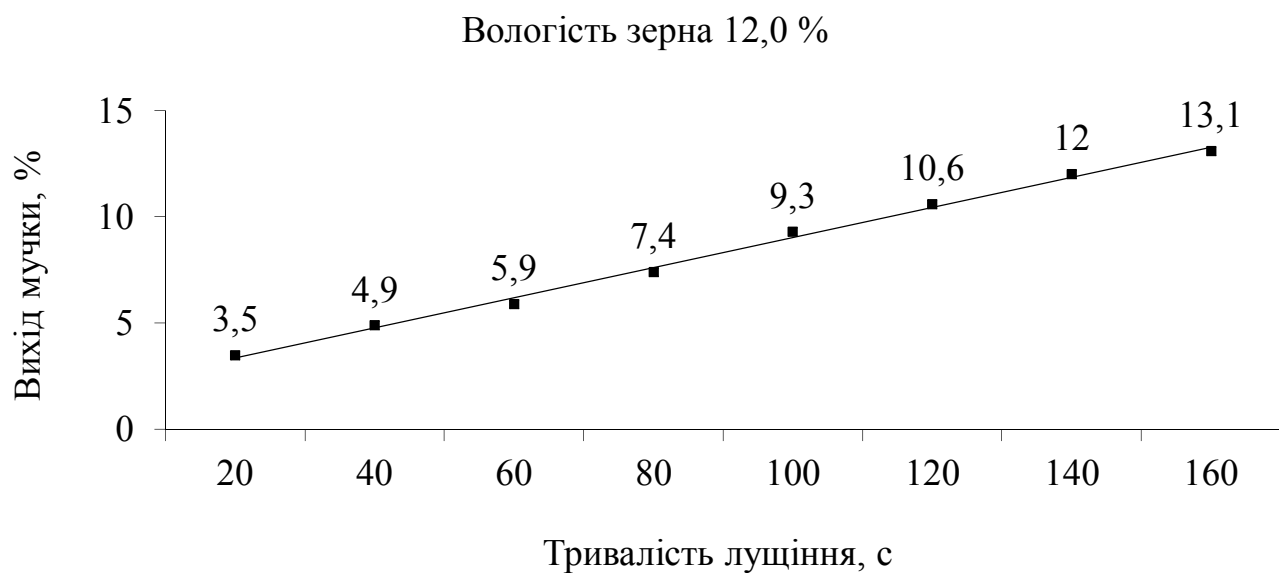


Рисунок 4.2 – Вихід мучки кормової під час виробництва крупи із зерна тритикале озимого сорту Стратег залежно від вологості зерна

Таблиця 4.2 – Вихід мучки кормової під час виробництва крупи із зерна тритикале озимого сорту Стратег залежно від вологості та тривалості відволожування, %

Тривалість лущення, с	Тривалість відволожування, хв			
	30	60	90	120
Вологість зерна 15,0 %				
20	1,5	0,8	0,7	0,9
40	4,0	3,5	3,4	3,6
60	5,9	5,1	5,3	5,7
80	6,7	5,9	5,7	6,3
100	8,3	7,8	7,5	7,4
120	8,8	8,1	8,0	8,6
140	11,3	9,8	10,0	9,5
160	11,8	11,0	10,9	10,9
Вологість зерна 16,0 %				
20	0,8	0,4	0,3	0,5
40	3,6	2,6	2,6	2,8
60	4,5	4,4	4,8	5,3
80	6,5	5,3	5,4	5,6
100	7,6	7,3	6,6	7,0
120	8,4	7,4	7,4	8,0
140	9,5	9,4	9,4	8,8
160	11,5	11,5	10,5	10,2

Найбільший вихід дрібки (7,6 %) був під час лушення зерна за початкової вологості 13,0 %. Вихід дрібки та мучки під час виробництва крупи із зерна тритикале сорту Тактик були аналогічними значенням, що отримували під час виробництва крупи із зерна тритикале сорту Стратег для ідентичних режимів водотеплового оброблення та параметрів лушення.

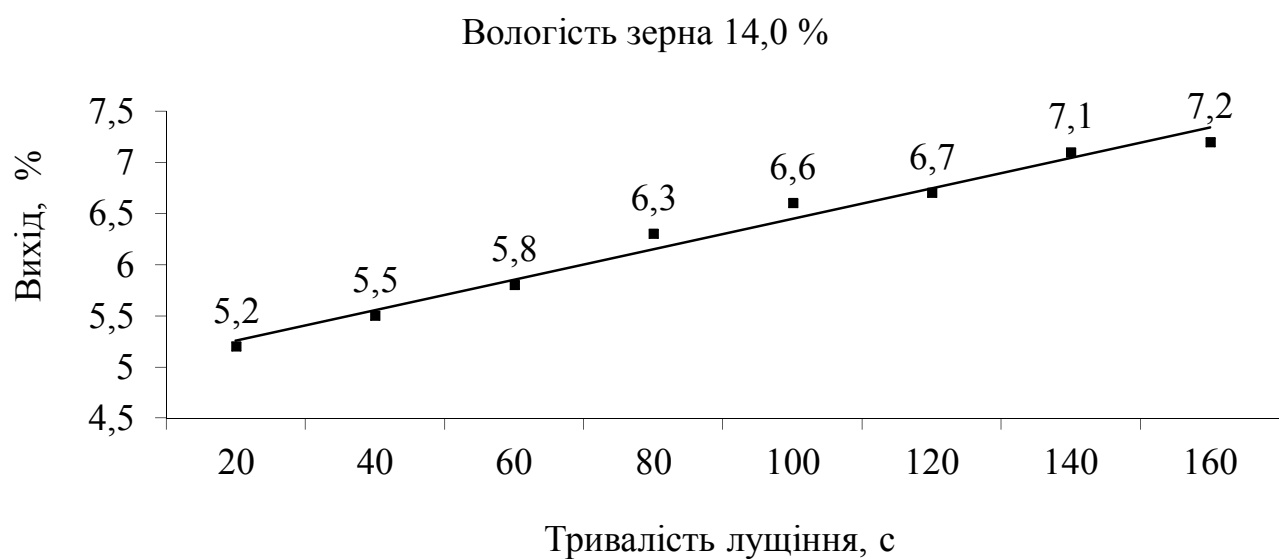
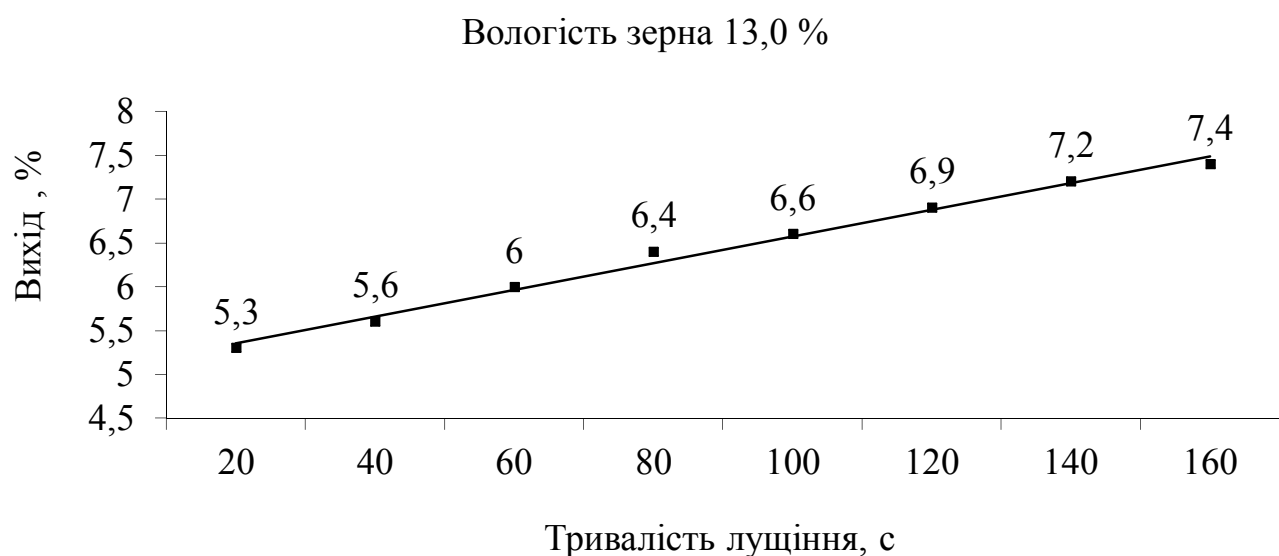
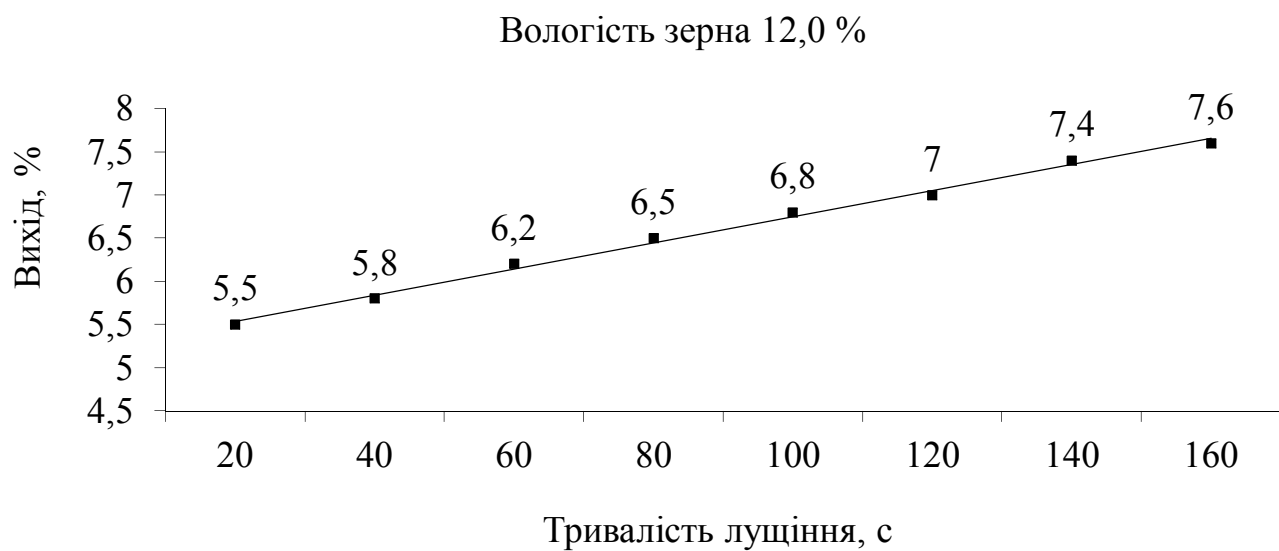


Рисунок 4.3 – Вихід дрібки під час виробництва крупи із зерна тритикале озимого сорту Стратег залежно від вологості зерна

Таблиця 4.3 – Вихід дрібки під час виробництва крупи із зерна тритикале озимого сорту Стратег залежно від вологості та тривалості відволожування, %

Тривалість луцнення, с	Тривалість відволожування, хв			
	30	60	90	120
Вологість зерна 15,0 %				
20	5,0	4,9	4,8	4,7
40	5,3	5,2	5,1	5,0
60	5,6	5,5	5,4	5,3
80	5,8	5,6	5,5	5,4
100	6,0	5,8	5,7	5,5
120	6,3	6,2	6,1	6,0
140	6,5	6,3	6,2	6,1
160	6,8	6,7	6,6	6,5
Вологість зерна 16,0 %				
20	5,0	4,8	4,7	4,6
40	5,2	5,0	4,9	4,8
60	5,5	5,4	5,2	5,2
80	5,7	5,5	5,4	5,3
100	6,0	5,8	5,7	5,6
120	6,2	6,1	6,0	5,9
140	6,4	6,3	6,2	6,1
160	6,7	6,6	6,5	6,4

Основними критеріями оцінки ефективності виробництва крупи із тритикале були: вихід крупи, мучки та дрібки. Параметрами удосконалення були: тривалість луцнення, вологість зерна та тривалість його відволожування, рівні та кроки яких вказані в таблиці 4.4.

У загальному вигляді функції представляли так:

$$F = f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.1)$$

$$M = f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.2)$$

$$D = f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.3)$$

де F – вихід крупи, %;

M – вихід мучки, %;

D – вихід дрібки, %;

X_1 – тривалість луцення, с;

X_2 – вологість, %;

X_3 – тривалість відволожування, хв.

Таблиця 4.4 – Рівні та крок варіювання

Показник/параметр	Позначення	X_1	X_2	X_3
Нульовий рівень	X_0	90	14	75
Верхній рівень	X_+	160	16	120
Нижній рівень	X_-	20	12	30
Інтервал вимірювань	λ	20	1	30

Рівняння отримували відповідно до теорії Тейлора:

$$F, M, D = V_0 + V_1 X_1 + V_2 X_2 + V_3 X_3 + V_4 X_1^2 + V_5 X_2^2 + V_6 X_3^2 + V_7 X_1 X_2 + V_8 X_1 X_3 + V_9 X_2 X_3; \quad (4.4)$$

де: $V_0, V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_7, V_8, V_9$ – коефіцієнти регресії.

Матрицю експерименту у розкодованому вигляді оброблено у програмі Statistica 10, проведено перевірку моделей на адекватність, відсутність автокореляції та встановлені суттєві коефіцієнти регресії (табл. 4.5, табл. 4.6).

Таблиця 4.5 – Показники перевірки моделей

Показник	F	M	D
R	0,99	0,98	0,99
R^2	0,98	0,97	0,99
R (скорегований)	0,98	0,97	0,95
F(9.78)	497	348	992
p	0	0	0
DW	1,64	1,60	1,65

Таблиця 4.6 – Результати оброблення експериментальних даних у надбудові програми Statistica 10 під час моделювання виходу крупи

Показник	Значення В	Відхилення В	t(78)	Значення похибки
B ₀	55,2828	11,38508	4,85573	0,000006
B ₁	-0,1073	0,01945	-5,51938	0,000000
B ₂	5,2565	1,65499	3,17617	0,002138
B ₃	-0,1252	0,04419	-2,83414	0,005848
B ₄	0,0001	0,00003	4,78585	0,000008
B ₅	-0,1750	0,06026	-2,90536	0,004771
B ₆	-0,0001	0,00006	-1,92114	0,058368
B ₇	-0,0003	0,00134	-0,27569	0,783517
B ₈	0,00007	0,00004	1,76851	0,080886
B ₉	0,0093	0,00315	2,97340	0,003917

Примітка. Шрифт жирний – значення суттєві.

Тоді функціональна залежність виходу крупи залежно від тривалості лушення, вологості та тривалості відволожування набувала вигляду:

$$F=55,2828-0,1073X_1+5,2565X_2-0,1252X_3+0,0001X_1^2-0,175 X_2^2+0,0093X_2X_3; \quad (4.5)$$

Як видно із формули 4.5, найбільше на вихід крупи впливала тривалість лушення зерна, тоді як вологість та тривалість відволожування – неістотно.

Встановлено, що для функції M, коефіцієнти регресії B₀, B₁, B₂, B₃, B₄, B₅ і B₆ були істотними (табл. 4.7). Функціональна залежність виходу мучки залежно від тривалості лушення, вологості та тривалості відволожування набувала вигляду:

$$M=35,3478+0,0843X_1-4,8153X_2+0,1367X_3-0,0001X_1^2+0,1624 X_2^2-0,0097X_2X_3; \quad (4.6)$$

Вплив параметрів лушення та водотеплового оброблення на вихід мучки був подібним до дії цих параметрів на вихід крупи, проте отримані коефіцієнти регресії були обернено пропорційними. Для функції D істотними були такі коефіцієнти регресії: B₀, B₁, B₂, B₃, B₆, B₇ і B₈ (табл. 4.8).

Таблиця 4.7 – Результати оброблення експериментальних даних у надбудові програми Statistica 10 під час моделювання виходу мучки

Показник	Значення В	Відхилення В	t(78)	Значення похибки
B ₀	35,3478	11,29680	3,12901	0,002467
B ₁	0,0843	0,01930	4,37203	0,000038
B ₂	-4,8153	1,64216	-2,93235	0,004414
B ₃	0,1367	0,04384	3,11888	0,002544
B ₄	-0,0001	0,00003	-4,67586	0,000012
B ₅	0,1624	0,05979	2,71627	0,008128
B ₆	0,00009	0,00006	1,56074	0,122634
B ₇	0,00094	0,00133	0,70635	0,482077
B ₈	-0,00006	0,00004	-1,51408	0,134047
B ₉	-0,0097	0,00313	-3,10546	0,002648

Примітка. Шрифт жирний – значення суттєві.

Таблиця 4.8 – Результати оброблення експериментальних даних у надбудові програми Statistica 10 під час моделювання виходу дрібки

Показник	Значення В	Відхилення В	t(78)	Значення похибки
B ₀	8,6693	1,445388	5,99790	0,000000
B ₁	0,02297	0,002469	9,30445	0,000000
B ₂	-0,44115	0,210109	-2,09966	0,038992
B ₃	-0,01151	0,005610	-2,05237	0,043488
B ₄	-0,000005	0,000004	-1,15194	0,252866
B ₅	0,01266	0,007650	1,65531	0,101879
B ₆	0,00002	0,000008	2,93416	0,004391
B ₇	-0,00057	0,000170	-3,34908	0,001251
B ₈	-0,00001	0,000005	-2,09655	0,039275
B ₉	0,00034	0,000400	0,85055	0,397625

Примітка. Шрифт жирний – значення суттєві.

Залежність виходу дрібки залежно від тривалості лушення, вологості та тривалості відволожування набувала вигляду:

$$D=8,6693+0,02297X_1-0,44115X_2-0,01151X_3+0,00002X_3^2-0,00057X_1X_2-0,00001X_1X_3(4.7)$$

Із формул 4.5–4.7 випливає що на всі досліджені критерії ефективності виробництва крупи (вихід крупи, мучки та дрібки) істотно впливали тривалість лушення та вологість, а тривалість відволожування зумовлювала неістотний вплив. Тому площини відклику цих функцій були побудовані з фіксацією найменш суттєвого показника на мінімальному рівні (рис. 4.4–4.6).

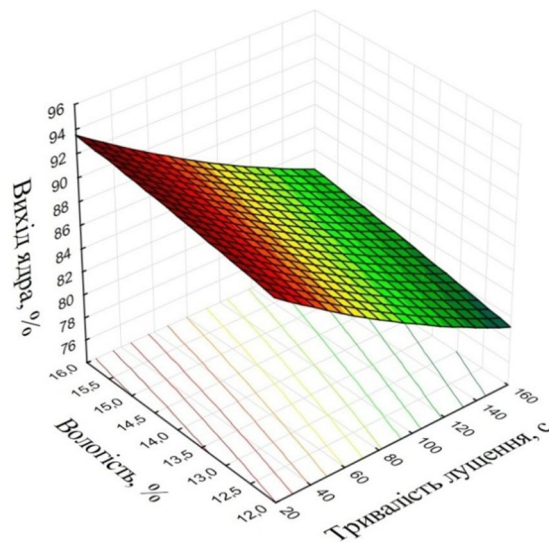


Рисунок 4.4 – Вихід ядра залежно від вологості та тривалості лушення зерна тритикале (тривалість відволожування – 30 хв)

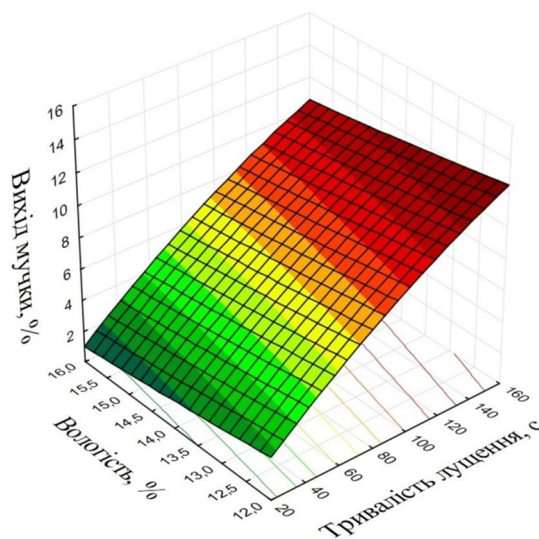
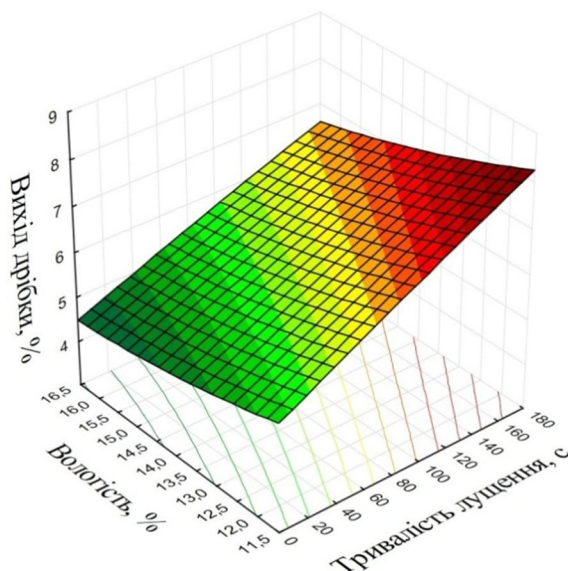


Рисунок 4.5 – Вихід мучки залежно від тривалості лушення та вологості зерна тритикале (тривалість відволожування – 30 хв)



**Рисунок 4.6 – Вихід дрібки залежно від тривалості лушення та вологості
(тривалість відволожування – 30 хв)**

Із площин відклику випливає, що всі досліджувані чинники мали вплив на технічні параметри виробництва.

Відомо, що основний вплив на кулінарну оцінку каші із зерна тритикале зумовлює вміст оболонок, тому що вони містять високий вміст клітковини [5, 48]. Під час перероблення зерна на крупу оболонки частково виділяють на оббивних машинах ударно-стираючої дії під час лушення, шліфування та полірування.

Встановлено, що під час сухого оброблення поверхні зерна, ефективним є використання устаткування, придатного для сумісної реалізації операцій лушення та шліфування [14].

Високий вміст оболонок знижує загальну органолептичну оцінку крупи. Проте, за вилучення 5–6 % оболонок від загальної маси можна отримати продукт, який має приємний запах, смак і високу харчову цінність [25]. Тому було доцільно встановити вплив тривалості лушення зерна тритикале у луцильно-шліфувальних машинах на кулінарну оцінку отриманих круп'яних продуктів на основі існуючих технологій.

Зерно тритикале, маючи м'якозерну структуру, за геометричними розмірами наближалось до зерна пшениці м'якої.

Сучасною технологією перероблення зерна пшениці передбачено виробництво крупів із м'якої пшениці подрібнених № 1, 2, 3 (вихід готового продукту до 60 %).

Продукти, що отримані під час перероблення зерна тритикале рекомендовано називати крупи із тритикале подрібнені № 1, 2, 3 по аналогії з крупами із м'якої пшениці подрібненими і шліфованими № 1, 2, 3 відповідно до термінології правил організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. Характеристика крупів із зерна тритикале за крупністю повинна відповідати вимогам наведених у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Характеристика крупів із тритикале подрібнених № 1, 2 і 3 за крупністю

Номер крупів	Діаметри отворів двох суміжних пробивних сит, мм		Норма проходу та сходу двох суміжних сит, %, не менше
	прохід	схід	
№1	3,5	2,0	70
№2	2,0	1,5	70
№3	1,5	063	70

Крупа із тритикале подрібнена № 1 характеризувалась високою тривалістю варіння, що становила від 42 до 62 хв залежно від тривалості луцання зерна.

Нелущене зерно варилося найдовше (на 5 хв довше порівняно із зерном лущеним упродовж 20 с) (табл. 4.10). Зміна тривалості варіння каші пояснюється тим, що в результаті луцання пошкоджується захисний шар зернівки і проникнення вологи відбувається інтенсивніше.

Дослідженнями встановлено, що каша із зерна тритикале мала дуже високу оцінку запаху, смаку та консистенції, що не змінювалась залежно від тривалості луцання та становила 9 балів. Проте показник кольору змінювався від низького до високого залежно від тривалості луцання, що пояснюється відмінністю забарвлення ендосперму та оболонки. Консистенції каші під час розжовування

також залежала від тривалості лушення, а її оцінка була низькою у всіх досліджуваних зразках.

Таблиця 4.10 – Основні показники органолептичної оцінки крупи із тритикале подрібненої № 1, балів

Показник	Тривалість лушення, с								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
Тривалість варіння каші, хв	67	62	60	55	52	50	48	45	42
Запах, бал	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Колір, бал	2	3	3	3	5	5	8	8	8
Смак, бал	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Консистенція каші, бал	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Консистенція під час розжовування, бал	1	2	2	2	3	3	4	5	5
Загальна кулінарна оцінка, бал	6,0	6,4	6,4	6,4	7,0	7,0	7,8	8,0	8,0

Загальна кулінарна оцінка каші із зерна тритикале варіювала від низької до високої залежно від тривалості лушення. Проте встановлено, що інтенсивність покращення загальної органолептичної оцінки зменшувалась за тривалості лушення впродовж 120–160 с, а за тривалості лушення 140–160 с – була незмінною.

Нині, в умовах ринкового середовища основним критерієм ефективного функціонування підприємства є попит на його продукцію, що формується її вартістю, якістю та споживчими характеристиками. Тому для підвищення конкурентоспроможності нового круп'яного продукту доцільно лушити зерно тритикале впродовж 120 с, що відповідає індексу лушення 9,0 % за початкової вологості зерна 14,0 %, індексу лушення 8,3 % – за початкової вологості зерна 13,0 % і 10,6 % – за початкової вологості зерна 12,0 %.

Після лушення зерна тритикале загальна органолептична оцінка отриманих продуктів була високою, тому наступне проведення шліфування та полірування

недоцільне, оскільки зумовлює зниження виходу круп'яних продуктів та підвищує їх вартість.

Найвищий вихід крупи із тритикале подрібненої № 1 був за початкової вологості 13,0 % (індекс луцення 8,3 %) і становив 84,1 % проти 81,7 % за початкової вологості 12,0 % (індекс луцення 10,6 %) (табл. 4.11). Вміст мучки змінювався залежно від початкової вологості обернено пропорційно до виходу крупи та становив 8,3–10,6 %.

Таблиця 4.11 – Вихід крупи із тритикале подрібненої №1 за різної початкової вологості зерна

Показник	Крупи із тритикале		
	Початкова вологість, %		
	12,0	13,0	14,0
Вихід крупи № 1, %	81,7	84,1	83,6
Мучка кормова, %	10,6	8,3	9,0
Дрібка, %	7,0	6,9	6,7
Механічні втрати, %	0,7	0,7	0,7

Виробництво крупів тритикалевих подрібнених № 2 і 3 здійснювали на круп'яному цеху УКР–2. Індекс луцення зерна становив 9 % за початкової вологості сировини 14,0 %.

Встановлено, що вихід крупи із тритикале подрібненої № 2 був вищий на 15,5–17,9 %, а крупи із тритикале подрібненої № 3 на 3,6–4,2 % порівняно з виходом крупів із м'якої пшениці подрібнених і шліфованих № 1, 2, 3 залежно від початкової вологості сировини (табл. 4.12). Загальний вихід крупів із зерна тритикале перевищував вихід пшеничних подрібнених і шліфованих крупів вироблених із м'якої пшениці на 14,1–17,1 %.

Порівняльною характеристикою кулінарної оцінки крупи тритикалевої подрібненої № 1, 2 і 3 встановлено, що за сталого індексу луцення зерна (9 %), отримані продукти істотно відрізняються за органолептичними показниками та тривалістю варіння (табл. 4.13). Тривалість варіння крупів із тритикале

подрібнених № 2 і 3 була меншою в два рази (22–25 хв) порівняно із крупами із тритикале подрібненими № 1 (48 хв).

Таблиця 4.12 – Кількісний вихід крупів із тритикале подрібнених № 2 і 3

Показник	Крупи із тритикале		
	Початкова вологість, %		
	12,0	13,0	14,0
Крупа № 2, %	58,5	60,9	60,2
Крупа № 3, %	15,6	16,2	16,1
Всього крупів, %	74,1	77,1	76,3
Мучка, %	19,9	16,9	17,7
Відходи I і II кат., %	5,3	5,3	5,3
Механічні втрати, %	0,7	0,7	0,7
Всього, %	100	100	100

Таблиця 4.13 – Показники органолептичної оцінки крупів із тритикале подрібнених № 1, 2, 3

Показник	Крупа із тритикале подрібнена		
	№ 1	№ 2	№ 3
Тривалість варіння каші, хв	48	25	22
Запах, бал	9	9	9
Колір, бал	8	8	8
Смак, бал	9	9	9
Консистенція каші, бал	9	9	9
Консистенція під час розжовування, бал	4	8	9
Загальна кулінарна оцінка, бал	7,8	8,6	8,8

Встановлено, що крупи із тритикале подрібнені № 2 і 3 мали у два рази кращі показники консистенції каші під час розжовування порівняно із крупою

№ 1, що становили відповідно 8–9 і 4 бали. Загальна кулінарна оцінка крупів подрібнених була на 0,8–1,0 бали вищою порівно із крупою із тритикале подрібненою № 1 та становила 8,6–8,8 бали.

Отже, дослідженнями встановлено, що крупи із тритикале подрібнені № 2 і 3 характеризувались високими показниками якості та можуть бути конкурентоспроможними в умовах сучасного ринкового середовища. Крупа із тритикале подрібнена № 1 мала низьку кулінарну оцінку та велику тривалість варіння порівняно з подрібненими крупами. Це зумовлює необхідність її подальшого перероблення на крупи плющені, що користуються більшим попитом.

4.2 Вплив тривалості пропарювання, відволожування та лушення зерна на вихід та якість крупи тритикалевої плющеної

Енерговитрати на виробництво крупів плющених менші порівняно із борошномельним виробництвом, що вигідно вирізняє цю галузь для ефективної підприємницької діяльності [2, 37].

На відміну від стандартних круп'яних продуктів, встановлено ріст попиту на крупи плющені, отримані з цілого зерна, які мають меншу калорійність, більший вміст вітамінів і мінеральних речовин [45].

Із джерел літератури відомо, що під час гарячого кондиціювання зерна пшениці та правильного підбору температури, тривалості експозиції та часу відволожування, фізичні властивості готового продукту покращуються, а ефективність технологічного процесу підвищується [26].

Круп'яний продукт отриманий, у результаті моделювання технології перероблення зерна тритикале в лабораторних умовах, називали крупа тритикалева плющена за аналогією до крупи вівсяної плющеної відповідно до термінології правил організації та ведення технологічного процесу на круп'яних заводах.

Вихід крупи плющеної за початкової вологості сировини 14,0 % залежав

від тривалості лушення, пропарювання та відволожування (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Вихід плющеної крупи із зерна тритикале озимого залежно від тривалості пропарювання та відволожування, %

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв								
		5			10			15		
		Тривалість відволожування, хв								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0	0,0	98,1	98,5	98,7	98,5	98,6	98,8	98,9	98,8	98,7
20	1,5	96,8	97,2	97,4	97,2	97,3	97,5	97,6	97,5	97,4
40	3,6	96,5	97,0	97,1	97,0	97,4	97,5	97,4	97,5	97,6
60	5,5	94,8	95,8	96,0	96,8	97,8	98,0	98,2	98,8	97,8
80	7,0	93,4	94,1	95,0	95,7	96,8	97,6	97,2	97,8	97,5
100	8,5	93,3	94,0	94,5	95,6	96,7	97,5	97,9	98,0	97,8
120	9,0	92,8	92,9	92,9	95,8	96,5	96,7	96,6	96,3	96,8
140	10,5	92,6	92,6	92,9	95,5	96,2	96,2	96,4	96,0	96,1
160	11,8	92,3	92,7	93,8	94,1	95,4	95,1	94,0	95,2	95,9

Збільшення тривалості лушення зерна тритикале знижувало вихід крупи та не змінювалось залежно від режимів пропарювання. Так, за 20-секундного лушення та пропарювання і відволожування лушеного зерна впродовж 5 хв вихід крупи становив 96,8 % і знижувався до 92,3 % за тривалості лушення 160 с. Подібні закономірності одержано за тривалості пропарювання і відволожування впродовж 10–15 хв.

Встановлено, що під час перероблення зерна (тривалість лушення 20–60 с) на крупу плющену найвищий її вихід (97,4–98,9 %) був після пропарювання зерна впродовж 15 хв з наступним його відволожуванням упродовж 5 хв. Проте найвищий вихід крупи плющеної, виробленої із зерна лушеного впродовж 80–100 с був за тривалості пропарювання впродовж 15 хв та тривалості

відволожування – 10 хв. Пропарювання та відволожування лущеного зерна (тривалість лущення 120–160 с) упродовж 15 хв зумовлювало найвищий вихід крупи плющеної, що становив від 95,9 до 96,8 %.

Найменший вихід крупи плющеної був за мінімальної тривалості пропарювання та відволожування, що становили 5 хв. Він змінювався від 92,3 до 98,1 % залежно від тривалості лущення.

Відповідний вихід крупи тритикалевої плющеної, виробленої за мінімальних режимів пропарювання був зумовлений низьким ступенем клейстеризації крохмальних зерен, що підвищувало вміст дрібки та мучки, крім цього відомо, що величина пружного відновлення товщини пластівців залежить від тривалості пропарювання та меншою мірою від тривалості відволожування [31, 41].

Абсолютне відхилення між мінімальним і максимальним значенням виходу крупи тритикалевої плющеної залежно від режимів водотеплового оброблення підвищувалось за тривалості лущення від 20 до 100 с відповідно з 0,8 до 4,7 %, тоді як подальше збільшення тривалості лущення з 120 до 160 с зумовлювало зменшення відповідного відхилення з 4,0 до 3,6 %. Із наведеного випливає, що ефективність проведення водотеплового оброблення підвищується за збільшення тривалості лущення. Це зумовлено тим, що вихід дрібки збільшується прямо пропорційно до тривалості лущення.

Встановлено, що за збільшення тривалості лущення від 20 до 160 с, вихід мучки зростав від 0,16 % до 3,46 % залежно від режиму водотеплового оброблення (табл. 4.15).

У результаті збільшення тривалості пропарювання та відволожування вихід мучки зменшувався в наслідок вищого ступеню клейстеризації крохмалю. Ця тенденція залишалась незмінною залежно від тривалості лущення. Встановлено, що у нелущеному зерні вихід мучки був мінімальним та не залежав від режиму водотеплового оброблення.

Таблиця 4.15 – Вихід мучки залежно від тривалості пропарювання та відволожування, %

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв								
		5			10			15		
		Тривалість відволожування, хв								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0	0,0	0,28	0,22	0,19	0,22	0,21	0,18	0,16	0,18	0,19
20	1,5	0,48	0,42	0,39	0,42	0,40	0,37	0,36	0,37	0,39
40	3,6	0,70	0,60	0,58	0,60	0,52	0,50	0,52	0,50	0,48
60	5,5	1,45	1,17	1,12	0,89	0,61	0,56	0,50	0,33	0,61
80	7,0	1,98	1,77	1,50	1,29	0,96	0,72	0,84	0,66	0,75
100	8,5	2,34	2,10	1,92	1,54	1,15	0,87	0,73	0,70	0,77
120	9,0	2,73	2,69	2,69	1,59	1,33	1,25	1,29	1,40	1,21
140	10,5	2,96	2,96	2,84	1,80	1,52	1,52	1,44	1,60	1,56
160	11,8	3,46	3,28	2,79	2,65	2,07	2,20	2,70	2,16	1,84

Злиплі та подрібнені пластівці становили відходи I і II категорій, що отримували сходом сита Ø 6,0 мм і проходом сита Ø 3,5 мм (табл. 4.16). Встановлено, що найменший вихід відходів мала крупа плющена, вироблена із зерна з найменшою тривалістю лушення. Найвищий вихід відходів був у крупі, що отримували із зерна найвищого ступеню лушення. Підвищення індексу лушення від 1,5 до 11,8 % зумовлювало збільшення виходу відходів, проте зміна тривалості пропарювання та відволожування з 5 до 15 хв зумовлювала незначне їх зниження.

Вологість крупи плющеної істотно змінювалась залежно від тривалості лушення, тривалості пропарювання та відволожування (табл. 4.17).

Таблиця 4.16 – Вміст відходів I і II категорії у крупі з зерна тритикале озимого залежно від тривалості пропарювання та відволожування, %

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв								
		5			10			15		
		Тривалість відволожування, хв								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0	0,0	1,6	1,2	1,1	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1
20	1,5	2,7	2,3	2,2	2,3	2,2	2,1	2,0	2,1	2,2
40	3,6	2,8	2,4	2,3	2,4	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9
60	5,5	3,7	3,0	2,8	2,3	1,5	1,4	1,2	0,8	1,5
80	7,0	4,6	4,1	3,5	3,0	2,2	1,6	1,9	1,5	1,7
100	8,5	4,3	3,9	3,5	2,8	2,1	1,6	1,3	1,3	1,4
120	9,0	4,4	4,4	4,4	2,6	2,1	2,0	2,1	2,2	1,9
140	10,5	4,4	4,4	4,2	2,7	2,2	2,2	2,1	2,4	2,3
160	11,8	4,2	4,0	3,4	3,2	2,5	2,6	3,3	2,6	2,2

Вологість плющеної крупі підвищувалась у результаті збільшення експозиції пропарювання та відволожування з 5 до 15 хв. Це пояснюється кращим проникненням вологи з периферійних частин до центру ендосперму в результаті часового чинника. Відповідна тенденція не змінювалась залежно від тривалості лушення.

Встановлено, що збільшення тривалості лушення з 20 до 160 с зумовлювало прямо пропорційне підвищення вологості за однакових режимів водотеплового оброблення. У результаті пропарювання впродовж 5 хв найвища вологість (26,1–27,9 %) була у крупі з тривалістю лушення 160 с, а найнижча (16,8–19,2 %) – за тривалості лушення 20 с.

Відповідно до правил організації та ведення технологічного процесу на

круп'яних заводах вологість крупи перед плющенням має становити 23,0–25,0 %.

Таблиця 4.17 – Вологість крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості лушення, пропарювання та відволожування, %

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв								
		5			10			15		
		Тривалість відволожування, хв								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0	0,0	16,2	17,3	18,6	18,6	19,4	20,7	21,6	22,8	23,9
20	1,5	16,8	17,8	19,2	19,2	20,0	21,4	22,2	23,2	24,5
40	3,6	16,9	17,9	19,5	19,3	20,3	21,7	22,5	23,6	25,0
60	5,5	18,0	19,1	20,6	20,4	21,5	22,9	23,7	25,0	26,8
80	7,0	19,4	19,9	20,0	21,7	22,1	22,9	23,8	24,9	26,9
100	8,5	22,0	22,8	23,7	23,5	24,0	25,6	25,1	26,2	26,9
120	9,0	24,9	25,5	26,0	25,1	26,7	27,0	27,9	28,5	29,7
140	10,5	25,9	26,7	27,1	26,2	26,6	27,1	27,8	28,7	29,9
160	11,8	26,1	27,2	27,9	27,0	28,2	28,6	29,0	29,9	30,0

Проте відповідно до існуючих технологій, вологість крупи після водотеплового оброблення становить 28,0–29,0 % та вимагає додаткового сушіння. В умовах сучасної ринкової економіки збільшення енергозатрат на проведення водотеплового оброблення на круп'яних заводах малої продуктивності економічно неефективно, тому було доцільно встановити параметри лушення та режими водотеплового оброблення із кінцевою вологістю сировини від 23,0 до 25,0 %.

Відповідну вологість мало зерно, що було лушене впродовж 20–40 с, пропарене впродовж 15 хв з наступним його відволожуванням 10–15 хв. Зерно

лущене впродовж 60–80 с мало вологість 22,9 % після його пропарювання впродовж 10 хв та 15-ти хвилинним відволожуванням. Пропарювання зерна (тривалість лущення 60–80 с) упродовж 15 хв та його відволожування 5–10 хв зумовлювало підвищення його вологості до 23,7–24,9 %. Зерно, лущене впродовж 100 с мало вологість від 22,8 до 25,1 % у результаті його пропарювання упродовж 5 хв та відволожуванням 10–15 хв, пропарювання упродовж 10 хв та відволожуванням 5–10 хв і пропарювання упродовж 15 хв та відволожуванням 5 хв. Зерно, лущене упродовж 120 с мало вологість 24,9–25,1 % після його пропарювання упродовж 5–10 хв та мінімальної тривалості відволожування.

4.3 Бальна та органолептична оцінка тривалості варіння каші із крупи тритикале

Встановлено, що тривалість варіння каші із зерна тритикале нижча за базисні норми на 0,02–0,25 год залежно від тривалості лущення та режиму водотеплового оброблення, що пояснюється м'якозерним типом зерна чотиривидового тритикале.

Тривалість варіння каші не залежала від тривалості відволожування та неістотно зменшувалась у наслідок збільшення тривалості пропарювання, проте істотно варіювала залежно від індексу лущення зерна.

За тривалості лущення 20 с і пропарювання впродовж 5 хв, тривалість варіння була найвищою та становила 0,40 год, проте зі збільшенням тривалості лущення до 160 с, вона зменшувалась до 0,20 год (табл. 4.18). За тривалості пропарювання впродовж 5–10 хв, ця тенденція не змінювалась. Встановлено, що високу швидкість варіння мали зразки із вищим індексом лущення.

Таблиця 4.18 – Тривалість варіння крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості лушення, пропарювання та відволожування, хв

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв								
		5			10			15		
		Тривалість відволожування, хв								
		5	10	15	5	10	15	5	10	15
0	0,0	31	31	31	30	30	30	29	29	29
20	1,5	24	24	24	23	23	23	22	22	22
40	3,6	20	20	20	19	19	19	18	18	18
60	5,5	19	19	19	19	19	19	18	18	18
80	7,0	17	17	17	16	16	16	15	15	15
100	8,5	17	17	17	17	17	17	16	16	16
120	9,0	16	16	16	15	15	15	14	14	14
140	10,5	13	13	13	12	12	12	11	11	11
160	11,8	12	12	12	12	12	12	10	10	10

Консистенція каші змінювалась від нерозсипчастої до слабо розсипчастої залежно від тривалості лушення, що пояснюється відмінністю фізико-хімічних властивостей оболонки і ендосперму, проте не змінювалась залежно від режимів водотеплового оброблення (табл. 4.19).

Встановлено, що за тривалості пропарювання та відволожування зерна впродовж 5 хв, найгіршу консистенцію мала каша із тривалістю лушення 20–60 с, що відповідала трьом балам. Збільшення тривалості лушення до 120 с зумовлювало покращення консистенції до максимального значення, яке залишалось сталим за подальшого лушення впродовж 140–160 с. Подібну тенденцію отримано за тривалості відволожування та пропарювання впродовж 10–15 хв.

Таблиця 4.19 – Вплив тривалості лушення, пропарювання і відволожування на консистенцію каші з крупи тритикалевої плющеної під час розжовування

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв												
		5			10			15						
		Тривалість відволожування, хв												
		5	10	15	5	10	15	5	10	15				
0	0,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40	3,6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
60	5,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
80	7,0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
100	8,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
120	9,0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
140	10,5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
160	11,8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7

Лушення зерна впродовж 20–60 с забезпечувало отримання крупи світло-коричневого забарвлення, що відповідало трьом балам (табл. 4.20). Збільшення тривалості лушення зерна до 80–100 с зумовлювало появу кремового кольору каші, що відповідав оцінці п'ять балів, проте найвищу оцінку каші за кольором отримано за тривалості лушення 120–160 с, що відповідало дев'яти балам.

Смак та запах каші не змінювався залежно від індексу лушення та режиму водотеплового оброблення крупи та був сильно вираженим (дев'ять балів). Консистенція каші із крупи тритикалевої плющеної мала високу оцінку (дев'ять балів) та залишалася сталою незалежно від режимів водотеплового оброблення та лушення зерна.

Таблиця 4.20 – Колір каші з крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості лушення, пропарювання і відволожування

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв												
		5			10			15						
		Тривалість відволожування, хв												
		5	10	15	5	10	15	5	10	15				
0	0,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20	1,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
40	3,6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
60	5,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
80	7,0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
100	8,5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
120	9,0	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
140	10,5	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
160	11,8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Каша із зерна тритикале характеризувалась високою кулінарною оцінкою (табл. 4.21). Крупа, отримана з нелущеного зерна мала низьку кулінарну оцінку що становила 5,3 бали. Збільшення тривалості лушення зерна від 20 до 60 с підвищувало кулінарну оцінку до середнього значення (шість балів).

Отже, каша, що отримана із крупи з низьким індексом лушення (1,5–7,0 %) характеризувалась низькою загальною кулінарною оцінкою, що відповідала шістьом балам. Встановлено, що каша із високим вмістом оболонки характеризується дуже грудкуватою, з сильним хрустом і сильно жорсткою консистенцією під час розжовування та темно-коричневим кольором. Низькі показники органолептичної оцінки зумовлені підвищеним вмістом клітковини, що не була модифікована у результаті проведення водотеплового оброблення.

Проте загальна кулінарна оцінка зростала до дуже високої (8,6 бала) за 9,0–11,8%-го індексу лушення та не змінювалась залежно від режимів водотеплового оброблення.

Таблиця 4.21 – Загальна кулінарна оцінка крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості лушення, пропарювання та відволожування, бал

Тривалість лушення, с	Індекс лушення, %	Тривалість пропарювання, хв												
		5			10			15						
		Тривалість відволожування, хв												
		5	10	15	5	10	15	5	10	15				
0	0,0	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3
20	1,5	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
40	3,6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
60	5,5	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
80	7,0	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
100	8,5	7,0	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
120	9,0	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
140	10,5	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6
160	11,8	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6

Ефективність виробництва крупи тритикалевої плющеної оцінювали за виходом крупи, мучки, відходів I і II категорії, вологістю крупи після водотеплового оброблення, загальній кулінарній оцінці та тривалістю варіння каші.

Параметрами удосконалення були тривалість лушення, пропарювання та відволожування, рівні та кроки яких вказані в таблиці 4.22.

Таблиця 4.22 – Рівні та крок варіювання

Показник/параметр	Позначення	X ₁	X ₂	X ₃
Нульовий рівень	X ₀	10	10	90
Верхній рівень	X ₊	15	15	160
Нижній рівень	X ₋	5	5	20
Інтервал вимірювань	λ	5	5	20

У загальному вигляді функції представляли так:

$$F=f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.8)$$

$$M=f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.9)$$

$$E=f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.10)$$

$$W=f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.11)$$

$$O=f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.12)$$

$$J=f(X_1, X_2, X_3); \quad (4.13)$$

Де F – вихід крупи, %;

M – вихід мучки, %;

E – вихід відходів I і II категорії, %;

W – вологість крупи після пропарювання та відволожування, %;

O – загальна кулінарна оцінка, бал;

J – тривалість варіння, хв;

X₁ – тривалість пропарювання, хв;

X₂ – тривалість відволожування, хв;

X₃ – тривалість луцення, %.

Рівняння отримували, попередньо передбачивши справедливість моделей відповідно до теорії Тейлора за формулою 4.4.

Матрицю експерименту у розкодованому вигляді оброблено у надбудові Multiple Regression програми Statistica 10. Було проведено перевірку моделей на адекватність, відсутність автокореляції, встановлені суттєві коефіцієнти регресії та побудовані відповідні залежності:

$$F=93,7653 +0,7082 X_1-0,0482 X_3-0,0283 X_1^2+0,00197 X_1X_3 \quad (4.14)$$

$$M=1,49-0,233 X_1+0,0189X_3+0,0103X_1^2+0,00004X_3^2-0,0008X_1X_3-0,0002X_2X_3 \quad (4.15)$$

$$E= 4,4751-0,4753 X_1+0,0293 X_3+0,0179 X_1^2-0,001 X_1X_3 \quad (4.16)$$

$$W= 13,2303+0,0598 X_3+0,0204 X_1^2+0,0001 X_3^2-0,00235 X_1X_3 \quad (4.17)$$

$$O= 5,4756+0,0121 X_3+0,0006 X_3^2 \quad (4.18)$$

$$J=28,9622-0,1888 X_3+0,0005 X_3^2 \quad (4.19)$$

Із рівнянь 4.14–4.19 витікає, що тривалість відволожування пропареної крупи не впливала на ефективність круп'яного виробництва, оскільки коефіцієнти її регресії були неістотними. Тому під час побудови площин відклику вказаних функцій значення тривалості відволожування зафіксовано на мінімальному рівні (5 хв) (рис. 4.7– 4. 12).

Із побудованих площин відклику та аналізом зовнішнього вигляду круп'яних продуктів витікає, що тривалість луцення істотно впливала на якість крупи.

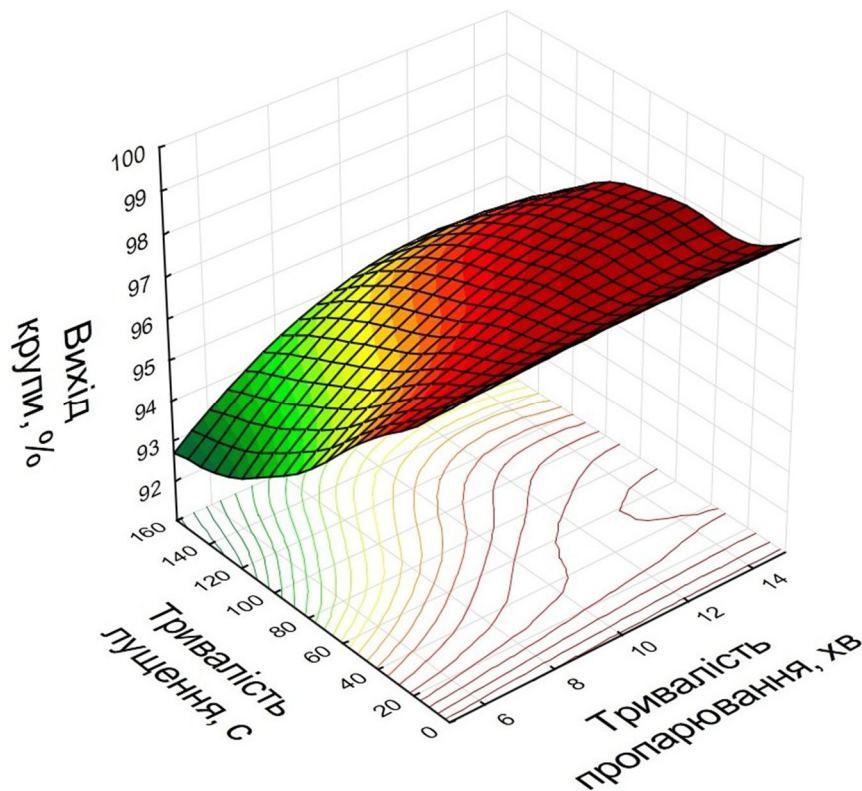


Рисунок 4.7 – Вихід крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості луцення та тривалості пропарювання (тривалість відволожування 5 хв)

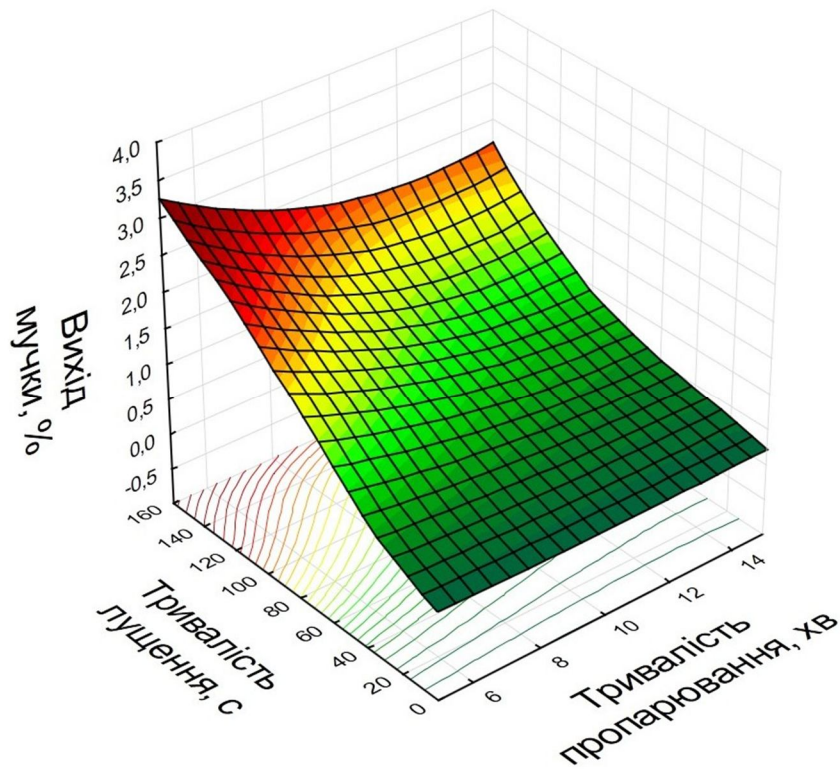


Рисунок 4.8 – Вихід мучки залежно від тривалості лушення та тривалості пропарювання (тривалість відволожування 5 хв)

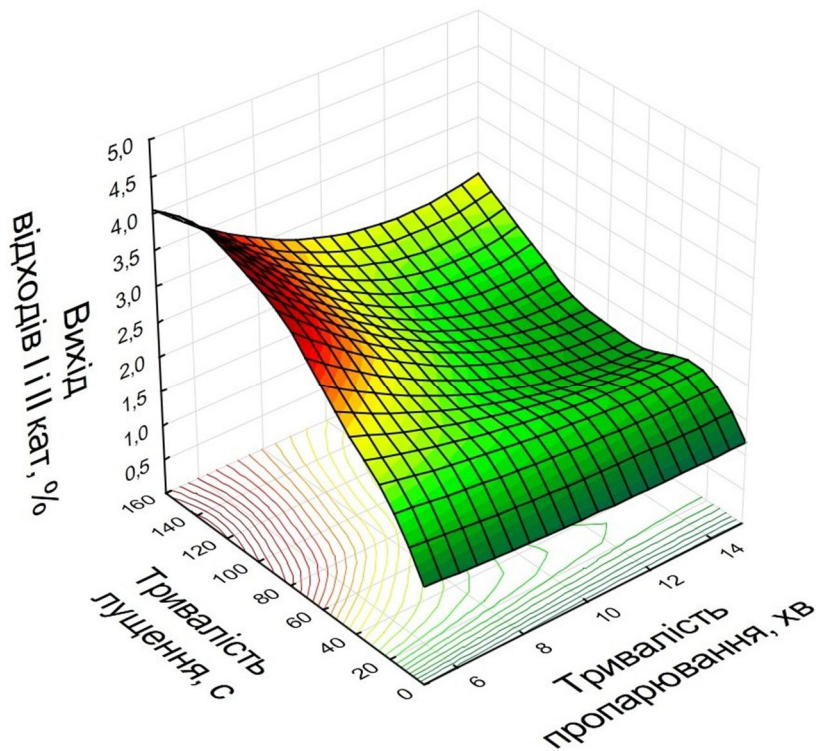


Рисунок 4.9 – Вихід відходів I і II категорій залежно від тривалості лушення та тривалості пропарювання (тривалість відволожування 5 хв)

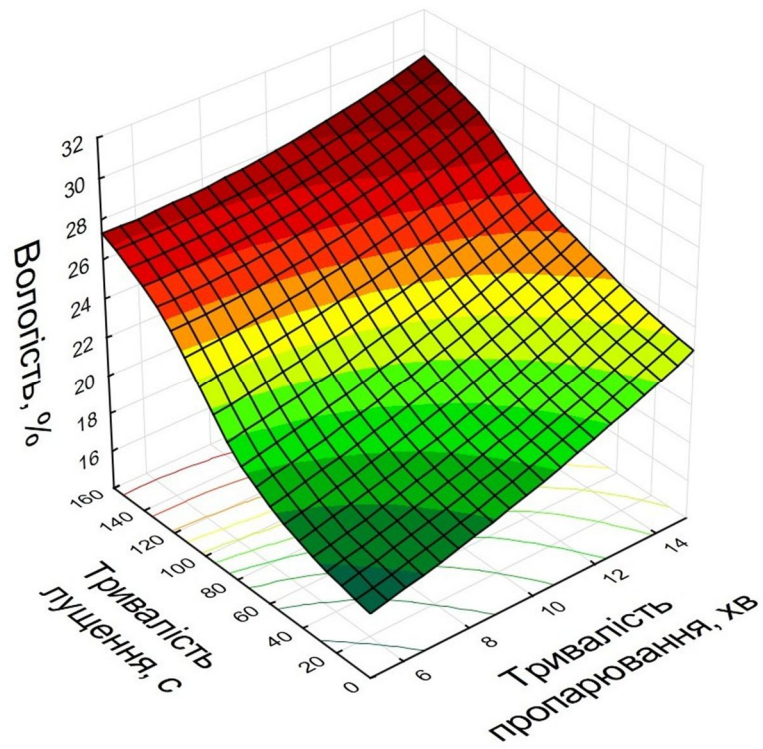


Рисунок 4.10 – Вологість крупи тритикалевої залежно від тривалості лушення та тривалості пропарювання (тривалість відволожування 5 хв)

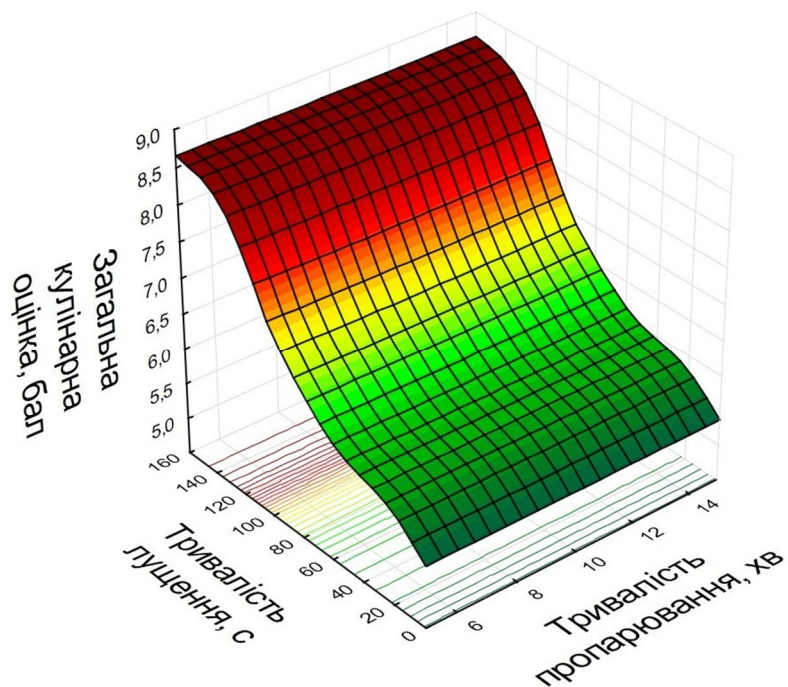


Рисунок 4.11 – Загальна кулінарна оцінка крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості лушення та тривалості пропарювання (тривалість відволожування 5 хв)

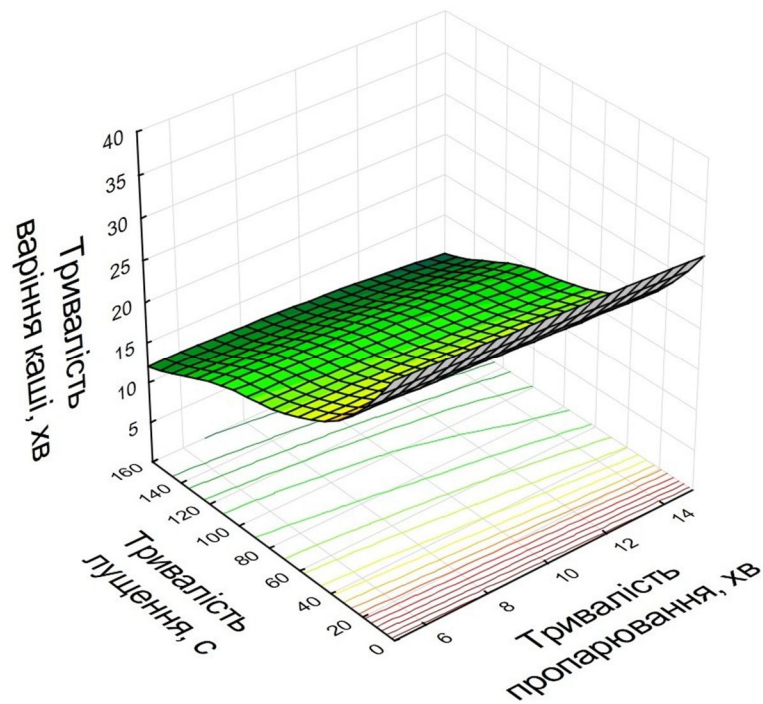


Рисунок 4.12 – Тривалість варіння каші із крупи тритикалевої плющеної залежно від тривалості лущення та тривалості пропарювання (тривалість відволожування 5 хв)

Тривалість пропарювання впливала неістотно на загальну кулінарну оцінку, зумовлювала незначний вплив на вихід крупи, мучки, відходів I і II категорії та тривалість варіння каші, проте її вплив на вологість був істотним. Із наведеного витікає що для підприємств малої продуктивності збільшення тривалості пропарювання недоцільно, оскільки збільшені енерговитрати на проведення водотеплового оброблення не нівелюється відповідним підвищенням ефективності виробництва.

Рекомендований режим лущення під час виробництва крупи із зерна тритикале подрібненої № 1 та крупи тритикалевої плющеної аналогічні, а тому сировиною для виробництва крупи тритикалевої плющеної рекомендовано крупу із зерна тритикале подрібнену № 1.

Вихід крупи тритикалевої плющеної становив 92 %, що на 3 % менше порівняно із пшеничними швидкорозварюваними крупами, проте удосконалена технологія характеризувалась скороченим виробничим процесом (рис. 4.13).

Незначне зменшення виходу крупи пояснюється збільшенням кількості мучки (до 2,7 %) і відходів I і II категорії (до 4,4%).

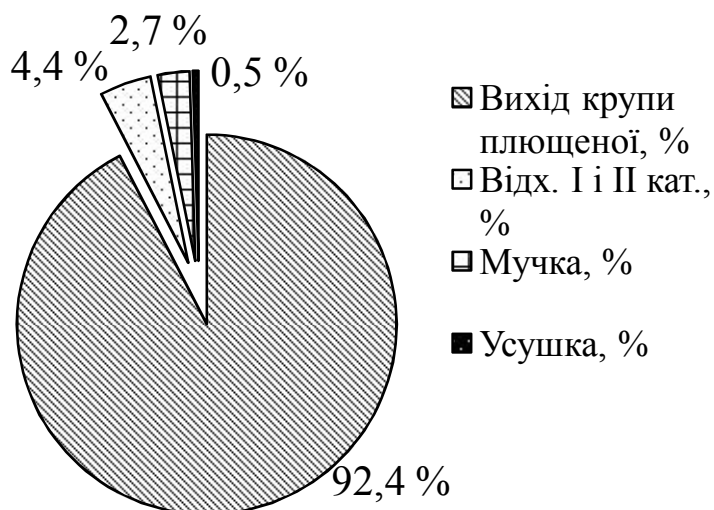


Рисунок 4.13 – Вихід крупи із зерна тритикале

4.4 Удосконалення технологій виробництва круп'яних продуктів із зерна тритикале

Із джерел літератури відомо, що зерно тритикале рекомендовано переробляти на крупи відповідно до технології перероблення пшениці. Оскільки зерно чотиривидового тритикале за технологічними, фізичними властивостями наближалось до зерна пшениці та було м'якозерним, удосконалення його перероблення здійснювали на основі технології виробництва крупи із пшениці м'якої подрібненої і шліфованої.

Класична технологія включає очищення зерна від грубих домішок на скальператорі та його зважування на автоматичних вагах. Після цього зерно пшениці сепарують на сепараторі А1–БЛС. Мінеральну домішку видаляють на каменевідбірниках РЗ–БКТ–100 з наступним очищенням від короткої та довгої домішок на кукілевідбірнику А9–УТО–6 та вівсюговідбірнику А9–УТК–6. Очищення та луцення зерна пшениці проводять без його поділу на крупну і дрібну фракції, але з відбором дрібної фракції (прохід крізь пробивне сито з отворами 1,7×20 мм) пшениці, яку спрямовують у відходи I і II категорії. Перед

спрямуванням на лущення пшеницю зволожують теплою водою до 14,5–15,0 %. Термін відволожування залежно від ступеню зволожування та склоподібності пшениці – від 30 хв до 2 год [33].

Лущення пшениці проводять шляхом дворазового оброблення в оббивальних машинах з абразивними циліндрами. Після кожного оббивального проходу продукт провіюють в аспіраторах [33].

Лущене зерно пшениці направляють на шліфування (три системи) і подрібнення (одна система). Шліфування проводять у машинах типу А1–ЗШН. Подрібнення проводять на вальцевому верстаті [33].

Контроль мучки здійснюють на ситі з дротяної сітки № 063 з подальшим пропуском крізь магнітні сепаратори [33].

За геометричними розмірами зерно тритикале наближається до зерна пшениці, що зумовлює доцільність його очищення на сепараторі, камневідбірнику та трієрах без їх додаткового налаштування.

Удосконалення класичної технології полягає у обробленні зерна тритикале після його очищення на другій і третій шліфувальній системі без проведення водотеплового оброблення (рис. 4.14). Доцільність лущення зерна тритикале на машинах типу А1–ЗШН, склад абразивного матеріалу робочих органів яких відповідає таким, що рекомендовані на другій і третій шліфувальній системі пояснюється різним ступенем взаємозв'язків оболонки, алейронового шару та ендосперму пшениці та тритикале. Період оброблення зерна в машинах А1–ЗШН при одноразовому пропуску становить від 12 до 30 с, проте рекомендована тривалість лущення зерна тритикале – 120 с за початкової вологості сировини 14,0 %, що відповідає індексу лущення 9,0 %. Тому доцільно машини А1–ЗШН на другій і третій системі замінювати на машини типу «Каскад», що характеризуються вищою ефективністю роботи, та здатні за один прохід досягати необхідного індексу лущення [33].

Після третьої системи круп'яний продукт сепарують на розсіві А1–БРУ для отримання крупи із тритикале подрібненої № 1. За необхідності, зерно після шліфування подрібнюють на вальцевому верстаті та спрямовують на розсів.

Удосконалення технології виробництва крупи тритикалевої плющеної здійснювали на основі технології швидкорозварюваних пшеничних крупів. Технологія полягає у тому, що пшеничні крупи № 1, 2, 3 сортують, після цього обробляють в зволожувальних апаратах до вологості 25,0–27,0 % з наступним відволожуванням упродовж 40 хв. Пропарюють крупу в шнекових пропарниках безперервної дії за тиску пари 0,1 МПа та експозиції пропарювання 3 хв. Після цього крупи проходять процес повторного відволожування упродовж 30–40 хв з наступним підсушуванням до вологості 23,0–25,0 %. Плющать крупу на вальцевому верстаті з наступним сушінням до вологості 14,0 % та ситовим контролем [33].

Відомо, що зволожування та відволожування зерна перед процесом пропарювання інтенсифікує його. Витрати на проведення зволожування, відволожування, пропарювання та сушіння за існуючої технології економічно обґрунтовані, оскільки сировина для виробництва крупи плющеної вимагає істотних структурно-механічних змін. Крім цього ефективність водотеплового оброблення підвищується за збільшенні продуктивності заводу.

Для виробництва крупи тритикалевої плющеної рекомендовано використовувати крупу із тритикале подрібнену №1 без додаткового сортування. Крупу зважують після цього пропарюють в пропарнику періодичної дії за тиску насиченої пари 0,15 МПа упродовж 5 хв. Пропарену крупу відволожують упродовж 5 хв. Оскільки вологість крупи становить 25,0 %, проводити сушіння перед плющенням недоцільно. Плющать крупу на вальцевому верстаті за встановленого диференціалу 1 : 1 з наступним сушінням до вологості 14,0 % та ситовим контролем [33].

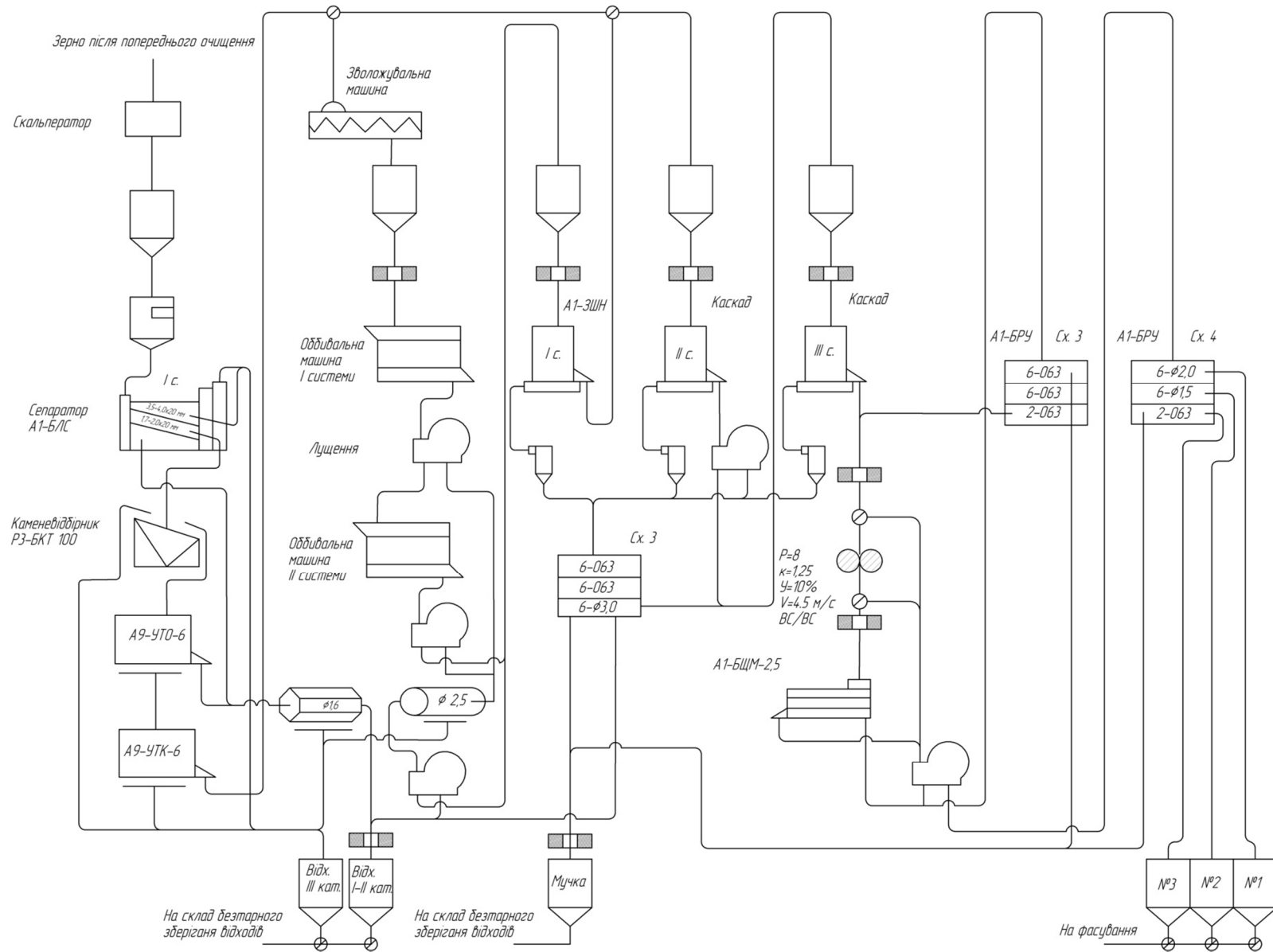


Рисунок 4.14 – Удосконалена технологічна схема виробництва крупи із пшениці м'якої подрібненої і шліфованої №1, 2, 3 та крупи із тритикале подрібненої № 1, 2, 3

Висновки до розділу 4

1. На основі результатів експериментальних досліджень встановлено, що зерно тритикале, що має м'язозерну структуру, доцільно лущити без водотеплового оброблення за початкової вологості 12–14 %.

2. Доцільно під час виробництва крупів із тритикале подрібнених № 1, 2, і 3 лущити зерно тритикале за початкової його вологості 12–14 % упродовж 12 с, що відповідає індексу лущення 9–11 %.

3. Отримані математичні моделі повного факторного експерименту є адекватними, відтворюваними, статистично надійними з відхиленою гіпотезою про наявність автокореляції та можуть бути використані для отримання проміжних значень змінних.

4. Дослідженнями встановлено, що індекс лущення зерна тритикале має істотний вплив на техніко-економічні показники виробництва крупів та зумовлює якість готового продукту, тоді як тривалість пропарювання характеризується неістотним впливом, а тривалість відволожування не зумовлює впливу на показники ефективності виробництва.

5. Удосконалена технологія виробництва крупів із тритикале подрібнених має на 14–17 % вищий вихід порівняно з існуючою технологією виробництва крупи із м'якої пшениці подрібненої і шліфованої, а крупа має дуже високу загальну кулінарну оцінку (8,6–8,8 бали).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення питання удосконалення перероблення зерна тритикале, що виявляється в наступному:

1. На основі аналітичного огляду літератури встановлено, що зерно тритикале є перспективною сировиною для виробництва круп'яних продуктів високої якості. Перероблення тритикале на крупу доцільно проводити по аналогії виробництва пшеничних крупів, проте відмінності технологічних властивостей зерна тритикале нових сортів від зерна пшениці та підвищення вартості енергоносіїв зумовлюють необхідність удосконалення відповідних технологій.

2. Зерно тритикале довше порівняно з зерном пшениці, проте має меншу ширину та товщину. Маса 1000 зерен тритикале змінюється від 41,0 г до 48,7 г, проте поступається пшениці за натурою зерна (668–690 г/л).

3. Розроблено структуру технологічного процесу лушення зерна тритикале, що передбачає оброблення сировини за початкової вологості 12,0–14,0 % на луцильниках без використання водотеплового оброблення, до індексу лушення 9–11 %. Застосування таких елементів технологічного процесу забезпечує вихід цілої крупи за початкової вологості зерна 12,0 % – 81,7, 13,0 % – 84,1 і за 14,0%-й вологості – 83,6 %. Кулінарна оцінка каші, отриманої з крупи із тритикале подрібненої № 1 становить 7,8 балів. Вихід крупів із тритикале подрібнених № 2 і 3 становить 74,1–77,1 %, а їх кулінарна оцінка – відповідно 8,6 і 8,8 бали.

4. Під час виробництва крупи тритикалевої плющеної рекомендовано використовувати крупу із тритикале подрібнену № 1. Пропарювання слід проводити за тиску насиченої пари 0,15 МПа впродовж 5 хв з такою ж тривалістю відволоження. Вихід крупи плющеної становить 92,4 %, з тривалістю варіння 12–13 хв і кулінарною оцінкою 8,6 бала.

5. Фракціонування зерна тритикале істотно покращує його

технологічні властивості. Ефективно використовувати фракціонування на підприємствах високої продуктивності. Рекомендовано зерно розділяти на крупну середню та дрібну фракції. Крупну фракцію доцільно переробляти на крупу тритикалеву плющену, середню – на крупу із тритикале подрібнену № 2 і 3, а дрібну використовувати для виробництва кормів.

6. Розроблено рекомендації з виробництва крупи із тритикале подрібненої № 1, 2, 3 та крупи тритикалевої плющеної.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алимзянов, Д. И. Интенсификация подготовки зерна для мельниц малой производительности : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Алимзянов Д. И. ; Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2010. – 23 с.
2. Аллабердин, И. И. Расширение сырьевой базы в комбикормовой промышленности / И. И. Аллабердин // Кормопроизводство России. – 2009. – № 26. – С. 46–47.
3. Афанасьев, В. Спеціальна обробка зернових компонентів і комбикормів варта уваги / В. Афанасьєв, Н. Сухарєва // Зерно і хліб. – 2009. – № 3. – С. 48–50.
4. Бабич, М. Б. Новое оборудование и технологии для крупяного производства / М. Б. Бабич, В. З. Байрам-Гали, В. Н. Калиниченко // Хранение и переработка зерна. – 2000. – № 8. – С. 35–36.
5. Бабич, М. Б. Особливості гідротермічної обробки круп'яного зерна / М. Б. Бабич, В. М. Петров // Зб. наук. праць Одеської НАХТ. – 2012. – № 36. – С. 98–102.
6. Бабич, М. Б. Переработка зерна в зерновые хлопья и крупы, не требующие варки / М. Б. Бабич, В. З. Байрам-Гали, В. Н. Калиниченко // Хранение и переработка зерна. – 2001. – № 9. – С. 26–29.
7. Бандура, В. М. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння соняшнику у вібросушарці на основі інфрачервоного опромінення / В. М. Бандура, Л. В. Ярошенко // Scientific Works, 83(1), Одеса, 2019. – С. 110–116.
8. Батт, А. Оптимальна вологість луцення зерна жита перед помелом / А. Батт, Ю. Чумаченко // Зерно і хліб. – 2009. – № 2. – С. 35.
9. Бутковский, В. А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства / В. А. Бутковский, Е. М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 464 с.

10. Бутковський, В. А. Технологии зерноперерабатывающих производств / В. А. Бутковський, А. И. Мерко, Е. М. Мельников. – М.: Интерграфсервис. – 1999. – 472 с

11. Верещинський, О. П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортових хлібопекарських помелів пшениці : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.02 / Верещинський О П .; Національний університет харчових технологій. – К., 2013. – 32 с.

12. Гайдай, Г. С. Використання сучасних технологій та обладнання для переробки круп'яних культур / Г. С. Гайдай, В. В. Іванова // Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах: Матеріали Всеукр. конф. – Умань, 2013. – С 36–38.

13. Гайдай, Г. С. Технологічні властивості зерна залежно від розміру зернівки / Г. С. Гайдай // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених : матеріали Всеукр. конф., 10–11 квітня 2012 р., Умань, Україна / Уманський НУС. – Умань, 2012. – С. 183-185.

14. Гросул, Л. Г. Механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування для виробництва крупів : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гросул Л. Г. ; Одеська державна академія харчових технологій. – Одеса, 2002. – 21 с.

15. Егоров, Г. А. Технологические свойства зерна / Г. А. Егоров. – М.: Агропромиздат, 1985. – 333 с.

16. Егоров, Г. А. Технология и оборудование мукомольной, крупяной и комбикормовой промышленности / Г. А. Егоров, Я. Ф. Мартыненко, Т. П. Петренко. – М.: Издательский комплекс МГАПП, 1996. – 210 с.

17. Егоров, Г. А. Технология муки и крупы / Г. А. Егоров. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 1999. – 336 с.

18. Егоров, Г. А. Технология муки. Технология крупы / Г. А. Егоров. – М.: Колос, 2005. – 296 с.

19. Ермаков В. А. Экспериментальное исследование процесса непрерывного пропаривания зерна гречихи / В. А. Ермаков, А. Н. Марьин //

Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3.
– С. 114-119.

20. Ільків, Л. А. Ефективність переробки зерна в АПК / Л. А. Ільків //
Наук. пр. Нац. ун-ту харч. технологій. – 2011. – № 39. – С. 51-53.

21. Каминский, В. Д. Влияние водно-тепловой обработки зерна гречихи
на пищевую ценность и микрофлору крупы / В. Д. Каминский, М. Б. Бабич,
С. Е. Шувалов // Хранение и переработка зерна. – 2000. – № 12. – С. 36-37.

22. Кондратенко, Р. Г. Мука тритикалевая кондитерская /
Р. Г. Кондратенко, Е. Н. Урбанчик, А. Л. Гутько. // Хранение и переработка
зерна. – 2003. – № 7. – С. 50-51.

23. Лобанов, Д. И. Технология производства продуктов общественного
питания / Д. И. Лобанов. – М.: Экономика, 1977. – 383 с.

24. Любич, В. В. Особливості переробки зерна тритикале на крупу / В.В.
Любич, Л.Л.Новак, В.В. Новіков // Зберігання та переробка продукції
рослинництва: освіта, наука, інновації : матеріали між нар. науково-
практична конф. 1-3 червня 2015 р. Київ, Україна / НУХТ. – Київ, 2015. – С.
40-41.

25. Мерко, І. Т Наукові основи технології зберігання і переробки зерна /
І. Т. Мерко, В. А. Моргун. – Одеса, 2001. – 207 с.

26. Мерко, І. Т. Наукові основи і технологія переробки зерна / І. Т.
Мерко, В. О. Моргун. – Одеса: Друк, 2001. – 348 с.

27. Мерко, А. Производство быстрорастваривающейся крупы и зерновых
хлопьев / А. Мерко, Е. Мельников // Хлебопродукты. – 1998. – № 12. – С. 20.

28. Мерко, І. Вихід суцільної рисової крупи підвищити не складно /
І. Мерко, С. Соц // Зерно і хліб. – 2009. – № 3. – С. 35-36.

29. Моргун, В. А. Разработка технологи получения крупы из зерна
сориза / В. А.Моргун, Е. В.Жегалюк // Труды 56-ой науч. конф. : материалы
Всеукр. конф. 8 октября. 1996 г., Одесса, Украина / ОНАЕУ. – Одесса, 1996. –
С. 9.

30. Осокіна, Н. М. Технологія зберігання і переробки зерна / Н. М. Осокіна, О. П. Герасимчук, Н. П. Матвієнко. – К.: ТОВ «Книга – плюс», 2012. – 320 с.

31. Петруня, Е. В. Разработка технологии продуктов быстрого приготовления из твердой пшеницы : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Петруня Е. В.; Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2005. – 25 с.

32. Пищевая ценность зерна тритикале/ А. Т. Васюкова, А. В. Сусликов, М. В. Васюков [и др.] // Хранение и переработка зерна. – 2002. – № 2. – С. 48-49.

33. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах [Крошко Г. Д., Левченко В. І., Назаренко Л. Н. та ін.]. – К.: Віпол, 1998. – 163 с.

34. Прядко, Т. П. Перспектива використання екструдатів зернових культур для збагачення традиційних харчових середовищ / Т. П. Прядко // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті : матеріали Міжнар. конф. 9 листопада 2012 р., Київ, Україна / НУХТ. – К., 2012. – С. 25-27.

35. Рябчун, В. К. Роль тритикале у диверсифікації та стабілізації виробництва зерна і продуктів його переробки / В. К. Рябчун // Наукове забезпечення виробництва зерна тритикале і продуктів його переробки : матеріали Міжнар. конф. 3 жовтня 2005 р. Харків, Україна / ХДУХТ. – Харків, 2005. – С. 3-4.

36. Соболевський, В. С. Холодне кондиціонування зерна / В. С. Соболевський, В. В. Горбенко, В. Д. Денисенко // Зерно і хліб. – 2007. – № 3. – С. 31– 33.

37. Тертычная, Т. Н. Технологические аспекты использования муки из зерна тритикале в хлебопечении / Т. Н. Тертычная, С. В. Гончаров // Тритикале России: материалы Междунар. конф. 5 октября 2000 г., Ростов-на-Дону, Россия / РГТУ. – Ростов-на-Дону, 2000. – С. 113– 118.

38. Тритикале [Електронний ресурс]. – Поширення, галузь застосування. Передові аграрні країни. – Електрон. дані (5 файлів). – 2014. – Режим доступу: Режим доступу: <http://www.agro-business.com.ua/2010-06-11-07-14-09/263-2011-02-18-19-49-31>. (дата звернення 10.06.2013). – Назва з екрану.

39. Урубков, С. А. Разработка технологий новых видов крупы и муки из зерна тритикале : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Урубков С. А. ; Московский государственный университет пищевых производств. – М., 2014. – 31 с.

40. Фесенко, Е. А. Режимы влаготепловой обработки при пластификации пшена / Е. А. Фесенко, Д. А. Жигунов // Наукові праці. – 2002.- № 24. – С.86-89.

41. Фесенко, К. М. Найкращими властивостями відрізняються пластівці з тритикале, отримані методом пропарювання зерна під тиском 0,17 МПа впродовж 6-8 хв / К. М. Фесенко. // Зерно і хліб. – 2009. – № 2. – С. 25-26.

42. Хосни, К. Р. Зерно и зернопереработка / К. Р. Хосни. – М.: СПб: Профессия, 2006. – 336 с.

43. Чумаченко, Ю. Д. Снижение энергозатрат процесса крупобразования зерна тритикале / Ю. Д. Чумаченко // Зернові продукти і комбіорма. – 2012. – № 2. – С. 35-37.

44. Шаповаленко, О. І. Дослідження сучасного стану круп'яних продуктів / О. І. Шаповаленко, О. О. Євтушенко, Ю. П. Тертишна // Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах: матеріали Всеукр. конф. 9 березня 2013 р., Умань, Україна / УНУС. – Умань, 2018.- С 4-5.

45. Шаповаленко, О. І. Плющення голозерного вівса / О. І. Шаповаленко, Є. І. Харченко, Ю. П. Фурманова, Н. Свиридюк. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2017. – № 140. – С. 45-49.

46. Швецова, И. А. Хлебопекарские свойства муки повышенной дисперсности из цельносмолотого зерна пшеницы / И. А. Швецова,

Б. М. Максимчук, Н. А. Попов // Хлебопекарская и кондитерская промышленность. – 1985. – № 6. – С.32 – 35.

47. Шевченко, В. Е. Тритикале / В. Е. Шевченко, Н. Т. Павлюк, В. В. Верзилин. – Воронеж: ПЦ ВГАУ, 1997. – 281 с.

48. Bartnik, M. Chemical characteristics of the Polish cultivars and varieties of triticale / В. Maria, A. Kunikowska, P.Jolanta // Forest. and Wood Technol. – 1991. – № 19. – P. 11-17.

49. FAO statistica [Электронный ресурс] -Agriculture bases. – Электрон. дані (6 файлів).– 2013. – Режим доступу <http://apps.fao.org>. (дата звернення 01.02.2013). – Назва з екрану.