

**О. А. ЄРЕМЕЄВА,
Є. І. ХАРЧЕНКО,
В. В. ЛЮБИЧ**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ
В БОРОШНО**

МОНОГРАФІЯ

УМАНЬ 2021

УДК 664.71–11–044.337:631.14
Є 70

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Уманського національного університету садівництва
(протокол від 27 квітня 2021 р. № 6)*

Рецензенти:

доктор сільськогосподарських наук, професор **Г. М. Господаренко** (Уманський національний університет садівництва);

доктор технічних наук, доцент **Ю. Г. Змієвський** (ТОВ «Вінкар Системс»);

доктор сільськогосподарських наук, професор **М. Я. Курпа** (ДУ Інститут зернових культур).

Є 70 **Єремєєва О. А., Харченко Є. І., Любич В. В.**
Технологічні процеси переробки зерна пшениці в борошно:
моногр. / Київ, 2021. 160 с.; іл.

ISBN 978-617-7894-30-7

Наведено результати дослідження додаткового очищення зерна в елеваторах на показники виходу та якості борошна, фракціонування зерна пшениці перед лущенням, удосконалення скороченого технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно високих сортів за рахунок використання процесів лущення і плющення зерна перед першою драною системою, застосування «низьких» режимів подрібнення зерна на перших трьох драних і перших трьох розмелювальних системах. Книга буде корисною науковим і науково-педагогічним працівникам, фахівцям борошномельного виробництва.

УДК 664.71–11–044.337:631.14

ISBN 978-617-7894-30-7

© Єремєєва О. А., Харченко Є. І., Любич В. В., 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
Розділ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПОШУК ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Сучасний стан підготовки зерна до помелу	10
1.2. Крупоутворення при сортових помелах пшениці ...	16
1.3. Розмел круподунстових продуктів у борошно	21
1.4. Шляхи зменшення витрат електроенергії на помел.....	24
1.5. Плющення зерна пшениці перед його помелом	25
1.5.1. Розвиток процесів попереднього руйнування зерна	25
1.5.2. Основи попереднього руйнування зерна перед помелом	28
1.5.3. Вплив плющення на процеси помелу зерна в борошно	31
Висновки до розділу 1	33
Розділ 2. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
2.1. Об'єкт і предмет досліджень	35
2.2. Характеристика об'єкту дослідження	35
2.3. Методи дослідження	36
2.3.1. Методика визначення показників якості зерна та продуктів його переробки	36
2.3.2. Методика дослідження хлібопекарських властивостей борошна	38
2.3.3. Методика досліджень гранулометричних характеристик продуктів подрібнення драного та розмелювального етапів	38

2.3.4. Методика визначення ефективності роботи розмелювального відділення борошномельного заводу	44
2.3.5. Методика досліджень фракціонування зерна ...	45
2.4. Методика визначення витрат електроенергії на помел	46
2.5. Методика дослідження процесу плющення	46
2.6. Математична обробка результатів досліджень	51
Висновки до розділу 2	52

**Розділ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОВКИ
ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В БОРОШНО ПРИ ВИКОРИСТАННІ
СКОРОЧЕНОЇ СХЕМИ ПОМЕЛУ**

3.1. Вплив додаткового очищення зерна в елеваторі на показники виходу та якості борошна	53
3.2. Ефективність фракціонування зерна пшениці перед луценням	59
3.3. Дослідження режимів подрібнення зерна на I драній системі	64
3.4. Режими подрібнення зерна на II драній системі ...	69
3.5. Дослідження режимів помелу зерна на III драній системі крупній	74
3.6. Режими подрібнення зерна на III драній системі дрібній	78
3.7. Режими помелу збагачених круподунових продуктів у вальцьових верстатах 1 розмелювальної системи.....	83
3.8. Режими подрібнення продукту на 2-й розмелювальної системі	91
3.9. Режими подрібнення продукту на 3-й розмелювальної системі	96
3.10. Ефективність роботи борошномельного заводу зі скороченим технологічним процесом	101

3.11. Вплив вологості, скловидності та крупності зерна пшениці на вихід проміжних продуктів плющення	105
3.11.1. Вплив режимів плющення на добуток проміжних продуктів подрібнення зерна пшениці на I драній системі.....	110
3.11.2. Подрібнення плющеної пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи із попереднім відбором круподунових продуктів і борошна	111
3.11.3. Подрібнення плющеної пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи без відбору круподунових продуктів і борошна	113
Висновки до розділу 3	119

**Розділ 4. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ
ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ПОМЕЛУ ЗЕРНА**

В СОРТОВЕ БОРОШНО	122
4.1. Розроблення та наукове обґрунтування плющення зерна пшениці перед помелом на борошномельних заводах різної продуктивності	122
4.2. Наукове обґрунтування технологічного процесу підготовки зерна до помелу	128
4.3. Наукове обґрунтування технологічного процесу помелу зерна в борошно	133
4.4. Аналіз енерговитрат після впровадження удосконаленого технологічного процесу	142
Висноки до розділу 4	144
ВИСНОВКИ	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	148

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- пл.с. – плющильна система
- I др.с. – перша драна система
- II др.с. – друга драна система
- III др.с.кр – третя драна система крупна
- III др.с.др – третя драна система дрібна
- 1 р.с. – перша розмелювальна система
- 2 р.с. – друга розмелювальна система
- 3 р.с. – третя розмелювальна система
- кр.кр – крупна крупка
- ср.кр – середня крупка
- др.кр – дрібна крупка
- в.с. – борошно вищого сорту
- 1.с. – борошно першого сорту

ВСТУП

Хліб – основний і незамінний продукт харчування для більшості людей Землі. В Україні близько 30 % раціону населення країни представлено хлібобулочними, борошняними кондитерськими і макаронними виробами, де основним компонентом є пшеничне хлібопекарське сортове борошно. Борошномельна промисловість нашої країни щорічно переробляє близько 3,5 млн т пшениці витрачаючи 300...350 млн кВт·год електроенергії. В той же час, дефіцит продовольства і енергії належить до найважливіших сучасних проблем людства. У таких умовах раціональне використання зерна на основі ресурсо і енергозберігаючих технологій є пріоритетом розвитку борошномельної промисловості.

Технічне переозброєння борошномельних заводів в 80–90 роках минулого століття дозволило значно підвищити ефективність виробництва борошна і потенційні можливості переробки за рахунок впровадження передових, на той час, технологій. Їх основою стала реалізація науково-обґрунтованого і відпрацьованого практично принципу вибіркового подрібнення за рахунок розвитку процесів збагачення і диференційованої дії на продукт. Борошномельні заводи продуктивністю 500 і 250 т/добу фірми «Бюлер» відрізнялися максимальним ступенем використання зерна, високою якістю продукції і складали основу борошномельної промисловості Радянського Союзу. Проте, проведене в подальші періоди реформування вітчизняної економіки значно вплинуло на їх роботу і трансформацію борошномельної галузі. Виявилось, що в нових умовах господарювання технології, створені за розвиненими структурами, занадто енергоємні, вимагають великої кількості різноманітних машин і значних виробничих площ.

Нині борошномельна галузь України представлена типовими борошномельними заводами продуктивністю 500 і 250 т/добу, побудованими 20...35 років тому, які збереглися до наших днів без значних змін, що реалізують розвинені структури помелів, а також новими виробництвами меншої продуктивності, як імпортними, так і вітчизняної побудови, що реалізують скорочені структури помелів. Недоліки, властиві перерахованим виробництвам, вказують на відсутність достатньо обґрунтованої наукової бази, що дозволяє вести ефективне вдосконалення технологій виробництва борошна.

Починаючи з 1977 по 1990 роки фірма «BUHLER» змінила два покоління обладнання і почала експлуатувати третє покоління. На сьогоднішній день Фірма «BUHLER» експлуатує 5-те покоління обладнання.

Заводи побудовані в 80-ті роки в Україні так і залишились без змін і вже морально і фізично застаріли та не в змозі отримувати великі вихода борошна високих сортів. Заміна обладнання на нове потребує величезних капіталовкладень. Тому застосування на цих підприємствах поєднання технологічних прийомів описаних у цій роботі, дозволить невеликими капіталовкладеннями збільшити продуктивність та вихід борошна вищого сорту при збереженні основного обладнання.

«Правила організації та ведення технологічного процесу на борошномельних підприємствах» наводять скорочені технологічні процеси і вказують на те, що при скороченому процесі помелу неможливо виробляти борошно високих сортів. Нині з'явилися борошномельні підприємства як закордонного так і вітчизняного виробництва продуктивністю до 150 т/добу зі скороченим процесом помелу. При цьому вихід борошна високих сортів не менше ніж на заводах із розвинутим процесом помелу. Вважається, що впровадження скороченого технологічного процесу на борошномельних підприємствах більшої потужності не є ефективним за рахунок складності впровадження відповідних технологічних

рішень. Тому вдосконалення технології переробки зерна пшениці на борошномельних підприємствах є актуальним завданням, що викликає необхідність у дослідженні та розробленні нових техніко-технологічних рішень, які б давали можливість впроваджувати скорочені процеси помелу на борошномельних заводах великої продуктивності 500 і 250 т/добу, побудованими 20...35 років тому.

Підвищення виходу та якості борошна, скорочення енерговитрат на процес його виробництва є важливою науковою проблемою вітчизняних дослідників. Провідні світові лідери (BUHLER, Golfetto, Ocrim тощо) по виробництву технологічного обладнання та борошномельних технологій направляють свої зусилля на виробництво нових видів обладнання, в яких об'єднується декілька машин в одну, при цьому процес помелу залишається розвиненим.

Дослідженнями процесів помелу зерна в борошно займалися вітчизняні та закордонні вчені: П. А. Козьмін, Я. Н. Купріц, І. А. Наумов, С. Д. Хусід, І. Т. Мерко, В. О. Моргун, Б. М. Максимчук, В. А. Бутковський, О. А. Нетребський О. П. Верещинський, Д. О. Жигунов та інші. Їхні дослідження збагатили теорію і практику помелів зерна в борошно.

Діючі «Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних підприємствах» наводять лише середньостатистичні значення, не враховуючи режимів подрібнення зерна та проміжних продуктів. Тому актуальним питанням є встановлення залежностей виходу круподунстових продуктів основних крупотворюючих та розмелювальних систем для потреб існуючих борошномельних заводів і проектування нових підприємств.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ І ПОШУК ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Сучасний стан підготовки зерна до помелу

Підготовка зерна до помелу – один із найважливіших етапів технологічного процесу виробництва сортового борошна із зерна пшениці. В залежності від того як організовано технологічний процес підготовки зерна до помелу залежать результати помелу, тобто вихід та якість готової продукції, а також витрати електроенергії на процес помелу в цілому. Підготовка зерна до помелу впливає на технологічну ефективність роботи обладнання розмелювального відділення. Підготовці зерна до помелу, дослідниками приділяється увага не менше ніж самому процесу помелу. Найбільший вклад в розвиток технологічних процесів підготовки зерна до помелу здійснили П. Афанасьєв [5], К. Зворикін [52], Д. О. Жигунов [51], П. А. Козьмін [57], Я. Н. Купріц [60], Л. Є. Айзікович [1, 2], Г. А. Єгоров [47, 48, 49], Б.М. Максимчук [63, 64, 65, 66, 67], В. А. Бутковський [10, 11, 12], І. Т. Мерко, В. О. Моргун [70, 71, 72, 73, 74, 75], нині в Україні нові підходи до підготовки зерна розроблялися О. П. Верещинським [14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Провідні виробники обладнання такі компанії як BUNLER, OCRIM, GOLFETTO тощо також приділяють значну увагу розробленню нового і удосконаленого обладнання та технологій підготовки зерна до помелу. Нині фірма BUNLER запропонувала використовувати фотооптичні сепаратори в зерноочисних відділеннях борошномельних заводів. Німецька компанія Muehlenbau

розробила вібраційне зволоження зерна. Основні напрямки розроблення обладнання закордонними компаніями полягають у створенні комбінованих машин, які виконують суміжні операції. Комбінування декількох машин в одну зменшує витрати повітря на аспірацію, експлуатаційні витрати, зменшення витрат на будівництво приміщень тощо. Усе це свідчить, про те, що розроблення більш ефективніших технологічних прийомів підготовки зерна до помелу не втрачає своєї актуальності і сьогодні [10, 81].

Нині в Україні найбільш прогресивним рішенням підготовки зерна до помелу є глибока обробка поверхні зерна за рахунок його луцення в дебрандерах типу «Каскад-М» [16, 20, 33]. Цей напрямок технології очищення і підготовки зерна до помелу активно розвивається завдяки роботам вітчизняної компанії «ОЛІС», яка розробила типорозмірний ряд дебрандерів «Каскад-М», які мають конструктивні відмінності від добре відомих в зернопереробній промисловості луцильних машин типу А1-ЗШН та Еконос тощо. Питанням луцення зерна перед помелом присвячено роботи Д. А. Галімізянова, Р. С. Давидова, М. А. Ковальова, Ж. С. Алімкулова, І. Р. Дударєва тощо [3, 4, 22, 30, 41, 42, 43, 44, 45, 56].

І. Р. Дударєв [29, 41 42, 43, 44] розробляв різні типу луцильних машин, він рекомендував лущити зерно з індексом луцення до 3,0 %, в той час як в роботі [15] показана можливість та доцільність луцення зерна пшениці при сортових помелах пшениці з індексом луцення до 8,0...9,0 %. Збільшення індексу луцення вище 9,0 % призводить до значного руйнування ендосперму, що знижує ефективність операції луцення.

Аналіз літературних та інформаційних джерел показує, що основні розробки технології підготовки зерна до помелу орієнтовані на створення нового, більш продуктивного і менш матеріало- та енергоємного технологічного обладнання, за рахунок компонування декількох машин в одному корпусі. Дослідження В. Г. Дулаєва [45, 46] також

підтверджують більшу ефективність та економічну доцільність створення комбінованих типів обладнання. Так, компанія BUNLER розробила комбісепаратор МТКВ, який поєднує в собі зерновий сепаратор із плоскими решітними полотнами та каменевідбірник, а також комбінатор МТСД, який поєднує в собі каменевідбірник та концентратор. Поряд із цим ряд технологічного обладнання переводиться на замкнутий цикл повітря, що дає можливість зменшити витрати повітря на аспірацію, а відтак зменшити кількість аспіраційного обладнання. Аналогічні напрямки новітніх розробок мають й інші закордонні фірми-виробники обладнання. Дослідження В. Г. Дулаєва також присвячені розробленню нових технологій підготовки зерна до помелу, недоліком яких є моральна застарілість у порівнянні із сучасними розробками закордонних компаній [46]. Цікавість дослідників ближнього зарубіжжя та закордонних виробників обладнання та технологій свідчить про значну актуальність питання підготовки зерна до помелу, тому важливо враховувати сучасні способи організації підготовки зерна до помелу під час розроблення нових проєктів борошномельних заводів. Розроблення комбінованих типів обладнання вимагає значних капіталовкладень у розробки, а також спричиняє високу вартість такого обладнання на ринку, це може відштовхнути потенційних покупців від його придбання, що також гальмує розроблення сучасного обладнання. У зв'язку із цим постає питання необхідності дослідження ефективності технології очищення зерна від домішок використовуючи відомі способи обробки зерна перед помелом.

Сучасні конкурентоздатні типи обладнання розробляються ТОВ «ОЛИС», в той час як типові обладнання інших вітчизняних компаній відноситься переважно до третього покоління, яке є морально застарілим. В Україні завдяки створенню та серійному випуску дебрандерів «Каскад-М» з'явилися технологічні рішення підготовки зерна до помелу, які дозволяють лущити зерно пшениці із індексами

лущення до 8...9 %. Фірми BUHLER, SATAKE також пропонують лушцильники для обробки поверхні зерна перед помелом, але широкого розповсюдження в пропонуваніх технологічних процесах вказаних компаній вони не знайшли. Відокремлення високозольних оболонок зерна пшениці у кількості до 8...9 % знижує навантаження на розмелювальний процес, зменшує оборот продуктів помелу та висівок, знижує енерговитрати на подрібнення, покращує ефективність зволоження зерна перед помелом [15, 19]. Ці факти підтверджуються дослідженнями вітчизняних науковців. Так в роботі [15, 19] запропоновано проводити розділення зерна пшениці на фракції перед подачею зерна на лущення. Такий технологічний прийом дозволяє зменшити навантаження на дебрандери, що у свою чергу призводить до можливого зменшення кількості машин у зерноочисному відділенні. Фракціонування зерна пшениці рекомендується здійснювати на сепараторі барабанного типу [15]. Такий технологічний підхід виправдовує себе, однак за умови застосування сепараторів із плоскими решітними полотнами невідомо, якою буде ефективність розділення зерна при виділенні дрібної фракції у кількості до 30 % [10]. Лущення зерна дозволяє покращити ефективність зволоження зерна, оскільки відокремлення оболонок від зерна сприяє покращенню поглинання вологи зерном [15, 19]. Виходячи із цього постає необхідність дослідити фракційний склад зерна пшениці для підбору решітних полотен при фракціонуванні зерна пшениці у сепараторах із плоскими решітними полотнами.

У цілому структура технологічного процесу підготовки зерна до помелу, яка наводиться у «Правилах організації і ведення технологічного процесу на борошномельних підприємствах» [86] при впровадженні етапу лущення істотних змін не отримала, хоч і доповнення технологічних етапів присутні. Спостерігається тенденція до спрощення цього технологічного процесу перш за все зменшується кількість проходів оббивальних машин [10].

Аналіз технологічних процесів фірм BУHLER, OCRIM, СПОМАШ показує, що основні зміни відбуваються у використанні комбінованого обладнання та застосуванні нових сучасних зволожувальних апаратів для зерна, а також зменшення кількості технологічних етапів. Зменшення кількості технологічних етапів призводить до зниження енерговитрат, але і так само, може за певних обставин призводити до зниження якості підготовки зерна до помелу. Відомо, що компанія BУHLER розробила нову систему зволоження на основі мікрохвильової техніки та використала фотооптичні сортувальники в зерноочисних відділеннях борошномельних заводів [10, 81]. На сучасному етапі в Україні таких можливостей щодо розроблення новітнього обладнання із використанням останніх досягнень електронної техніки поки ще немає, тому необхідно відшукати інші способи підвищення ефективності підготовки зерна до помелу.

Раніше всі борошномельні комбінати хлібопродуктів у своєму складі мали елеватори із робочими баштами, в яких встановлювалося зерноочисне обладнання. У зв'язку із економією енергетичних ресурсів більшість цього обладнання простоє або експлуатується лише частково, хоча відомо, що ефективність роботи зерноочисного обладнання в підготовчих відділеннях борошномельних заводів не дозволяє повністю очищати зерно. В. Г Кулак. та Б. М. Максимчук відмічають, що недооцінка або невикористання технічних можливостей елеватора призводить до порушення технологічного процесу на борошномельному заводі [10, 25, 62]. Під ефективним очищенням зерна необхідно розуміти не тільки виділення смітних та мінеральних домішок, але і виділення неповноцінного та дрібного зерна, а також зерна забрудненого грибовими хворобами. Дослідження колективу дослідників [18] показали, що найбільша кількість враженого фузаріозом зерна міститься у дрібній фракції зерна пшениці. Виділення дрібної фракції в елеваторах може покращити не тільки

показники якості зерна, яке надходить у зерноочисне відділення борошномельного заводу, але й вплинути на ефективність процесів подрібнення за рахунок виділення разом із смітними домішками дрібного зерна, яке не придатне для отримання крупних та середніх крупок [21].

У низці літературних джерел [10, 59] відмічається необхідність відбору в елеваторах дрібної фракції зерна пшениці у кількості до 30 %. В умовах великої вартості енергоносіїв та значної вартості сировини, виділення дрібної фракції зерна пшениці знижує рентабельність виробництва, тому не всі борошномельні підприємства можуть дозволити собі виділення дрібної фракції зерна пшениці та направлення їх у комбікормове виробництво. За таких умов постає питання перероблення зерна пшениці із вмістом дрібного зерна. В літературних та інформаційних джерелах відсутня інформація щодо впливу підготовки зерна до помелу із додатковим використанням елеваторного обладнання на показники якості готової продукції борошномельних заводів. Тому на нашу думку є доцільним проведення дослідження щодо ефективності додаткового очищення зерна в елеваторах.

Перспективним напрямом підготовки зерна до помелу можна вважати застосування луцення дрібної фракції зерна пшениці в підготовчих відділеннях борошномельних заводів великої продуктивності [15]. Технологічні рішення луцення зерна перед помелом запропоновані М. А. Ковальовим не дають можливості ефективно задіяти цей технологічний прийом, оскільки продуктивність дебрандерів «Каскад-М» не перевищує 3,2 т/год і для зерночисного відділення борошномельного заводу продуктивністю 300 т/добу необхідно встановити парк дебрандерів в кількості не менше 10 одиниць, що в кінцевому результаті призведе до значних витрат електроенергії на помел [57]. Більш доцільним є використання технологічного прийому луцення зерна пшениці перед помелом лише дрібної фракції, як це запропоновано в роботі [15]. Тому є необ-

хідність розроблення технології підготовки зерна до помелу із застосуванням лущення пшениці для борошномельних заводів середньої та великої продуктивності.

1.2. Крупоутворення при сортових помелах пшениці

Процеси подрібнення твердих матеріалів вивчаються та досліджуються у багатьох галузях промисловості провідних держав світу [90, 96, 97, 98]. Дослідження процесів подрібнення зводяться до вирішення питань моделювання гранулометричних характеристик крупності та енергетичних показників процесу подрібнення [96]. Ці наукові проблеми подрібнення також важливі і для процесів подрібнення зерна. Найбільш важливим для борошномельної промисловості є моделювання матеріальних потоків процесу подрібнення, результатом якого є розроблення теоретичних балансів помелу.

Проблемам подрібненню зерна пшениці присвячені роботи П. Афанасьєва, К. Зворикіна, П. А. Козьміна, Я. Н. Купріца, В. Я. Гіршсона, А. В. Панченка, А. Я. Соколова, Л. Є. Айзіковича, С. Д. Хусіда, І. Т Мерко, І. А. Наумова, А. Р. Демідова, О. А. Нетребського та інших [5, 26, 52, 57, 60, 85, 99].

Нині з'явилися публікації закордонних дослідників серба Fistes A. та британця Campbell G. M., які намагалися розробити методи розрахунку функції подрібнення зерна пшениці в драному процесі. А. Fistes запропонував матричний метод розрахунку гранулометричних характеристик продуктів подрібнення зерна. G. M. Campbell розробляв функцію подрібнення зерна пшениці у вальцьовому верстаті із урахуванням твердості та вологості зерна [105, 106, 107, 108, 116, 117, 126, 123].

Г. Н. Панкратов запропонував описувати гранулометричні характеристики круподунстових продуктів використовуючи безрозмірний критерій. На нашу думку, за-

стосування цих моделей викликають значні труднощі для практичного їх використання під час проектування матеріальних потоків борошномельного виробництва [84, 82]. Ці роботи свідчать про поглиблену цікавість дослідників до проблем подрібнення зерна пшениці. Дану проблему можна досліджувати і розвивати і в подальшому оскільки складність явища така, що питання подрібнення зерна не повністю вичерпано.

Питання подрібнення зерна в борошно залишаються актуальними і є предметом дослідження багатьох дослідників провідних компаній світу, що виробляють технології та обладнання для переробки зерна в борошно, але їх досягнення є комерційною таємницею компаній. Знання оптимальних режимів подрібнення може дати технологу можливість прогнозувати вихід та якість борошна та проміжних продуктів помелу на кожній технологічній системі розмелювального процесу.

Нині збільшилась цікавість вітчизняних дослідників до процесу плющення зерна пшениці перед помелом [30, 38, 39]. Технологічний прийом плющення зерна перед помелом не є новим і був відомий у XIX столітті [9, 31, 64, 66]. Розгляд питання інтенсифікації подрібнення зерна в історичному аспекті показало, що в борошномельній промисловості, при облаштуванні її вальцьовими верстатами, широко використовувався метод попереднього руйнування зерна з метою підвищення ефективності очищення зерна від пилу та мінеральних домішок, а також зниження енерговитрат на процес помелу. Плющення зерна пшениці на етапі крупоутворення в минулому було вимушеною технологічною операцією, тому що в той час були відсутні способи для нарізки вальців. Крім того, із-за недостатньо ефективного процесу очищення зерна перед помелом плющення сприяло додатковому видаленню пилу з поверхні зерна та боріздки. Із появою нарізних вальців, мікрошорохуваті почали використовуватися переважно для низьких помелів, а в подальшому, головним чином для жита.

Із впровадженням борошномельних технологій фірми BUNLER за радянських часів плющення зерна перед помелом на багатьох борошномельних заводах не використовувалося [59, 69, 86].

С. І. Щербаков [104] звертав увагу на велике значення попереднього подрібнення зерна жита перед помелом. Для отримання борошна високої якості зерно необхідно попередньо плющити на гладеньких вальцях, а потім подрібнювати на I драній системі на рифлених вальцях. За даними автора, використання плющильних верстатів дає можливість збільшити вихід борошна з драних систем. Про позитивний вплив плющення зерна на показники помелу вказують також Брюкнер, Матис, Ешхаус та інші дослідники. Пояснити позитивний вплив плющення зерна на показники помелу можна тим, що в результаті деформування стисненням порушуються внутрішні зв'язки частин зерна і покращуються умови відокремлення оболонки від ендосперму [63, 66]. Дослідження Давидова Р. С. показали, що застосування операції плющення перед I драною системою зменшує енерговитрати на подрібнення у драному процесі, але змін у виході продуктів подрібнення не виявлено [30]. Наведені дані дають підстави рекомендувати до впровадження плющильних систем для сортів хлібопекарських помелів. Нині в Україні плющильні системи перед I драною системою впроваджуються на борошномельних заводах завдяки проектам розробленим в НУХТ [38, 39].

Найбільш складною задачею проектування нових борошномельних заводів є розроблення кількісних балансів помелу. Проте баланси помелу мають вирішальне значення при розрахунку технологічного обладнання (вальцьових верстатів, розсійників, ситовійних та вимелювальних машин тощо) та пневмо- і аерозольтранспорту. Розрахунок обладнання опираючись на баланс помелу є найбільш аргументований, тому і правильність його складання є вкрай важливою задачею [68].

Застосування в технології борошномельного виробництва вісьмивальцових верстатів також потребує дослідження гранулометричного складу проміжних продуктів подрібнення та отримання функціональних залежностей процесу подрібнення [10, 118].

Основний спосіб розрахунку балансів помелу ґрунтується на показниках вилучення, які регламентуються «Правилами організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах», однак числові значення, які наводяться в «Правилах...» [86] є орієнтовними і не відображають характеру зміни виходу продуктів подрібнення (крупної, середньої та дрібної крупки, дунстів) та борошна (таблиця 1.1), що створює значні труднощі для комп'ютеризації та прискорення цього важливого етапу проектування, а також прогнозування роботи борошномельного заводу в цілому.

Разом із тим, знання функцій виходу окремих класів крупності проміжних продуктів подрібнення та борошна дає можливість технологу більш раціонального вести технологічний процес помелу не перевантажуючи просіюючі поверхні розсіюників та ситовійних машин, або навпаки давати найбільший вихід круподунстових продуктів і менше борошна.

Вихід окремих класів крупності проміжних продуктів помелу та борошна залежить від режиму роботи вальцових верстатів. Згідно ДСТУ 2209-93 «Борошно, побічні продукти і відходи. Терміни та визначення» [41] під режимом системи розуміють вихід та якість продуктів, що здобуваються і характерних даних технологічній системі. «Правила організації та ведення технологічного процесу на борошномельних підприємствах» [86] не вказують як змінюється вихід окремих класів проміжних продуктів подрібнення від режиму роботи вальцових верстатів, що характеризується загальним добутком продуктів подрібнення [86].

Таблиця 1.1

Орієнтовний вихід круподунстових продуктів і борошна в драному процесі хлібопекарського помелу, у % від маси, яке надходить на I драну систему [86]

Найменування систем	Вихід круподунстових продуктів				Вихід борошна	Загальний добуток
	Крупки			Дунсти		
	крупна	середня	дрібна			
I драна	7...9	8...10	3...5	3...5	4...6	25...30
II драна	10...12	12...14	6...8	6...7	6...8	40...45
III драна	–	2...4	3...4	3...5	3...5	10...13
Разом по I–III драних	18...20	22...24	13...15	12...14	13...15	78...80
IV драна	–	–	1...2	2...3	3...4	5...7
V драна	–	–	–	1...2	1...2	2...3
Усього	18...20	22...24	14...16	15...17	18...20	85...87

Залежність виходу окремих фракцій продуктів подрібнення від величини добутку продуктів суттєво залежить від місця вальцьового верстата в технологічній схемі. Ряд авторів та дослідників, в тому числі П. Т. Ейдус, А. Р. Демідов, Л. Є. Айзікович, А. Т. Птушкін, Я. Ф. Мартиненко, О. Н. Чеботарьов, Л. С. Галкіна та інші [1, 23, 34, 35, 68, 87, 104] у своїх роботах наводять лінійні залежності виходу окремих фракцій проміжних продуктів подрібнення (крупна, середня, дрібна крупки, дунсти, борошно) і на основі цього розробляють методика складання кількісних балансів помелу. Проте лінійний характер виходу окремих фракцій проміжних продуктів подрібнення суперечить явищу переподрібнення крупних продуктів (крупної та середньої крупки) в більш дрібні продукти (дрібна крупка, дунсти та борошно). Явище переподрібнення крупних продуктів у дрібніші добре відоме у практиці експлуатації борошномельних заводів. При постійному збільшенні загального добутку проміжних продуктів вихід крупних класів продуктів переподрібнюється в більш дрібні, чого

не можна досягти, якщо залежність добутку окремих проміжних продуктів подрібнення зерна буде лінійною. Можна зробити висновок, що вихід деяких класів крупності проміжних продуктів подрібнення повинен носити нелінійний характер. Встановлення таких залежностей є однією із завдань подальших наших досліджень.

1.3. Розмел круподунстових продуктів у борошно

Отримані в драному процесі круподунстові продукти проходять процес збагачення і подаються в розмелювальний процес для максимального подрібнення їх в борошно. Структура розмелювального етапу простіша ніж драного етапу [69, 71, 73].

Із впровадженням технологій помелу фірми BUNLER після вальцових верстатів застосовуються для додаткового подрібнення та руйнування конгломератів частинок ентолейтори РЗ-БЕР та деташери А1-ДБГ. Ентолейтори РЗ-БЕР використовуються в основному на перших трьох розмелювальних системах, які обробляють продукти помелу першої якості із низькою зольністю. На цих розмелювальних системах отримують найбільшу кількість борошна високих сортів. Ентолейтори РЗ-БЕР являють собою різновид машин так званого дезінтеграторного типу, а деташери – машини ударно-стираючою дії [9, 11, 24, 36, 88, 95]. Дослідженнями подрібнення круподунстових продуктів у машинах ударної та ударно-стираючої дії займалися Б. М. Максимчук, А. Ф. Неменуший, А. С. Циплаков, С. Л. Маєвська та інші [62, 64, 78, 77]. Їх дослідження підтвердили доцільність додаткового подрібнення проміжних продуктів помелу на борошномельних заводах сортового помелу пшениці. Дезінтегратори не знайшли широкого розповсюдження на борошномельних заводах, хоча і виготовляються деякими машинобудівними заводами. В Україні дослідженнями подрібнення круподунстових

продуктів в ентолейторах РЗ-БЕР займалися автори [37], але ці роботи до сьогодні не завершені.

Розмелювальний процес менше досліджений, оскільки результати його роботи мають менший вплив на показники якості виходу борошна ніж драний процес. У виробничих умовах розмелювальному процесу також приділяють меншу увагу ніж драному.

Фірма «ОЛИС» розробила ентолейтори-дисмембратори ЕСМ-1,5 [15], які відрізняються від ентолейторів РЗ-БЕР інтенсивністю дії на подрібнюваний продукт. Аналогічні ентолейтори-дисмембратори виготовляє голандська компанія OTTEVANGER. Ентолейтори-дисмембратори є перспективними для використання у борошномельній промисловості за рахунок більш інтенсивної дії на проміжні продукти подрібнення зерна ніж типові ентолейтори РЗ-БЕР.

Перші дослідження технологічної ефективності роботи ентолейторів-дисмембраторів належать дослідникам з фірми «ОЛИС» [15]. Які встановили лінійну емпіричну залежність виходу борошна першої та другої якості в залежності від частоти обертання робочого органу та вилучення борошна у вальцьовому верстаті. Аналіз емпіричних рівнянь показав, що із збільшенням загального добутку борошна у вальцьовому верстаті збільшується і вихід борошна у ентолейторі-дисмембраторі, але характер цієї залежності не наводиться і залишається не з'ясованим для яких систем подрібнення можна застосувати отримані емпіричні залежності.

Виходячи із цього є доцільним дослідити вплив режимів подрібнення системи «вальцьовий верстат – ентолейтор-дисмембратор».

Деташери А1-БДГ використовуються на розмелювальних системах другої якості і призначені переважно для руйнування конгломератів частинок, що значно покращує ефективність просіювання високозольних продуктів другої якості у розсійниках. Дослідження проведені у ВНДІ

зерна свідчать про те, що деташери та машини ударно-стираючої дії найбільш доцільно використовувати в процесі подрібнення високозольних продуктів другої якості з більшим вмістом оболонки, ніж крупок та дунстів першої якості [62].

У літературних та інформаційних джерелах відсутні дані щодо математичних моделей опису гранулометричних характеристик від режимів подрібнення у вальцьових верстатах найбільш важливих перших трьох розмелювальних систем першої якості [10–13, 24, 31, 32, 68, 69, 73, 86], на яких отримують найбільшу кількість борошна високих сортів. Ці питання є важливими для проєктувальників під час розроблення балансу помелу нових борошномельних заводів, а також для технологів діючих борошномельних заводів. Виходячи із цього одним із таких завдань наших наукових досліджень є вивчення режимів подрібнення круподунових продуктів у вальцьових верстатах та ентолейторах-дисмембраторах, а також ефективності їх сумісної дії.

Фірма ОЛІС [15] також пропонує технологічні схеми для борошномельних заводів різної потужності з лущенням зерна перед помелом, та заміною на перших трьох розмелювальних системах ентолейторів РЗ-БЕР на ентолейтори-дисмембратори ЕСМ-1,5. Це на думку дослідників фірми дасть змогу збільшити вихід борошна вищого сорту до 10 % та скоротити кількість розмелювальних систем. Але питання плющення зерна перед першою драною системою в даному випадку не розглядалося. Тому постає завдання науково обґрунтувати та дослідити вплив поєднання лущення зерна в зерноочистному відділенні борошномельного заводу, та плющення перед першою драною системою на можливість підвищення продуктивності заводу, збільшенню загального виходу борошна та борошна вищого сорту.

1.4. Шляхи зменшення витрат електроенергії на помел

Витрати електроенергії на помел – це один із важливих показників переробки зерна в борошно, не менш важливий ніж вихід та якість готової продукції. В умовах високої вартості енергоносіїв витрати електроенергії на помел в цілому носять важливий економічний характер. На основі витрат електроенергії на подрібнення зразка зерна базується технологічний показник – розмелездібність [48, 55, 69]. Питанням витрат електроенергії на подрібнення приділяли увагу такі відомі дослідники як Я. Н. Купріц, С. Д. Хусід, П. А. Козьмін, П. Афанасьєв, А. В. Панченко та інші [52, 59, 60, 85, 99].

Визначаючи витрати електроенергії на подрібнення зерна, враховують весь комплекс характеристик його структурно-механічних властивостей. Величина роботи подрібнення зерна в межах кожної культури залежить від міцності, твердозерності, пластичних властивостей зерна, а також підготовчих операцій. Із загальних витрат енергії на борошномельному заводі 70...75 % витрачається у розмелювальному процесі і близько 11 % у зерноочисному відділенні. На процес подрібнення витрачається не менше 1/3 загальної кількості енергії, яка споживається. В розмелювальному процесі борошномельного заводу 45...58 % енергії витрачається в драному процесі, 25...57% у ситовійному і шліфувальному процесах і 32...46 % – у розмелювальному процесі. Питомі витрати енергії тісно корелюють із фактичним виходом борошна. Витрати електроенергії на виробництво борошна залежить від ступеня розвинутості технологічної схеми помелу. При більш розвинутій технологічній схемі витрати електроенергії вищі. Рекомендовані норми питомих витрат електроенергії при багатосортних помелах із розвинутою схемою помелу становлять 65...70 кВт·год на 1 т виробленого борошна, для помелів зі скороченою схемою технологічного процесу ста-

новлять 52...60 кВт·год на 1 т виробленого борошна. При впровадженні нових технологій помелу та технологічних рішень необхідно слідкувати, щоб питомі витрати електроенергії не перевищували рекомендованих норм [11].

Тому зниження витрат електроенергії на подрібнення зерна і проміжних продуктів є актуальним завданням.

1.5. Плющення зерна пшениці перед його помелом

1.5.1. Розвиток процесів попереднього руйнування зерна. Процес плющення привертає все більшу увагу дослідників, у зв'язку із можливістю інтенсифікації драного процесу та помелу зерна пшениці в цілому, незважаючи на його застосування ще в першій половині ХХ століття [139, 140, 152, 153].

Розгляд питання подрібнення зерна в історичному аспекті показало, що на початку розвитку сучасної борошномельної промисловості, при обладнанні її вальцьовими верстатами, широко використовували метод попереднього руйнування зерна з метою збільшення ефективності очищення його від пилу та мінеральних домішок. Цей технологічний прийом дозволяв подрібнювати зерно з меншими енерговитратами. Однак низька технологічна вологість зерна, яке подавалося на I драну систему і загальна недосконалість обладнання затримали застосування цього технологічного прийому, незважаючи на теоретичне обґрунтування його користі [66].

С. Нотович [66] відмічав, що в перших вальцьових верстатах переважала конструкція, де один із вальців приводився до руху від приводу, тоді як інший – за рахунок тертя продукту по вальцях. Такі вальці називали «волочильними», так як вони під час роботи просковзували і немов би волочилися за валком, пов'язаним із приводом. Волочильні верстати в подальшому почали застосовувати при плющенні зерна.

Плющення зерна пшениці в минулому на етапі крупоутворення було вимушеною технологічною операцією, тому що були відсутні засоби для нарізання вальців. Крім того за рахунок недостатньо ефективного процесу його очищення перед помелом плющення сприяло додатковому видаленню пилу з поверхні зерна та із його боріздки. Із появою нарізних, гладкі вальці стали використовуватися переважно для «низьких» помелів, а в подальшому, головним чином, для жита [1, 66].

D. J. Stevens відмічає, що одним із важливих показників якості зерна є показник опору зерна плющенню, тобто ступінь його попереднього руйнування перед помелом [66].

В. Г. Рейсіх також вказував, що плющильний верстат використовується для роздавлення (розплющування) зерна перед його подрібненням. Він вважав, що на крупчастих млинах, операція плющення зерна пшениці недоцільна, тому що це погіршило б результати «високого» помелу. Але для прискорення помелу, в деяких випадках плющення використовували і в повторювальних помелах, але головне призначення плющення – це обслуговувати «ржанки» (млини житнього помелу). При помелах жита на I драній системі отримували краще за якістю борошно, оскільки плющення зерна і наступна його обробка щітками сприяли видаленню пиловидних домішок і частково зовнішніх шарів оболонки. З іншої сторони, плющення сприяло полегшенню роботи наступної драної системи із рифленими вальцями [66].

С. І. Щербаков [103] звертає увагу на велике значення попереднього подрібнення зерна жита перед помелом. Для отримання борошна високої якості, починаючи із I драної системи, зерно необхідно попередньо плющити на гладких вальцях і подрібнювати на рифлених. Застосування плющильних верстатів збільшує вихід борошна в драному процесі, в той час як без попереднього подрібнення зерна утворюється більше крупок та дунстів [66, 103].

С. І. Щербаков [103] наводить два способи попереднього руйнування зерна перед направленням його на I драну систему. Обидва способи здійснюються у вальцових верстатах. Відмінним є кінематичні та геометричні параметри вальців.

При першому способі відбувається подрібнення. Параметри вальців наступні: кількість рифлів 5 на 1 см, ухил 6 %, диференціал 1,5:1 при коловій швидкості вальців 6 м/с, розташування рифлів «спинка по спинці». При такому диференціалі та розташуванні рифлів зерно буде менше роздавлюватися, що і потрібно при попередньому подрібненні до надходження його на I драну систему. При таких параметрах роботи вальців зерно буде «розкриватися», не допускаючи при цьому подрібнення оболонки. Режим роботи на верстаті для попереднього подрібнення зерна встановлюють самий високий, щоб не залишалось цілих зерен. При такому режимі подрібнення добуток продуктів не повинен перевищувати 0,5...0,6 % [103].

При другому способі руйнування зерна перед направленням на I драну систему зерно плющать у вальцових верстатах на мікрошорохуватих вальцях із диференціалом 1:1. Застосування плющильних верстатів обумовлює збільшення виходу борошна з драних систем і зменшення кількості крупок [31, 138, 142, 103].

При попередньому подрібненні зерна утворюється більше крупок та дунстів, ніж після плющення. При плющенні зерна борошно після помелу утворюється м'яке, має погану сипкість і тому погано просіюється на ситах. При попередньому подрібненні борошно має більшу сипкість тому краще просіюється в розсійниках [66].

Попереднє руйнування зерна пшениці перед його направленням на I драну систему використовувалося у США, Італії, Німеччині тощо [31, 66, 138, 103]. За кордоном приділялась значна увага попередньому руйнуванню зерна в технології борошномельного виробництва [66].

На борошномельних заводах США так звана «переддрана» система являла собою звичайні вальцьові верстати, але із більш дрібною нарізкою рифлів на вальцях, щоб не допустити подрібнення зерна. На вальці нарізали 15,7 рифлів на 1 см кола вальця із ухилом на швидкохідному вальці 12,3 % і на тихохідному вальці – 4 %. Співвідношення швидкостей вальців 1:1. Режим подрібнення 3...7 %, через сито №1. Після «переддраної» системи продукт направлявся або на просіювання у розсійник або одразу на I драну систему [31, 66].

Якщо на борошномельному заводі перероблялося зерно високої якості, то попередньо подрібнене зерно не просіювали, а направляли на I драну систему не розсортованим [66].

Впровадження технологічного процесу помелу зерна пшениці компанії BUHLER в кінці 70-х років XX століття, ряд технологічних прийомів процесу помелу зерна, в тому числі і плющення були відкинуті в практичному застосуванні [15]. В кінці 90-х років XX століття почали впроваджуватися скорочені технологічні процеси помелу зерна в борошно, що сприяло пошуку більш ефективних технологічних прийомів обробки зерна з метою збільшення виходу та якості сортового борошна, що і призвело до продовження досліджень процесів плющення зерна. В теперішній час продовжуються пошуки технологічних прийомів для удосконалення скорочених процесів помелу в борошно.

Дослідженнями процесу плющення в борошномельній галузі займалися такі дослідники: Максимчук Б. М., Сибіряков В. А., Сухарьов А. В. Нікіфорова І. А., Щербаков С. І., Давидов Р. С. та інші. За кордоном процес плющення досліджували Zwingelberg H., Stevens D. J., Брюкнер, Матис, Ешхаус та інші [66, 139, 140, 147, 149, 153].

1.5.2. Основи попереднього руйнування зерна перед помелом. Опір зерна деформуванню та його руйнування під час подрібнення визначається складними процесами,

характер проходження яких залежить від природи і фізичного стану зерна, виду та режиму механічного навантаження [146].

Процес деформації та подрібнення твердого тіла супроводжується витратами енергії, які витрачаються на створення пружних та пластичних деформацій при доведенні його до руйнування, а також на подолання сил молекулярної взаємодії, після чого тіло руйнується на частини із утворенням великої сумарної поверхні. Частина енергії перетворюється в теплоту, витрачається на електризацію частинок продукту і робочих поверхонь, а також на подолання опору в подрібнювальному обладнанні (тертя і деформація деталей, їх нагрівання тощо) [149].

Одним із шляхів підвищення ефективності процесу подрібнення зерна є підвищення диференціації структурно-механічних властивостей оболонки і ендосперму, шляхом направленої зміни величини руйнуючої напруги зерна безпосередньо в процесі подрібнення. Для цього доцільно перед подрібненням зерна звільнити або значно зменшити його пружні та пластичні деформації [26].

Процес подрібнення зерна на I драній системі буде проходити в дві стадії. Фаза пружних і пластичних деформацій є першою стадією, яка здійснюється при попередньому руйнуванні зерна, а I драній системі відводиться функція утворення нової поверхні. Чим нижче режим її роботи, тим теоретично менше питомі витрати енергії на двостадійний процес подрібнення, за рахунок того, що витрати енергії на пружні та пластичні деформації зерна мають меншу питому вагу, а витрати енергії на утворення нової поверхні – більше [149].

При подрібненні зерна в дві стадії відбувається покращення якості продуктів подрібнення за рахунок збереження цілісності оболонки при попередньому руйнуванні зерна, що залежить від вибору способу «зняття» пружних та пластичних деформацій, а також робочого органу для цієї стадії подрібнення [149].

З усіх відомих видів деформацій в найбільшій мірі даній умові задовольняє деформування зерна стиском, яке може бути здійснено у вальцювому верстаті при однакових колових швидкостях мікрошорохуватих вальців, тобто його плющення [149].

При попередньому руйнуванні зерна утворюється велика кількість макро- та мікротріщин, в результаті чого знижується об'ємна міцність зерна і на I драній системі воно подрібнюється із меншими руйнуючими напругами [136, 149].

У 1942 році А. Ф. Іоффе із співробітниками в своїх роботах експериментально довели, що міцність тіла на розрив різко знижується під дією самих невеликих поверхневих дефектів, і самі незначні порушення фізичної структури, як поверхневі так і внутрішні, впливають на зниження механічної міцності, а відповідно і опору при подрібненні. Дослідами А. Ф. Іоффе, М. В. Кирпичової та М. А. Левицької встановлено, що під дією невеликих дефектів на поверхні кристала кам'яної солі руйнування зразка відбувається під дією зусилля в 400 разів меншого, ніж при його відсутності, а наявність мікротріщин на поверхні скла знижує його міцність в 4...5 разів [66].

У залежності від характеру напруженого стану матеріалу, він може руйнуватися як від нормальних напруг так і від дотичних, але руйнування матеріалу тільки від нормальних напруг або тільки від дотичних, практично неможливе [135, 146]. Нормальні напруги викликають крихке руйнування, в результаті чого відбувається розколювання кристалів по окремим площинам.

Під час плющення із рівними коловими швидкостями, на зерно діють сили стиску, в результаті чого в зерні виникають нормальні напруги і воно не руйнується а сплющується, змінюючи свій об'єм та форму. Порушення суцільності зерна і утворення сітки мікротріщин призводить до зниження міцності окремих зерен, що і призводить до зменшення зусиль при подальшому подрібненні [136].

1.5.3. Вплив плющення на процеси помелу зерна в борошно. На плющильній системі використовують гладкі вальці, які обертаються з однаковими коловими швидкостями. В результаті деформації стиску порушуються внутрішні зв'язки частин зерна жита і покращуються умови відокремлення оболонки від ендосперму. Висівки утворюються більш крупні, борошно – більш тонке і світліше [66].

Сибіряков В. А., Максимчук Б. М. і Нікіфорова І. А. [147] досліджуючи ефективність режимів подрібнення І драної системи, зробили висновок, що зі зменшенням зазору між вальцями І драної системи збільшується сумарний вихід продуктів однойменних класів крупності і зменшується розмір частинок; крупки стають більш вирівняними за розмірами, а зольність збільшується.

Подрібнення плющеного зерна пшениці при різних питомих навантаженнях на І драній системі призводить до зменшення виходу крупної крупки при збільшенні ступеня попереднього руйнування зерна. Загальний вихід проміжних продуктів подрібнення з І драної системи зменшується з 65,3 % до 63,1 %, що обумовлено збільшенням відбору суміші круподунових продуктів на плющильній системі в результаті зменшення відстані між вальцями. Автори досліджень [147] роблять висновок, що режим роботи плющильної системи здійснює суттєвий вплив на результати роботи І драної системи. Найкращі результати за показником зольності вилучених круподунових продуктів та борошна спостерігаються при інтервалі зазору між вальцями 0,6...1,0 мм і навантаженні на І драну систему 500 кг/(см×добу), і 1,0...1,4 мм при навантаженні 1000 кг/(см×добу). Автори досліджень встановлюють відстані між вальцями на основі зольності отриманих продуктів. Саме тому зроблені досить неоднозначні висновки щодо величини зазору між вальцями для плющильної системи. Наведені авторами рекомендації щодо відстані між вальцями потребують уточнення.

Ільчук В. Б. досліджуючи режими плющення на малогабаритному млині потужністю 30 т/добу у с. Бірків

Вінницької області дійшов висновку, що оптимальна відстань між вальцями плющильної системи є відстань 1,4 мм. Однак ці дані не були опубліковані і використовувалися у вузькому колі співробітників, які працювали із В. Б. Ільчуком.

Ці факти вимагають подальшого детального дослідження, оскільки відомо, що режим роботи першої I драної системи впливає на перерозподіл круподунстових продуктів на наступних системах [150].

Одегов В. А. [143], досліджуючи двоступеневий плющильний верстат для плющення сирого ячменю з вологістю до 40 %, на основі аналізу енерговитрат рекомендує на першій ступені встановлювати відстань між вальцями 1,6...1,8 мм, а на другій ступені 0,5...0,7 мм. Він рекомендує вибирати величину відстані між вальцями на основі фізико-механічних характеристик зерна: межі міцності, межі текучості та модуля пружності зерна. Однак такий підхід є складним для оперативного регулювання режимів плющення у виробничих умовах. Баранов Л. Н. [131] вказує, що найменші енерговитрати при плющенні зерна здійснюються при величині зазору між вальцями 1,4 мм.

Різними авторами отримано різні за характером криві добутку продуктів плющення в залежності від величини відстані між вальцями [143, 147], тому є необхідність з'ясування виду таких залежностей для зерна пшениці з метою їх подальшого аналізу і використання в процесі помелу зерна в борошно.

Збільшення ступеня руйнування зерна шляхом зменшення зазору між вальцями на плющильній системі сприяє зниженню витрат енергії на наступній стадії подрібнення зерна із порушеною структурою ендосперму, збільшує вихід дрібних фракцій проміжних продуктів помелу без погіршення їх якості. Помел плющеного зерна дозволяє відбирати борошна вищого сорту на 3...5 % більше, схема технологічного процесу спрощується, обертання продуктів по всьому процесу знижується на 20...25 % [147].

Застосування плющильної системи зменшує витрати енергії на наступній I драній системі на 20 %, термін роботи рифлів збільшується і зменшується виділення теплоти [134, 66, 144, 145].

Аналіз теоретичних робіт щодо попереднього руйнування зерна показує, що плющення є способом, який дозволяє інтенсифікувати подрібнення зерна в драному процесі при помелах пшениці. Не з'ясованими залишаються питання щодо впливу вологості, скловидності та крупності зерна пшениці на процес плющення. Потребують підтвердження залежності виходу проміжних продуктів плющення від величини зазору між вальцями. Визначення оптимального зазору між вальцями плющильного верстату має практичне значення.

Висновки до розділу 1

На основі проведеного огляду літератури та аналізу сучасного стану борошномельного виробництва можна зробити наступні висновки та визначити пріоритетні напрями досліджень:

1. Питання додаткового очищення зерна пшениці в елеваторах та його впливу на показники якості готової продукції потребує подальшого дослідження.

2. Доцільним є розробка технологічної схеми із застосуванням луцання зерна пшениці при сортових хлібопекарських помелах пшениці для борошномельних заводів різних продуктивностей.

3. Встановити залежності режимів подрібнення та виходу круподунстових продуктів на перших трьох драних системах.

4. Дослідити режими подрібнення розмелювальних систем та вплив режимів подрібнення на вихід борошна в ентолейторах-дисмембраторах типу ЕСМ.

5. Визначити яким чином поєднання луцення зерна, плющення перед помелом та встановлення ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 на перших трьох розмелювальних системах, впливає на підвищення продуктивності борошномельного заводу, та на вихід борошна.

Розділ 2

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Об'єкт і предмет досліджень

Об'єктом досліджень є технологія сортового помелу пшениці в борошно високих сортів.

Предметом досліджень є ефективність підготовки зерна до помелу, крупоутворення при подрібненні зерна пшениці в драному процесі, режими роботи вальцьових верстатів та ентолейторів-дисмембраторів перших трьох розмелювальних систем, організація технологічного процесу підготовки та помелу зерна в сортове борошно.

2.2. Характеристика об'єкту дослідження

Основна експериментальна частина досліджень виконувалась в лабораторних умовах кафедри технології зберігання і переробки зерна Національного університету харчових технологій, Уманського національного університету садівництва та у виробничих умовах борошномельного заводу продуктивністю 300/добу. Борошномельний завод у складі має двопоточне зерночисне відділення, односекційне розмелювальне відділення та цех готової продукції. Продуктивність борошномельного заводу до реконструкції становила 270 т/добу, після реконструкції – 300 т/добу із можливістю підвищення продуктивності до 350 т/добу.

Зерноочине відділення організоване за типовою схемою підготовки зерна до помелу із обробкою поверхні зерна сухим способом. Розмелювальне відділення включає чотири драних, чотири сортувальних, п'ять вимелювальних, десять ситовійних, три шліфувальних та вісім розмелювальних систем, а також контроль готової продукції.

2.3. Методи дослідження

Дослідження показників якості зерна та продуктів помелу проводили у виробничій лабораторії борошно-мельного заводу продуктивністю 300/добу. Дослідження гранулометричних характеристик продуктів подрібнення здійснювали в лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна Національного університету харчових технологій (м. Київ), проведення лабораторного випікання хліба та подальший його аналіз проводився у лабораторних умовах кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва (м. Умань). Дослідження проводили згідно програми, схематично зображеної на рис. 2.1.

2.3.1. Методика визначення показників якості зерна та продуктів його переробки. Засміченість зерна пшениці визначали за ГОСТ 13586.2-81. «Зерно. Методы определения содержания сорной, зерновой, особо учитываемой примесей, мелких зерен и крупности», шляхом відбору наважок з наступним їх аналізом. Скловидність зерна визначали за ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности», натуру зерна визначали за ГОСТ 10840-64. «Зерно. Методы определения натуры». Кількість та якість клейковини визначали за ГОСТ 13586.1-68 «Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице».

Вологість зерна, борошна та продуктів помелу визначали методом висушування в сушильній шафі при температурі 130 °С протягом 40 хв з моменту встановлення температури за ГОСТ 13586-93 «Зерно. Метод определения влажности» та ГОСТ 9404-88 «Мука и отруби. Метод определения влажности».

Білість борошна та продуктів переробки зерна визначали за ГОСТ 26361-84 «Мука. Метод определения белизны». Сутність методу ґрунтується на вимірюванні здатності відбиття ущільнено-згладженої поверхні борошна з використанням фотоелектричного приладу.

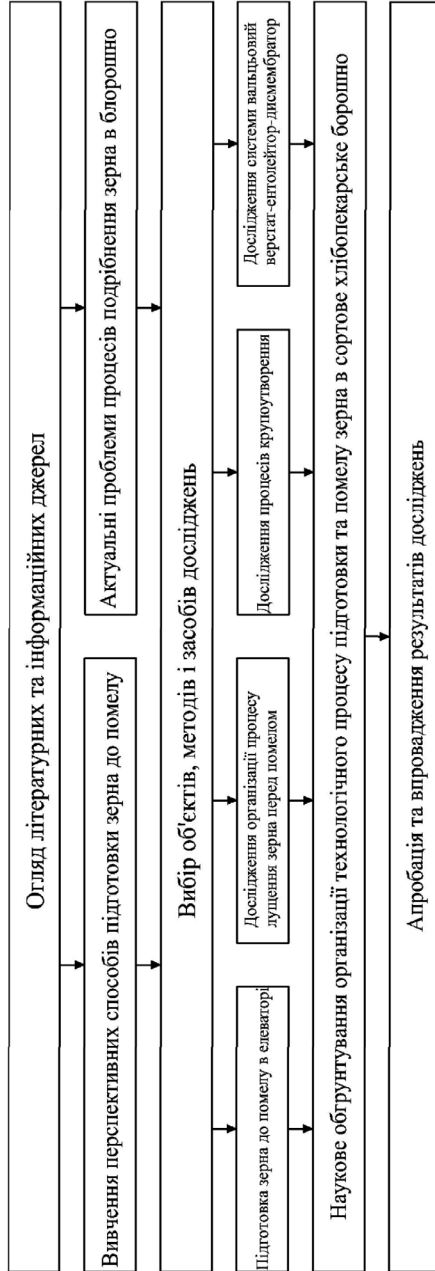


Рис. 2.1. Блок-схема комплексних досліджень

Зольність зернопродуктів визначали за ГОСТ 27494-87 «Методы определения зольности», шляхом озолення наважки розмеленого продукту при температурі 600...900 °С з наступним кількісним визначенням залишку золи.

2.3.2. Методика дослідження хлібопекарських властивостей борошна. Хлібопекарські властивості борошна визначали шляхом проведення пробних лабораторних випічок. Замішування тіста із дослідних зразків борошна та випікання хліба здійснювали за ГОСТ 27669-88. «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба» із наступним визначенням об'ємного виходу випеченого хліба та пористості його м'якушки.

2.3.3. Методика досліджень гранулометричних характеристик продуктів подрібнення драного та розмелювального етапів. Подрібнення зерна та сходових зернопродуктів проводили у виробничих умовах борошномельного заводу продуктивністю 300 т/добу. Перед подрібненням зерна, здійснювали підготовку шляхом очищення його від домішок в сепараторі, каменевідбірнику, концентраторі, обробку поверхні зерна проводили в оббивальних машинах, зволоження зерна здійснювали до вологості 16,0 % у відповідності до технологічної схеми борошномельного заводу. Зерно та зернопродукти подрібнювали у вальцьових верстатах А1-БЗ-3Н. Під час проведення досліджень переробляли зерно із наступними показниками якості: натура зерна – 791 г/л, вологість зерна на I драній системі – 16,2 %, скловидність – 38 %, смітна домішка – 0,4 %, зернова домішка – 2,3 %.

Зміна режимів подрібнення та відбір зразків здійснювали наступним чином: під час роботи розмелювального відділення на I драній системі по всій довжині вальця відбирали за допомогою лотка продукт в кількості до 300 г. Після відбору продукту за допомогою штурвалу, яким обладнано вальцьові верстати, змінювали відстань між вальцями і повторно здійснювали відбір продукту по всій

довжині вальця. Режими подрібнення вальцьових верстатів змінювали сім разів. Після відбору на першій, другій, третій крупній та третій дрібній драних системах продуктів подрібнення, усі відібрані та зважені наважки просіювали на контрольних ситах з метою визначення загального вилучення проміжних продуктів. Відбір продуктів подрібнення здійснювали від III драної системи до першої для уникнення впливу режимів подрібнення на наступну систему. Принципову схему досліджень крупоутворення наведено на рис. 2.2.

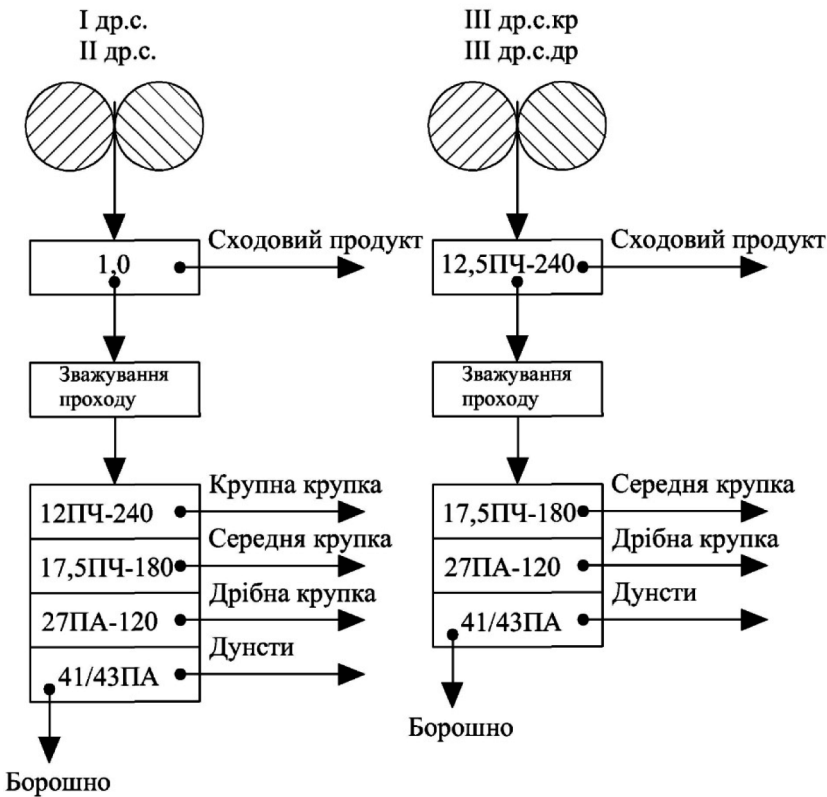


Рис. 2.2. Схема проведення досліджень ситового аналізу продуктів подрібнення

Для I та II драних систем, просіювання продуктів подрібнення здійснювали на контрольному металотканному ситі № 1, для III драної крупної та дрібної просіювання здійснювали на контрольному ситі № 08 (12,5ПЧ-240).

Загальний добуток проміжних продуктів подрібнення, який характеризував режим роботи вальцьового верстата розраховували за формулою:

$$B_o = \left(\frac{m_n}{m_s} - H \right) \cdot 100 \quad (2.1)$$

де, B_o – загальний добуток проміжних продуктів подрібнення, %; m_s – загальна маса відібраного зразка після вальцьового верстата, г; m_n – маса проходу контрольного сита, г; H – недосів, г.

Проходову фракцію після просіювання на контрольному ситі зважували і далі розсіювали на ситах № 12ПЧ-240, № 17,5ПЧ-180, № 27ПА-120, № 41/43ПА. Проходом сита № 41/43ПА виділяли борошно. Вихід окремих фракцій продуктів подрібнення характеризували як прохід та схід сита, розміри отворів яких наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Гранулометрична характеристика окремих фракцій продуктів подрібнення на драних системах [86]

№ п/п	Найменування продукту	Діапазон розмірів частинок, мкм	
		прохід сита	схід сита
1	Крупна крупка	1000	600
2	Середня крупка	600	390
3	Дрібна крупка	390	250
4	Дунсти	250	160
5	Борошно	160	–

Після просіювання кожену фракцію продукту зважували та перераховували у відсотки за формулою 2.2:

$$B_i = \left(\frac{m_i}{m_3} - H \right) \cdot 100 \quad (2.2)$$

де, B_i – вихід i -ї фракції, %; m_3 – загальна маса відібраного зразка після вальцьового верстата, г; m_i – маса i -го продукту отриманого після розсіювання на ситах, г.

Недосів визначали відбираючи продукти подрібнення перед надходженням їх на вальці вальцьового верстата. Продукт після відбору просіювали на контрольних ситах, перераховували у відсотки і враховували під час розрахунку виходу окремих фракцій продуктів подрібнення. У випадку, якщо недосів не спостерігався його під час розрахунків не враховували.

На основі отриманих значень будували залежності в координатах «Загальний добуток проміжних продуктів подрібнення – Вихід фракції».

Для дослідження системи «вальцьовий верстат – ентолейтор-дисмембратор» було обрано перші три розмелювальні системи першої якості, на яких встановлюють ентолейтори-дисмембратори для максимального подрібнення збагачених продуктів у борошно.

Зміна режимів подрібнення та відбір зразків на першій розмелювальній системі здійснювали наступним чином: під час роботи розмелювального відділення на вказаній системі по всій довжині вальця відбирався за допомогою лотка продукт в кількості до 400...500 г. Оскільки продукти подрібнення першої розмелювальної системи подаються пневмотранспортом із вальцьового верстата в ентолейтори-дисмембратори, а потім у циклон-розвантажувач, то відбір зразків при різних режимах подрібнення здійснювали через лючки після циклона-розвантажувача. Після відбору продукту за допомогою штурвалу, яким обладнано вальцьові верстата, змінювали зазор між вальцями і повторно здійснювали відбір продукту по всій довжині вальця та після ентолейтора-дисмембратора.

Продукти подрібнення просівали на наборі сит № 27ПА-120, № 33/36ПА, № 41/43ПА та № 49/52ПА. Окремі класи продуктів подрібнення характеризували як прохід та схід через визначені розміри отворів сит у відповідності до загальноприйнятих характеристик продуктів, які наведено у табл. 2.2.

Після вибору усі продукти подрібнення просівали на ситах з розмірами отворів у відповідності із наведеними у табл. 2.2. Під час просіювання також враховували недосіви борошна у продуктах, які надходили на першу розмелювальну систему.

Таблиця 2.2

Гранулометрична характеристика окремих фракцій продуктів подрібнення розмелювальних систем

№ п/п	Найменування продукту	Діапазон розмірів частинок, мкм	
		прохід сита	схід сита
1	Суміш середньої та дрібної крупок	–	250
2	Дунсти жорсткі	250	200
3	Дунсти м'які	200	160
4	Борошно першого сорту	160	132
5	Борошно вищого сорту	132	–

Режим роботи вальцових верстатів перших трьох розмелювальних систем визначали за виходом борошна вищого сорту, оскільки при сортових помелах пшениці вихід борошна вищого сорту має найбільше значення і основним продуктом подрібнення на етапі розмелу є вихід борошна. Оцінку режимів роботи подрібнюючого обладнання розмелювального етапу здійснювати за добутком борошна вищого сорту.

Вихід борошна вищого сорту розраховували із врахуванням недосівів за формулою:

$$B_{\text{б.в.с}} = \frac{m_{\text{б.в.с}}}{m_3} \cdot 100 - H \quad (2.3)$$

де, $B_{б.в.с}$ – вихід борошна вищого сорту, %; $m_з$ – загальна маса відібраного зразка після вальцьового верстата або ентолейтора-дисембратора, г; $m_{б.в.с}$ – маса борошна вищого сорту отриманого після розсіювання на ситах, г; H – недосів, визначений шляхом просіювання відібраного зразка продукту, який поступає на першу розмелювальну систему, %.

Отримані результати виходу окремих фракцій продуктів подрібнення зображували графічно у координатах «загальний добуток борошна – вихід фракції».

Під час досліджень у виробничих умовах використовували кінематичні та геометричні параметри роботи вальців, які наведено в таблиці 2.3.

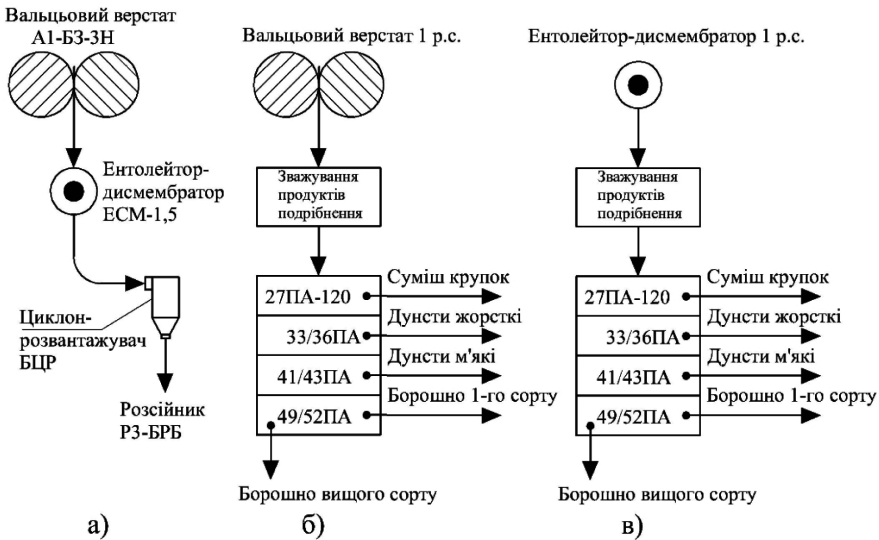


Рис. 2.3. Схема досліджень режимів роботи розмелювальних систем:

а – принципова схема взаєморозташування вальцьового верстата А1-БЗ-ЗН та ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5;

б – схема лабораторного аналізу кількісних характеристик подрібнених зернопродуктів після вальцьового верстата;

в – схема лабораторного аналізу кількісних характеристик подрібнених зернопродуктів після ентолейтора-дисембратора.

**Кінематичні та геометричні параметри вальців
на досліджуваних технологічних системах
борошномельного заводу**

Система	Число рифлів на I см кола вальця, R, шт.	Ухил рифлів, γ , %	Співвідношення швидкостей обертання вальців, K	Швидкість обертання швидкохідного вальця, V , м/с	Взаєморозташування рифлів	Кути нахилу рифлів, град.	Типорозмір вальців
Плющильна система	15,3	6	1,25	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
I др.с.	4	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
II др.с.	5,4	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
III др.с.кр.	6,5	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
III др.с.др.	7,5	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
1 р.с.	–	–	1,25	5	–	–	1000×250
2 р.с.	–	–	1,25	5	–	–	1000×250
3 р.с.	–	–	1,25	5	–	–	1000×250

На перших трьох розмелювальних системах встановлені мікрошорохуваті вальці. Швидкість обертання роторів ентолейторів-дисмембраторів становила 50с-1 (3000 об/хв) і під час досліджень не змінювалася.

2.3.4. Методика визначення ефективності роботи розмелювального відділення борошномельного заводу. Ефективність роботи борошномельного заводу визначали порівнюючи кумулятивні криві, які будували на основі кількісно-якісних балансів борошна.

Вихід готової продукції визначали за допомогою вагів перед першою драною системою та вагів контролю готової продукції на протязі години. Отримані дані перераховували у відсотках.

Кількість борошна кожної секції розсійника визначали наступним чином: під розсійником знімали з'єднувальний

рукав і підносили під вихідний патрубок лоток для відбору борошна. Борошно відбирали протягом 10 с.

Відібрані потоки борошна після кожної секції розсійника зважували на технічних вагах та визначали його білість. На основі кількості отриманого борошна після кожної секції розсійників та його білості розраховували та будували кумулятивні криві білості борошна за методикою, яка наведена у роботі [50].

Кумулятивна крива білості борошна являє собою залежність зміни середньозваженої білості борошна та його виходу. Для розрахунку отримані дані по кожному потоку борошна розташовували у порядку зменшення білості, від найбільшого до найменшого. Потім додавали вихід борошна у порядку зменшення білості і для кожного добутку суми розраховували середньозважене значення білості \bar{B} , за формулою 2.4 [50]:

$$\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i \cdot B_i)}{\sum_{i=1}^n D_i}, \% \quad (2.4)$$

де, D_i та B_i – відповідно значення виходу і зольності кожного потоку борошна, %.

Дані значень середньозваженої білості борошна та виходу борошна зображували у вигляді графіку « $\bar{B} - \sum D_i$ ».

2.3.5. Методика досліджень фракціонування зерна.

З метою з'ясування можливості фракціонування зерна у виробничих умовах досліджували гранулометричні характеристики зерна пшениці шляхом розділення їх на окремі фракції, просіюючи наважки зерна масою 100 г на наборі решітних полотен із розмірами отворів 1,0×20 мм, 1,5×20 мм, 1,7×20 мм, 2,0×20 мм, 2,2×20 мм, 2,4×20 мм, 2,6×20 мм, 2,8×20 мм, 3,0×20 мм, 3,2×20 мм.

На основі отриманих даних будували диференційні та інтегральні криві розподілу крупності зерна, по яким визначали кількісні характеристики окремих фракцій зер-

на. Для вивчення можливості фракціонування зерна перед луценням використовували три довільні партії зерна пшениці, показники якості яких наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Показники якості досліджуваних партій зерна пшениці

Показник	Зразок			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Натура зерна, г/л	795	747	735	740
Вологість зерна, %	10,4	10,5	10,2	10,5
Вміст білку, %	11,0	11,4	11,0	9,5
Смітна домішка, %	0,1	0,2	0,2	0,1
Зернова домішка, %	0,5	2,1	2,2	2,2

2.4. Методика визначення витрат електроенергії на помел

Середні питомі витрати електроенергії на переробку однієї тони зерна визначали за показами електролічильника борошномельного заводу щомісячно із наступним перерахунок враховуючи кількість переробленого зерна за звітний період.

2.5. Методика дослідження процесу плющення

Перед початком досліджень зерно пшениці очищали у лабораторному зерноочисному сепараторі ЗЛС з метою виділення дрібних домішок, крупного та дрібного зерна. Метою цієї операції також було вирівнювання зерна за геометричними розмірами. В зерноочисному сепараторі використовувався набір решітних полотен із розмірами отворів 3,0×20 мм, 2,4×20 мм та 1,8×20 мм. Дослідну фракцію зерна виділяли проходом решітного полотна 3,0×20 мм і сходом 2,4×20 мм.

Вирівняну за розмірами фракцію зерна пропускали через лабораторний аспіраційний канал з шириною 60 мм з метою виділення легких домішок та частково щуплого зерна пшениці. Після чого визначали показники якості дослідної фракції зерна пшениці з стандартними методиками. В підготовленій пшениці визначали вологість, натуру та скловидність зерна, а також масу 1000 зерен.

Вологість дослідного зерна пшениці визначали відповідно до ISO 712:2009(E). «Cereals and cereal products. Determination of moisture content», шляхом висушування в сушильній шафі подрібненої у лабораторному млинку наважки зерна пшениці масою 5 г протягом 60 хв при температурі 130 °С.

Натуру зерна пшениці вимірювали за допомогою літрової пурки ПХ-2 відповідно до ISO 7971-3:2009(E). «Cereals – Determination of bulk density, called mass per hektolitre». Відміряну масу одного літру зерна пшениці зважували на технічних вагах 2-го класу точності.

Масу 1000 зерен пшениці вимірювали відповідно до ISO 520:2010. «Cereals and pulses – Determination of the mass of 1000 grains» шляхом відрахування 1000 цілих зерен із загальної маси зерна пшениці.

Скловидність зерна пшениці вимірювали відповідно до ГОСТ 10987-76 «Зерно. Методы определения стекловидности» за допомогою діафаноскопу ДСЗ-3, шляхом просвічування 100 зерен пшениці світловими променями.

Режими плющення різної за показниками якості пшениці визначали в залежності від величини зазору між вальцями, які встановлювали за допомогою каліброваних пластин. Величину зазору змінювали від 0,8 мм до 2,0 мм із кроком 0,2 мм. Усі досліди проводили у чотирьох повторностях. За кінцеве значення приймали середньоарифметичне значення чотирьох вимірювань. Отримані продукти просіювали на металотканому ситі з розміром отворів 1,0 мм. Отриману масу продукту перераховували у відсотки до загальної маси зерна. Перед плющенням зразки зер-

на зволожувались до 16,0 % і відлежувались протягом доби. Після відлежування визначалася їх фактична вологість.

Вплив режимів плющення на ефективність подрібнення на I драній системі здійснювали за наступною методикою.

Перед проведенням плющення зерно пшениці насипали у дві великі ємності по 2,5 кг в кожну і заливали розраховану за формулою 1 кількість води. Кінцева розрахункова вологість пшениці приймалася 16,0 %.

$$G_e = G_z \left(\frac{W_1 - W_0}{100 - W_1} \right), \quad (1)$$

де G_e , G_z – відповідно маса води та маса зерна, яка підлягає зволоженню, г; W_0 , W_1 – відповідно вологість зерна початкова та задана ($W = 16,0$ %), %.

Після додавання розрахункової кількості води зерно активно перемішувалося протягом 5 хв. і залишалося на добу для відлежування. Перед проведенням плющення, зерно з обох ємностей об'єднувалося та ретельно перемішувалося. Перед початком досліджень відбиралася навійзерка зерна пшениці для визначення фактичної вологості зерна, а решта зерна пшениці направлялася на дослідження. З цієї маси зерна $1,0 \pm 0,1$ кг пшениці залишали для контрольного зразка, який подрібнювався у вальцовому верстаті без плющення.

Плющення зерна пшениці проводилося при чотирьох різних режимах, які характеризувалися відстанню між вальцями плющильного верстата. Відстань між вальцями вимірювали за допомогою каліброваних за товщиною ручних пластин. Відстань між вальцями встановлювалася від 0,4 до 1,6 мм із кроком в 0,4 мм. Швидкість обертання вальців плющильного верстата становила $14,6 \text{ с}^{-1}$ (880 об/хв), ширина вальців – $68,4 \pm 0,1$ мм, а діаметр вальців – $144,0 \pm 0,01$ мм, співвідношення колових швидкостей вальців – 1,0.

Плющенню піддавали зразки відлежаної пшениці масою 1,0 кг. Після плющення отримані продукти пропус-

кали через аспіраційний канал із шириною каналу 60 мм з метою виділення борошна, дунстів та частково крупок. Цей етап проводили з метою приведення усіх продуктів плющення до однакових умов. Після очищення продуктів плющення в аспіраційному каналі продукти плющення зважувалися і направлялися на вальцьовий верстат I драної системи лабораторної установки ЛМ-2.

Продукти плющення пропускалися через вальцьовий верстат I драної системи ЛМ-2 без зміни режиму подрібнення, з метою з'ясування зміни загального добутку та виходу окремих фракцій продуктів подрібнення.

Вальці вальцьового верстата I драної системи лабораторної установки ЛМ-2 мали наступні кінематичні та геометричні параметри: довжина вальців – 70 мм; кількість рифлів на 1 см кола вальців – 6, ухил рифлів – 12 %, співвідношення колових швидкостей – 1:2, швидкість обертання швидкохідного вальця – 3,93 м/с, діаметр вальців – 150 мм, взаєморозташування рифлів – сп/сп, кути загострення рифлів – 35°/70°. Відстань між вальцями I драної системи приймали 0,5 мм у відповідності до «Методики проведення лабораторних помолів на мельнице типа ЛМ» [137].

У процесі подрібнення, лотком відбиралися по чотири зразки суміші проміжних продуктів подрібнення, для просіювання з метою визначення загального добутку, тобто встановлення режиму подрібнення I драної системи. Загальний добуток визначали шляхом просіювання продуктів подрібнення на металотканому ситі з отворами 1,0 мм. Під час просіювання на сито клали три кульки з метою його очищення. Принципову схему досліджень наведено на рисунку 2.4.

Після визначення загального добутку, продукти чотирьох повторностей об'єднувалися і проводилося визначення гранулометричного складу продуктів подрібнення. Гранулометричний аналіз здійснювали на наборі сит з такою умовою, щоб модуль сита знаходився в межах

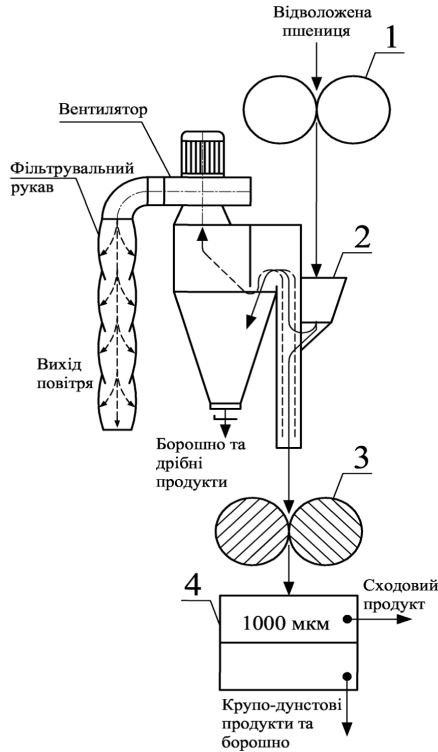


Рис. 2.4. Принципова схема досліджень впливу плющення на загальний добуток проміжних продуктів подрібнення:

1 – плющильний верстат; 2 – аспіраційний канал; 3 – вальцовий верстат I драної системи; 4 – контрольне сито для визначення загального добутку

$\pm 1,21$, для цього використовувалися сита, які наведено в таблиці 2.5.

Після просіювання здійснювали обробку експериментальних даних та робили висновки щодо зміни загального добутку та виходу окремих фракцій продуктів подрібнення.

При незмінних режимах подрібнення здійснювали подрібнення цілого зерна пшениці (контрольний зразок) з відбором проміжних продуктів подрібнення та подальшим їх гранулометричним аналізом.

Характеристика сит

№ п/п	Номер сита	Розмір отворів сита, мкм
1	0,045	45
2	0,056	56
3	0,071	71
4	0,09	90
5	0,112	112
6	49/52	132
7	41/43	160
8	33/36	200
9	27ПА-120	250
10	22,7ПЧ-150	300
11	17,5ПЧ-180	390
12	15,5ПЧ-200	450
13	12,5ПЧ-240	560
14	11ПЧ-240	670
15	9,3ПЧ-270	800
16	1,0	1000

2.6. Математична обробка результатів досліджень

Точність вимірювань та достовірність отриманих даних досліджень опрацьовувались на кожному етапі дослідних робіт.

Математична обробка окремих серій досліджень, порівняння розрахункових і вимірних даних виконано на ПК з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel та Advanced Grapher. Розрахунок рівнянь регресії проводили за допомогою методу найменших квадратів [95, 150, 153].

Для зручності аналізу і практичного використання отримані дані викладені у вигляді графіків, формул, таблиць.

При поданні графіків розраховували коефіцієнти кореляції, які показують взаємозв'язок між двома і більше ознаками, який розраховували за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.5)$$

де, \bar{x} , \bar{y} – ознаки об'єкта досліджень.

Стандартне відхилення (середньоквадратичне відхилення) визначали за формулою:

$$S_{\frac{y}{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_0 - \bar{y}_i)^2}{n-2}} \quad (2.6)$$

де, Y_0 – теоретичне значення розраховане за рівнянням регресії; \bar{y}_i – експериментальне значення, отримане в результаті експерименту.

Стандартне відхилення дає можливість оцінити відхилення експериментальних даних від розрахованого за рівнянням регресії.

Висновки до розділу 2

1. Сформульовано програму досліджень з метою удосконалення технологічного процесу виробництва сортового хлібопекарського борошна на основі пошуку та аналізу літературних та інформаційних джерел.

2. Для реалізації наміченої програми досліджень обрано та наведено загальноприйнятні методики, що дозволяють провести аналіз ефективності ведення технологічного процесу виробництва борошна та дослідити процеси підготовки та помелу зерна.

Розділ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ В БОРОШНО ПРИ ВИКОРИСТАННІ СКОРОЧЕНОЇ СХЕМИ ПОМЕЛУ

У цьому розділі наведено результати досліджень технологічних прийомів та процесів підготовки зерна пшениці до переробки, які дозволяють покращити результати помелу, збільшити вихід готової продукції та підвищити її якість. Розглянуто зміни виходу круподунстових продуктів в залежності від режимів подрібнення зерна перших трьох драних систем та перших трьох розмелювальних. Визначено режими подрібнення зерна та сходових продуктів на драних і розмелювальних системах.

3.1. Вплив додаткового очищення зерна в елеваторі на показники виходу та якості борошна

Підготовка зерна до помелу займає важливе місце в технології виробництва борошна для забезпечення якості готової продукції. В практиці борошномельного виробництва доводиться працювати із зерном, властивості якого суттєво змінюються від сорту, району вирощування, року вирощування тощо. Властивості зерна також можуть змінюватися під дією різних факторів в процесі післязбиральної обробки (сушіння, зберігання, транспортування тощо). Все це призводить до великого різноманіття зерна, яке надходить на борошномельні підприємства, тому основна мета підготовки зерна до помелу – необхідність покращення вихідних технологічних властивостей зерна, що дає можливість підтримувати в розмелювальному від-

діленні борошномельного заводу незмінні параметри режимів роботи всього технологічного обладнання [62, 92].

Одноразовий прохід зерноочисного обладнання в підготовчому відділенні борошномельного заводу не завжди забезпечує повноцінне очищення зерна від усіх наявних в зерновій масі домішок, перед усім за рахунок коливання їх вмісту та технологічної ефективності обладнання. Так, технологічна ефективність зерноочисних сепараторів коливається в межах 60...80 % [3...5]. Тому створюють додаткову підготовку зерна до помелу шляхом повторного пропуску зерна через зерноочисне обладнання.

В елеваторах, які обладнані зерноочисним обладнанням є можливість виконувати ряд важливих технологічних операцій, які сприяють підвищенню ефективності використання зерна при переробці зерна в борошно. Недооцінка технічних можливостей елеватора може призводити до порушення технологічного процесу на борошномельному заводі [62].

Враховуючи вищесказане, було поставлено мету дослідити зміни якості та виходу борошна при переробці зерна пшениці в сортове борошно у виробничих умовах, які проводили на Вінницькому комбінаті хлібопродуктів № 2.

Очищення зерна в елеваторі проходило в зерновому сепараторі А1-БІС-100, після чого його направляли в зерноочисне відділення борошномельного заводу.

Технологічний процес підготовки зерна до помелу здійснювався за «сухим» способом, який включав очищення зерна, обробку його поверхні та подвійне зволоження: основне та додаткове перед I драною системою.

Дослідженнями показників якості зерна пшениці, яке пройшло підготовку в елеваторі виявлено, що очищення зерна в елеваторі дозволило зменшити вміст смітних домішок на 0,1 %, зернових – на 0,4 %, а також збільшити натуру зерна із 773 до 780 г/л. Результати досліджень наведено в табл. 3.1. Ефективність виділення в зерноочисному відділенні смітних домішок становила 51...55 %,

зернових – 55...58 %. Таким чином можна зробити висновок, що додаткове одноразове проходження зерна через зерноочисні сепаратори елеватора дають змогу збільшити показники якості зерна, яке направляється до зерноочисного відділення борошномельного заводу.

Таблиця 3.1

Показники якості зерна пшениці

Найменування показників	Показники якості зерна пшениці без очищення в елеваторі		Показники якості зерна пшениці з очищенням в елеваторі	
	на вході в зерноочисне відділення	перед I др.с.	на вході в зерноочисне відділення	перед I др.с.
Натура зерна, г/л	773	–	780	–
Вологість, %	14,2	16,0	14,2	16,2
Склоподібність, %	37	37	39	39
Смітна домішка, %	0,7	0,36	0,6	0,33
Фузаріозних зерен, %	0,1	–	0,12	–
Вміст віскюга, %	0,08	–	–	–
Зернові домішки, %, в т.ч.біті зерна	3,8	2,2	3,4	1,9
ячмінь	2,2	2,0	1,9	1,8
пророслі зерна	0,1	0,1	0,2	0,1
пророслі зерна	0,3	0,2	0,2	–
Зенова домішка в проході	1,2	–	1,1	–
Кількість клейковини, %	22	22	22	22

При переробленні підготовлених партій пшениці знімали баланси борошна, визначали його якість за показником білості, розраховували вихід борошна по кожному потоку і будували кумулятивні криві середньозваженої білості. Кумулятивні криві середньозваженої білості борошна двох серій досліджень наведено на рис. 3.1.

Аналіз рис. 3.1 свідчить, що починаючи від сумарного виходу 20 % починається значне зменшення середньозваженої білості борошна при переробленні зерна пшени-

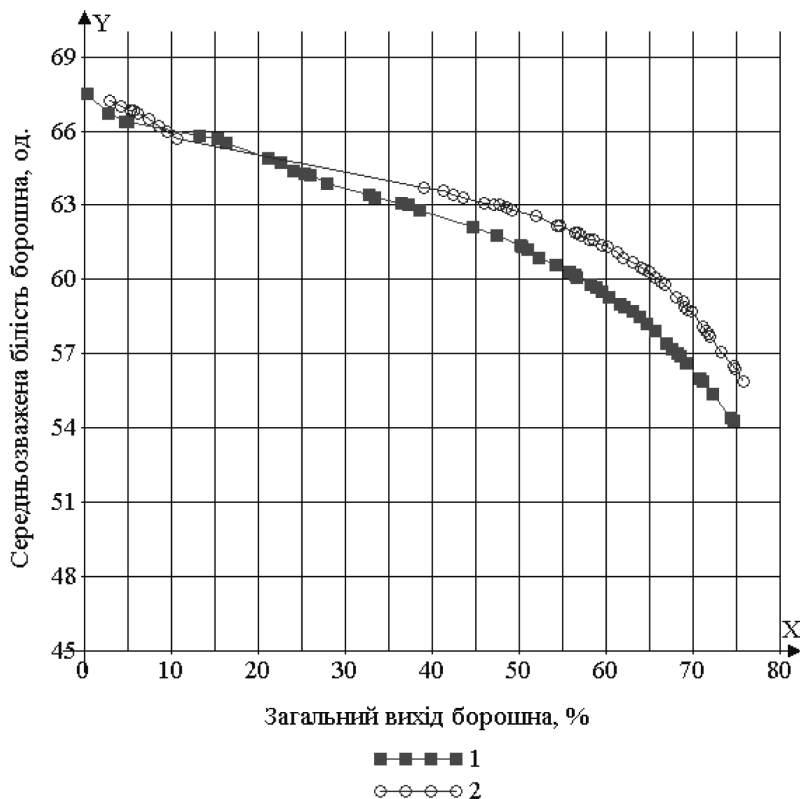


Рис. 3.1. Кумулятивні криві середньозваженої білості борошна при сортовому помелі пшениці за умови:

- 1 – зерно пшениці, що не проходило очищення в елеваторі;
- 2 – зерно пшениці додатково очищалося в елеваторі.

ці, яке не проходило попереднього очищення в елеваторі в порівнянні із аналогічними даними переробленої партії пшениці, яка пройшла попередню підготовку в елеваторі.

Кінцеві результати помелу, які наведено в табл. 3.2 свідчать про те, що загальний вихід борошна переробленої партії пшениці за добу, яке не проходило підготовки в елеваторі був меншим на 1,2 % ніж тієї партії, яка проходила підготовку в елеваторі.

Таблиця 3.2

Результати помелу пшениці в сортове борошно

Вид обробки	Загальний вихід борошна, %	Середньозважена білість борошна, од
Партія зерна пшениці, яка не очищалася в елеваторі	74,6	54
Партія зерна пшениці, яка очищалася в елеваторі	75,8	55

Аналіз показників якості окремих сортів борошна та його виходу показав, що при підготовці зерна до помелу із попереднім очищенням в елеваторі вихід вищого сорту збільшився на 2,5 % за рахунок зменшення виходу борошна першого сорту. Дослідженнями встановлено, що білість борошна вищого та першого сорту не змінилася, кількість та якість клейковини в борошні вищого сорту також не змінилися. Відповідно до даних наведених в табл. 3.3 видно, що вміст клейковини в борошні першого сорту збільшився з 27 до 29 %. Збільшення вмісту клейковини можна пояснити тим, що вміст білку та клейковини розташовані в середині ендосперму не рівномірно і більша кількість клейковини знаходиться ближче до верхні зерна.

У процесі помелу відбирали зразки продуктів подрібнення з метою контролю режимів роботи перших трьох драних систем. Результати досліджень режимів роботи вальцьових верстатів наведено в табл. 3.4.

Аналіз даних табл. 3.4 показав, що при помелі пшениці в борошно були відхилення в режимах подрібнення II та III драних систем, але це не вплинуло на зміну показників якості борошна в гіршу сторону. Режим роботи I драної системи переважно залишався незмінним.

Одними із визначальних показників, які характеризують технологічні властивості зерна є показники пробної випічки [49, 50, 74]. Після вироблення борошна відбирали зразки борошна вищого і першого сорту, з яких випікали

Таблиця 3.3

Вихід і показники якості сортів борошна

Найменування показника	Партія зерна пшениці, яка не очищала-ся в елева-торі	Партія зерна пшениці, яка очищала-ся в елеваторі
Загальний вихід борошна вищого сорту	55,0	57,6
Загальний вихід борошна першого сорту	19,5	18,2
Білість борошна вищого сорту, од.	59	59
Білість борошна першого сорту, од.приладу ВДК	44	44
Вміст клейковини в борошні вищого сорту, %	25	25
Вміст клейковини в борошні першого сорту, %	27	29
Якість клейковини в борошні вищого сорту, од. приладу	60	60
Якість клейковини в борошні першого сорту, од. приладу	75	80

Таблиця 3.4

Середні показники вилучення проміжних продуктів подрібнення на вальцових верстатах перших трьох драних систем

Найменування показника	Партія зерна пшениці, яка не оброблялася в елеваторі, %	Партія зерна пшениці, яка очищала-ся в елева-торі, %
I др.с.	42	41
II др.с.	66	61
III др.с.кр	31	41
III др.с.др	18	28

хліб формовий у відповідності до ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба». Після випічки хліба визначали показники його об'ємного виходу та пористість м'якиша. Результати досліджень наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Показники пробної випічки хліба із зерна підготовленого в елеваторі та без його підготовки

Найменування показника	Зерно очищене лише в зерноочисному відділенні		Зерно очищене в елеваторі та зерноочисному відділенні	
	борошно вищого сорту	борошно 1-го сорту	борошно вищого сорту	борошно 1-го сорту
Пористість, %	81	78	81	71
Об'ємний вихід хліба, см ³	400	398	403	398

Аналіз даних наведених в табл. 3.5 показує, що пористість хліба випеченого із борошна вищого та першого сорту не змінюється незалежно від способу підготовки зерна до помелу, а об'ємний вихід хліба при виробленні його із борошна вищого сорту збільшився на три одиниці. Об'ємний вихід хліба виробленого із борошна першого сорту залишився незмінним незалежно від способу підготовки зерна до помелу.

Усі наведені результати досліджень підтверджують доцільність попередньої підготовки зерна до помелу в елеваторі, результатом якої є підвищення виходу борошна, його якості та показників якості хліба виробленого із добре підготовленого зерна перед його подрібненням.

3.2. Ефективність фракціонування зерна пшениці перед луценням

Застосування луцення зерна на борошномельних заводах з метою зняття оболонки і покращення технологічних властивостей широко застосовувалось в минулому і набуває актуальності із розвитком техніки і технології переробки зерна в борошно. Раніше застосовувались оббивальні машини з абразивним циліндром та щіткові машини типу А1-ЗПН [31]. Нині луцення зерна набуло нового

розвитку завдяки появі нових луцильників, які дають можливість знімати оболонки в кількості до 9 % без пошкодження ендосперму. В Україні такі луцильники (дебрандери) виготовляє ТОВ «ОЛІС» серія «Каскад-М» [33]. За даними [15] ефективність роботи дебрандерів при луценні пшениці в середньому в 10 разів вища ніж оббивальних машин.

Загальним недоліком усіх луцильників є їх відносно невисока продуктивність, яка залежить від крупності і вологості зерна та режиму луцення. Високопродуктивні луцильники отримали назву дебрандерів (з англ. debraning - луцення) У середньому продуктивність дебрандерів становить від 2,3 до 3,0 т/год, що вимагає відповідної організації технологічного процесу підготовки зерна до помелу при використанні дебрандерів на борошномельних заводах середньої та великої продуктивності, оскільки при повному луценні зерна пшениці для борошномельного заводу продуктивністю 250 т/добу необхідно 5 дебрандерів, а для борошномельного заводу продуктивністю 350 т/добу необхідно 6 дебрандерів. Така кількість обладнання призводить до надмірних витрат електроенергії та витрат на обслуговування. Тому існує необхідність розробки технології підготовки зерна до помелу із застосуванням луцення для борошномельних підприємств середньої та великої продуктивності.

У фірмі ОЛІС [15] запропоновано луцити дрібну фракцію зерна пшениці, яку рекомендується виділяти в зерноочисних відділеннях борошномельних заводів на сепараторах барабанного типу з метою зменшення навантаження на дебрандери. Дану технологічну операцію доцільно проводити після основного етапу відволоження зерна пшениці та використовувати для борошномельних заводів великої продуктивності.

Низка типових борошномельних заводів на відтворюваному обладнанні передбачають додаткові зерноочисні сепаратори типу А1-БІС-12 із плоскими решітними полот-

нами, які можна застосувати для відбору дрібної фракції, яку потім направити на лущення. Це дозволяє зменшити навантаження на дебрандери і покращити результати помелу в цілому. В залежності від вмісту дрібного зерна в зерновій масі доцільно фракціонувати не менше 30 % дрібної фракції, яка знаходиться у вихідному зерні [10], саме таку кількість рекомендовано ВНДІ зерна і продуктів його переробки, та «Правилами» [62, 86].

Зернові сепаратори із плоскими решітними полотнами мають ефективність сепарування до 40 % в елеваторному режимі і до 80 % на кінцевому очищенні [96, 97], але при фракціонуванні зерна ефективність сепарування невідома. Оскільки робота сепараторів залежить від розмірів отворів решітних полотен, то є доцільним провести дослідження ефективності фракціонування зерна на плоских решітних полотнах. При фракціонуванні зерна перед лущенням також особливої актуальності набуває підбір решітних полотен для виділення дрібної фракції зерна в необхідній кількості для забезпечення ефективної роботи дебрандерів «Каскад-М».

На рис. 3.2 наведено результати дослідження за якими побудована диференціальна крива розподілу чотирьох довільних зразків зерна пшениці, яка показує розподіл крупності зерна пшениці в залежності від розмірів отворів решітних полотен. Найбільша кількість крупних зерен від 30,7 % до 44,3 % міститься у фракції проходу решітного полотна № 2а-3,0×20 і сходу решітного полотна № 2а-2,8×20.

Дані рис. 3.2 свідчать про те, що кількість зерен фракції отриманої проходом решітного полотна № 2а-3,0×20 та сходом № 2а-2,8×20 збільшується із зниженням натуре зерна, в одночас збільшується вміст дрібніших фракцій і зменшується вміст крупніших фракцій зерна. Із підвищенням натуре кількість зерен крупніших за фракцію виділену проходом решітного полотна № 2а-3,0×20 та сходом № 2а-2,8×20 збільшується.

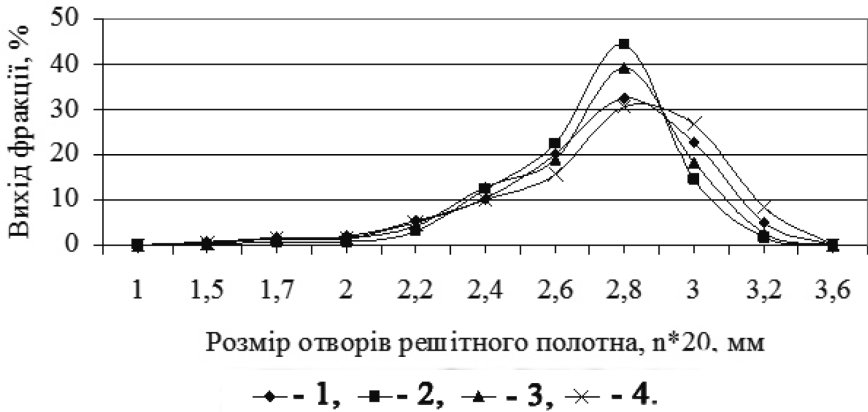


Рис. 3.2. Диференціальні криві розподілу крупності зерна пшениці:

- 1 – зразок № 1 (натура 795 г/л);
- 2 – зразок № 2 (натура 747 г/л);
- 3 – зразок № 3 (натура 735 г/л);
- 4 – зразок № 4 (натура 740 г/л).

Аналіз отриманих в результаті досліджень інтегральних кривих, які наведено на рис. 3.3 показав, що для виділення пшениці в кількості не менше 30 % дрібної фракції, яка знаходиться у вихідному зерні після відволожування, необхідно встановити решітне полотно із розміром отворів № 2а-2,5×20...2,6×20.

Дослідження, які проведені у виробничих умовах, дозволили отримати результати, що при фракціонуванні пшениці із натурою 790 г/л на решітних полотнах № 2а-2,6×20 не можна відібрати до 30 % дрібного зерна за рахунок низької ефективності розділення зернової суміші в сепараторах типу А1-БІС-12, тому для виділення дрібної фракції в кількості до 30 % можна рекомендувати застосовувати для вказаних типів сепараторів решітні полотна із отворами № 2а-2,8×20 та № 2а-3,0×20 мм.

Низьку ефективність фракціонування зерна в зерноочистних сепараторах А1-БІС-12 можна пояснити тим, що



Рис. 3.3. Інтегральні криві розподілу зерна пшениці за крупністю:

- 1 – зразок № 1 (натура зерна 795 г/л);
- 2 – зразок № 2 (натура зерна 747 г/л);
- 3 – зразок № 3 (натура зерна 735 г/л);
- 4 – зразок № 4 (натура зерна 740 г/л)

в лабораторних умовах зразки зерна пшениці просіювали у замкнутому просторі лабораторних обичайок на протязі 3 хвилин.

У зерноочисних сепараторах типу А1-БІС-12 тривалість знаходження зернівки на решітному полотні значно менше, що призводить до зниження ефективності проходження зерна через отвори решіткового полотна. Дослідженнями проведеними у виробничих умовах було встановлено, що розрідження решітних полотен з № 2а-2,6×20 до № 2а-3,0×20 дає змогу підвищити виділення 30% дрібної фракції зерна необхідного для забезпечення постійної і безперебійної роботи дебрандерів.

3.3. Дослідження режимів подрібнення зерна на I драній системі

Вивчення режимів роботи драних систем раніше пов'язувалося безпосередньо із розмірами отворів сит, які були визначальними при виділенні крупок, дунстів та борошна, на основі цих даних будувалися гранулометричні характеристики. В практичній діяльності при помелі зерна технолог контролює режими подрібнення на драних системах не вивчаючи гранулометричних характеристик, але знаючи вплив режимів роботи драних систем на вихід тих чи інших продуктів, що дає можливість інтенсифікувати режим роботи системи за максимальним виходом окремих фракцій продуктів. Крім того, знання щодо впливу режимів роботи драних систем та пов'язаних із ними виходи круподунстових продуктів дають можливість розраховувати теоретичні баланси помелів із інтенсифікованими режимами роботи драних систем. Досліджень щодо вивчення виходу крупок, дунстів та борошна в залежності від режимів подрібнення зерна та сходових продуктів з метою їх практичного застосування результатів досліджень не проводилось.

На першій драній системі подрібнюється зерно, яке очищене і підготовлене в зерноочисному відділенні. Утворені проміжні продукти подрібнення сортуються у розсійнику, сходові продукти направляються на наступну II драну систему, а круподунстові продукти направляються на збагачення. Дослідженнями виходу крупок, дунстів і борошна на I драній системі встановлено, що при збільшенні загального добутку проміжних продуктів (прохід сита № 1,0) з 29,4 % до 56,6 % вихід цих продуктів має нелінійний поліноміальний характер, що є відмінним від тих даних, які наводяться рядом дослідників.

При проведенні досліджень, вальцьові верстати працювали за не змінних параметрах вальців за наступних режимів, а саме число рифлів на I см кола вальця, R,

дорівнював 4 шт., ухил рифлів, Y , -6%, співвідношення швидкостей обертання вальців, K -2,5, швидкість обертання швидкохідного вальця, V , -6 м/с, взаємного розташування рифлів – сп/сп, кути нахилу рифлів, град. – $30^\circ/65^\circ$.

При сортових помелах пшениці величина міжвальцьового зазору змінюється і знаходиться в межах 0,03...1,5 мм і є єдиним параметром, який регулюється у вальцьовому верстаті. Але його величина не є сталою, навіть для однієї і тої системи тому, що добуток продуктів помелу на ній повинен бути сталим [10].

При збільшенні загального добутку проміжних продуктів з 29,4 % до 56,6 % вихід крупної крупки зменшувався на 2,6 % з 12,9 % до 10,3 %. Дослідженнями також встановлено, що залежність виходу крупної крупки від загального добутку проміжних продуктів має екстремум і набуває максимального значення в межах 37,0...45,0 %, при цьому вихід крупної крупки відповідно коливається від 15,5...15,6 %. Результати досліджень наведено на рис. 3.4. Вихід середньої, дрібної крупки, дунстів та борошна має зростаючий характер із збільшенням загального добутку продуктів помелу.

Із збільшенням загального добутку продуктів помелу на I драній системі із 29,4 % до 56,6 % вихід середньої крупки збільшувався на 10,1 % з 7,9 % до 18,0 %; вихід дрібної крупки збільшувався на 3,8 % з 2,4 % до 6,2 %; вихід дунстів збільшувався на 8,7 % з 3,9 % до 12,6 %, а вихід борошна збільшувався на 7,3 % з 2,2 % до 9,5 %.

Нааявність екстремуму на кривій виходу крупної крупки має наступне пояснення: збільшення виходу середньої, дрібної крупки, дунстів та борошна відбувається за рахунок переподрібнення крупної крупки в більш дрібніші продукти помелу зі збільшенням загального добутку продуктів на I драній системі, про що свідчить спадний характер кривої виходу крупної крупки при загальному добутку продуктів помелу більше ніж 40,0 % і наростаючий характер кривих менших за крупністю продуктів ніж крупна крупка.

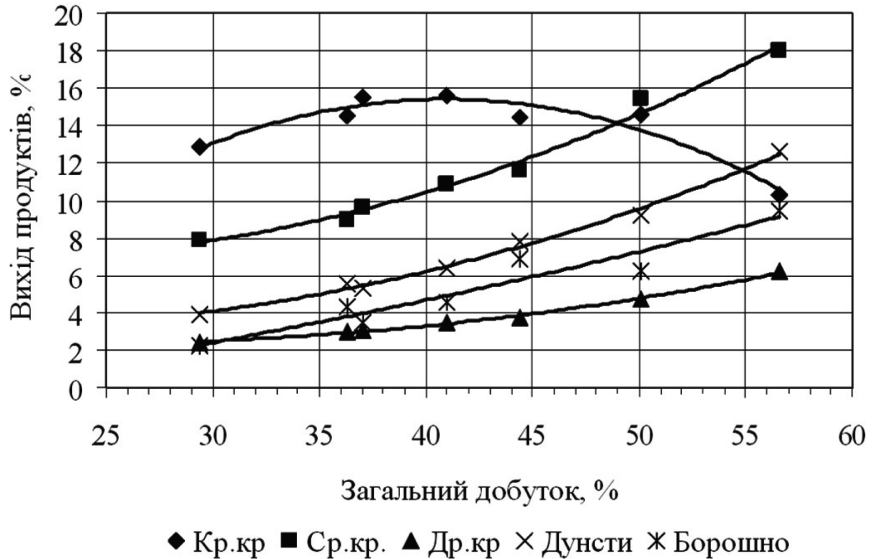


Рис. 3.4. Вихід крупок, дунстів і борошна в залежності від режиму роботи I драної системи

Математична обробка отриманих експериментальних даних виходу крупної крупки, дунстів і борошна I драної системи дала можливість встановити, що вихід крупної крупки описується наступним поліноміальним рівнянням:

$$B_{кр.кр} = -0,0196 B^2 + 1,605 B - 17,45 \quad (3.1)$$

де, $B_{кр.кр}$ – вихід крупної крупки, %; B – загальний добуток на системі (прохід сита 1,0), %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,95, стандартне відхилення 0,55 %. Стандартне відхилення показує на яку величину відбувається розкид експериментальних даних відносно розрахункових значень отриманих за рівнянням регресії.

Вихід середньої крупки в залежності від режиму подрібнення зерна на I драній системі описується наступним рівнянням:

$$V_{\text{ср.кр}} = 0,00805 B^2 - 0,305 B + 9,79 \quad (3.2)$$

де, $V_{\text{ср.кр}}$ – вихід середньої крупки, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,4 %.

Вихід дрібної крупки в залежності від режиму подрібнення зерна на I драній системі описується наступним рівнянням:

$$V_{\text{др.кр}} = 0,0034 B^2 - 0,163 B + 4,3 \quad (3.3)$$

де, $V_{\text{др.кр}}$ – вихід дрібної крупки, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, стандартне відхилення 0,11 %.

Вихід дунстів при подрібненні зерна на I драній системі описується наступним поліноміальним рівнянням:

$$V_{\text{д}} = 0,0061 B^2 - 0,215 B + 5,05 \quad (3.4)$$

де, $V_{\text{д}}$ – вихід дунстів, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, стандартне відхилення 0,25 %.

Вихід борошна при подрібненні зерна на I драній системі описується наступним поліноміальним рівнянням:

$$V_{\text{б}} = 0,0016 B^2 + 0,113 B - 2,44 \quad (3.5)$$

де, $V_{\text{б}}$ – вихід борошна, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,91, стандартне відхилення 0,72 %.

Відповідно до отриманих даних оптимізацію подрібнення зерна на I драній системі можна провести за вихо-

дом крупної крупки. Для цього рівняння 3.1 продиференціюємо і прирівняємо до нуля:

$$\frac{dB_{кр.кр}}{dB} = -0,0196 B^2 + 1,605B - 17,45$$

$$\frac{dB_{кр.кр}}{dB} = -0,0392 B + 1,605 \quad (3.6)$$

$$-0,0392 B - 1,605 = 0$$

Розв'язавши рівняння 3.6 отримаємо:

$$B = \frac{1,605}{0,0392} = 40,9\%$$

Отже, розрахунки показують, що оптимальним режимом, при якому можна досягнути найбільшого виходу крупної крупки можна вважати режим при якому загальний добуток продуктів подрібнення (прохід сита № 1,0) I драної системи становить 40 %. При вказаному режимі подрібнення розрахунковий вихід крупної крупки буде становити 15,4 %; середньої крупки – 10,4 %; дрібної крупки – 3,2 %; дунстів – 6,0 %; борошна – 4,6 %. Відхилення даних, які розраховані за отриманими рівняннями не перевищує 1,0 %, що свідчить про високу достовірність експериментальних даних та точність визначення виходу ситовим методом.

Отримані нами результати досліджень співпадають з даними Р. С. Давидова [30], який досліджуючи структури драного процесу дійшов висновку, що при режимі подрібнення 40 % загального добутку продуктів подрібнення на I драній системі досягається найбільший вихід круподунстових продуктів.

Подібні за характером криві наведено в роботі [15], тобто на I драній системі не всі криві мають лінійний характер в залежності від загального добутку

Лінійний характер виходу окремих продуктів, який наводить ряд літературних джерел може бути пояснено тим, що раніше дослідження проводились цими дослідниками в інших умовах [1, 23, 34, 35, 72, 92, 111]. Найперше, на що звертає увагу це використання розташування рифлів вістря по вістря. Відомо, що розташування рифлів вістря по вістря призводить до утворення більшої кількості крупних продуктів.

Результат роботи вальцових верстатів I драної системи наведено в табл.3.6.

Таблиця 3.6

Результати роботи I драної системи з урахуванням недосіву

I драна система	Загальний добуток на системі, %
Вальцовий верстат № 1	40
Вальцовий верстат № 2	34
Вальцовий верстат № 3	36
Вальцовий верстат № 4	41
Середнє	38

«Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» [86] регламентують загальний добуток продуктів на I драній системі в кількості 25...35 %, що значно менше ніж отримано нами під час досліджень.

3.4. Режими подрібнення зерна на II драній системі

II драна система подрібнює сходові продукти, які направляються із I драної системи. В процесі подрібнення сходових продуктів утворюються крупна крупка, середня крупка, дрібна крупка, дунсти та борошно. Режим роботи I драної системи впливає на режим роботи II драної системи, а також на вихід крупок і дунстів. В першу чергу збільшення загального добутку продуктів подрібнення на

I драній системі призводить до зменшення кількості схо- дових продуктів, які надходять на II драну систему.

Дослідженнями режиму роботи II драної системи вста- новлено, що при збільшенні загального добутку проміж- них продуктів з 46,5 % до 72,0 % вихід крупної, серед- ньої крупки та борошна нелінійно зростає, а вихід дрібної крупки і дунстів прямолінійно зростає при збільшенні за- гального добутку продуктів на II драній системі. Резуль- тати досліджень наведено на рис. 3.5.

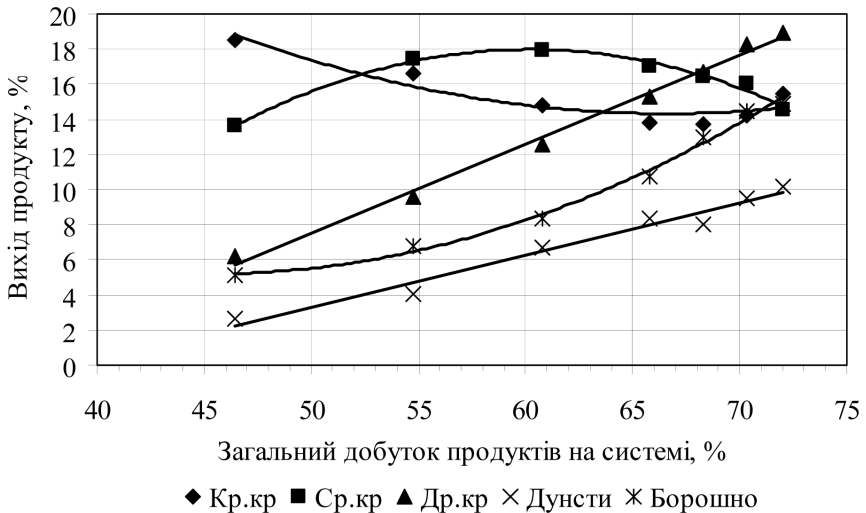


Рис. 3.5. Вихід круподунстових продуктів та борошна в залежності від режиму подрібнення II драної системи

Вихід середньої крупки при збільшенні загального до- бутку проміжних продуктів помелу у вказаних межах змі- нювався з 13,6 % до 14,6 %, при цьому залежність виходу середньої крупки має екстремум, що дозволяє визначити такий режим подрібнення, при якому досягається най- більший вихід середньої крупки. Наявність екстремуму в межах значення загального добутку 60 % свідчить про те, що збільшення загального добутку продуктів подрібнен- ня вище 60 % призводить до переподрібнення не тільки

крупної крупки в більш дрібніші продукти (дрібна крупка, дунсти та борошно) але і також середньої крупки.

Із збільшенням загального добутку продуктів подрібнення (прохід сита 1,0 мм) на II драній системі, вихід крупної крупки зменшувався на 3,0 %, а саме з 18,5 % до 15,5 %.

Вихід середньої крупки при збільшенні загального добутку проміжних продуктів помелу у вказаних межах змінювався з 13,6 % до 14,6 %, при цьому залежність виходу середньої крупки має екстремум, що дозволяє визначити такий режим подрібнення, при якому досягається найбільший вихід середньої крупки. Наявність екстремуму в межах значення загального добутку 60 % свідчить про те, що збільшення загального добутку продуктів подрібнення вище 60 % призводить до переподрібнення не тільки крупної крупки в більш дрібніші продукти (дрібна крупка, дунсти та борошно) але також і середньої крупки.

Вихід дрібної крупки при збільшенні загального добутку проміжних продуктів подрібнення з 46,5 % до 72,0 % збільшувався на 12,8 % з 6,2 % до 18,9 %, а вихід дунстів збільшувався на 7,5 %, а саме з 2,7 % до 10,2 %.

При збільшенні загального добутку проміжних продуктів подрібнення з 46,5 % до 72,0 % вихід борошна збільшився на 9,7 % з 5,2 % до 14,9 %.

При дослідженнях режиму роботи II драної системи, режим роботи I драної системи в середньому становив 37,9 %.

Вальцьові верстати працювали за не змінних параметрах вальців. Режим роботи був наступний, а саме число рифлів на 1 см кола вальця, R, дорівнював 5,4шт., ухил рифлів, Y, -6%, співвідношення швидкостей обертання вальців, K-2,5, швидкість обертання швидкохідного вальця, V, -6 м/с, взаємного розташування рифлів – сп/сп, кути нахилу рифлів, град. – 30°/65°.

Математичний аналіз експериментальних даних дозволив отримати рівняння регресії виходу крупної, середньої

та дрібної крупки, дунстів і борошна II драної системи. Вихід крупної крупки II драної системи описується наступним поліноміальним рівнянням другого порядку:

$$V_{кр.кр} = 0,0111B^2 - 1,48B + 63,66 \quad (3.7)$$

де, $V_{кр.кр}$ – вихід крупної крупки, %; B – загальний добуток на системі (прохід сита 1,0), %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,88, стандартне відхилення 0,59 %.

Вихід середньої крупки II драної системи в залежності від режиму подрібнення сходових продуктів описується наступним рівнянням другого порядку:

$$V_{ср.кр} = -0,0228B^2 + 2,7501B - 64,91 \quad (3.8)$$

де, $V_{ср.кр}$ – вихід середньої крупки, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,97, стандартне відхилення 0,22 %.

Вихід дрібної крупки II драної системи в залежності від режиму подрібнення у вальцових верстатах сходових продуктів описується наступним лінійним рівнянням:

$$V_{др.кр} = 0,508B - 17,9 \quad (3.9)$$

де, $V_{др.кр}$ – вихід дрібної крупки, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, стандартне відхилення 0,37 %.

Вихід дунстів при подрібненні сходових продуктів на II драній системі описується також лінійним рівнянням:

$$V_{\delta} = 0,298B - 11,6 \quad (3.10)$$

де, V_{δ} – вихід дунстів, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,96, стандартне відхилення 0,49 %.

Вихід борошна при подрібненні сходових продуктів на II драній системі описується наступним рівнянням другого порядку:

$$B_{\sigma} = 0,014 B^2 - 1,27 B + 34,09 \quad (3.11)$$

де, B_{σ} – вихід борошна, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, стандартне відхилення 0,31 %.

Оптимізувати режим подрібнення II драної системи доцільно за виходом середньої крупки, оскільки вихід крупної крупки має спадний характер, а вихід середньої крупки має екстремум в межах 60 % загального добутку продуктів подрібнення. Для цього рівняння 3.7 продиференціюємо і прирівняємо до нуля:

$$\frac{dB_{кр.кр}}{dB} = -0,0228B^2 + 2,7501 B - 64,91$$

$$\frac{dB_{кр.кр}}{dB} = -0,045 B + 2,7501 \quad (3.12)$$

$$-0,045 B + 2,7501 = 0$$

Розв'язавши рівняння 3.12 отримаємо:

$$B = \frac{2,7501}{0,045} = 61,1\%$$

Математичний аналіз рівняння виходу середньої крупки при подрібненні сходових продуктів на II драній системі показав, що оптимальним режимом подрібнення можна вважати режим при якому досягається загальний добуток продуктів подрібнення 61,1 %, що також підтверджується даними рис. 3.6.

При вказаному режимі подрібнення, який визначається загальним добутком продуктів подрібнення (прохід

крізь сито № 1,0) 61,1 % розрахунковий вихід крупної крупки становитиме 14,3 %; середньої крупки – 18,0 %; дрібної крупки – 13,1 %; дунстів – 6,6 %; борошна – 8,7 %.

«Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» [86] також регламентують загальний добуток продуктів подрібнення на II драній системі в кількості 50...60 %, тому результати наших досліджень також підтверджують дані, які регламентуються нормативною документацією.

3.5. Дослідження режимів помелу зерна на III драній системі крупній

На третій драній системі подрібнюється перший схід II драної системи, який містить значну кількість ендосперму. Подрібнений продукт складається із середньої крупки, дрібної крупки, дунстів та борошна. Дослідженнями встановлено, що при збільшенні загального добутку (прохід сита № 12,5ПЧ-240, № 056) з 11,9 % до 40,6 % вихід продукту, який класифікувався як середня крупка збільшувався в середньому на 15,5 % з 1,9 % до 17,4 %, вихід дрібної крупки зменшувався на 3,1 % з 5,7 % до 2,6 %, вихід дунстів збільшувався в середньому на 2,4 % з 1,7 % до 4,1 %, а вихід борошна збільшувався в середньому на 7,4 % з 5,4 % до 12,8 %.

Під час просіювання подрібнених продуктів III драної системи крупної візуально спостерігали за продуктами, які залишаються у вигляді сходу. Сходовий продукт, який класифікувався як середня крупка при візуальному розгляді являв собою суміш оболонкових продуктів за рахунок високого вмісту оболонкових продуктів, які направлялися із II драної системи. Подрібнення сходів у вальцювому верстаті призводить до надмірного руйнування оболонок, що викликає збільшення проходу фракції сита № 12,5ПЧ-240. Саме цим можна пояснити зростаючий характер кривої виходу середньої крупки, яку наведе-

но на рис. 3.6. Крупної крупки в продуктах подрібнення III драної системи крупної не спостерігалось. Під час лабораторних досліджень подрібнених продуктів виявлено, що просіювати продукти подрібнення III драної системи крупної та дрібної на ситі № 08 для встановлення режимів подрібнення не доцільно, оскільки крупна в продуктах подрібнення відсутня, а в прохід потрапляє значна кількість оболонкових продуктів.

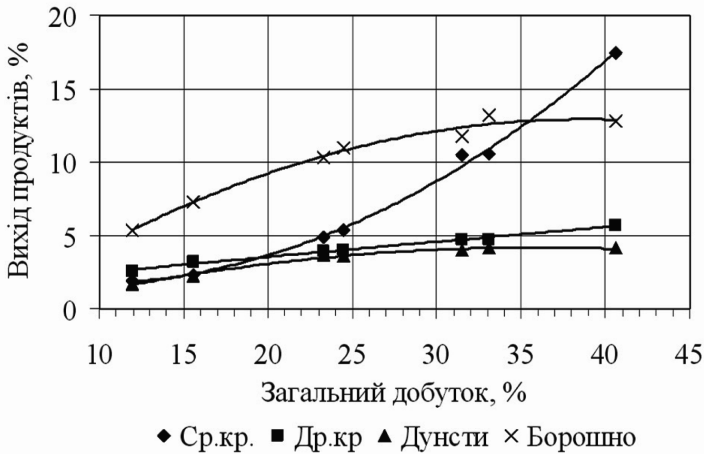


Рис. 3.6. Вихід круподунстових продуктів в залежності від режиму подрібнення на III драній системі крупній

Із аналізу даних рис. 3.6. можна побачити, що вихід середньої крупки, дунстів та борошна в залежності від загального добутку продуктів подрібнення на III драній системі крупній мають нелінійний характер, а вихід дрібної крупки – лінійний характер.

Оскільки III драна система подрібнює сходові продукти, які надходять із другої драної системи, то на режим роботи III драної системи також впливає режим роботи II драної системи. Під час досліджень III драної системи середній добуток проміжних продуктів подрібнення на II драній системі становив 64,3 % (табл. 3.7).

**Добуток продуктів подрібнення на II драній системі
з врахуванням недосіву**

II драна система	Добуток круподунових продуктів, %
№ 1	66
№ 2	59
№ 3	68
№ 4	66
№ 5	62
Середнє	64

Відсутність крупної крупки в продуктах помелу III драної системи крупної пов'язано із режимами подрібнення попередніх систем (I др.с. та II др.с.), що також потрібно враховувати під час вибору контрольного сита для визначення режиму подрібнення.

Вальцьові верстати працювали за не змінних параметрах вальців при наступних режимах, а саме число рифлів на 1 см кола вальця, R, дорівнював 6,5 шт., ухил рифлів, Y, -6%, співвідношення швидкостей обертання вальців, K-2,5, швидкість обертання швидкохідного вальця, V, -6 м/с, взаємне розташування рифлів – сп/сп, кути нахилу рифлів, град. – 30°/65°.

Математичним аналізом отриманих експериментальних даних встановлено, що криві виходу середньої крупки, дунстів та борошна описуються нелінійними поліноміальними рівняннями, а вихід дрібної крупки – лінійним рівнянням.

Поліноміальний характер залежності виходу дунстів з екстремумом функції в межах 35...40 % дозволяє провести оптимізацію режимів подрібнення сходових продуктів у вальцьовому верстаті III драної системи крупної.

Математична обробка дослідних даних дозволила встановити, що вихід середньої крупки описується наступним рівнянням:

$$V_{\text{ср.кр}} = 0,0154 B^2 - 0,26 B + 2,74 \quad (3.13)$$

де, $V_{\text{ср.кр}}$ – вихід середньої крупки, %; B – загальний добуток на системі (прохід сита 12,5ПЧ-240), %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, стандартне відхилення 0,37 %.

Вихід дрібної крупки в залежності від режиму подрібнення сходових продуктів на III драній системі крупній описується наступним рівнянням:

$$V_{\text{др.кр}} = 0,101 B + 1,51 \quad (3.14)$$

де, $V_{\text{др.кр}}$ – вихід дрібної крупки, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,11 %.

Вихід дунстів при подрібненні сходових продуктів II драної системи у вальцьовому верстаті III драної системі крупній описується наступним рівнянням:

$$V_{\text{д}} = -0,0045 B^2 + 0,32 B - 1,54 \quad (3.15)$$

де, $V_{\text{д}}$ – вихід дунстів, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,12 %.

Вихід борошна при подрібненні сходових продуктів на III драній системі крупній описується наступним поліноміальним рівнянням:

$$V_{\text{б}} = -0,0104 B^2 + 0,81 B - 2,77 \quad (3.16)$$

де, $V_{\text{б}}$ – вихід борошна, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,38 %.

Оптимізувати режим подрібнення III драної системи крупної доцільно за виходом дунстів, оскільки функція виходу дунстів має екстремум, що дозволяє провести пошук найбільшого виходу дунстів. Для цього рівняння 3.15 диференціюємо і прирівнюємо до нуля:

$$\frac{dB_{\delta}}{dB} = -0,0045 B^2 + 0,32 B - 1,54$$
$$\frac{dB_{\delta}}{dB} = 0,009 B + 0,32 \quad (3.16)$$

$$-0,009 B + 0,32 = 0$$

Розв'язавши рівняння 3.16 отримуємо:

$$B = \frac{0,32}{0,009} = 35,5 \%$$

Математичний аналіз рівняння виходу дунстів (3.15) при подрібненні сходових продуктів на III драній системі крупній показав, що оптимальним режимом подрібнення можна вважати режим при якому досягається загальний добуток продуктів 35,5 %, що також підтверджується даними рис. 3.7.

Відповідно до вказаного режиму подрібнення III драної системи крупної (35,5 %) вихід середньої крупки буде становити 12,4 %; дрібної крупки – 5,1 %; дунстів – 4,1 % та борошна – 12,8 %.

«Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» [86] також регламентують загальний добуток продуктів на III драній системі в кількості 35...45 %.

3.6. Режими подрібнення зерна на III драній системі дрібній

III драна система дрібна подрібнює, як правило, другий схід з II драної системи та сходові продукти ситовійних

систем, які збагачують продукти першої якості та містять зростки оболонкових продуктів та ендосперму. До продуктів першої якості відносяться продукти подрібнення зерна на I драній системі та продукти подрібнення на II драній системі. Продукти подрібнення III драної системи дрібної складаються із середньої крупки, дрібної крупки, дунстів та борошна. Оскільки III драна система дрібна подрібнює сходові продукти II драної системи та ситовійних систем першої якості, то на неї можуть надходити зростки оболонок та ендосперму, що буде призводити до збільшення виходу дрібної крупки, дунстів та борошна.

Нашими дослідженнями встановлено, що при збільшенні загального добутку прохід сита № 12,5ПЧ-240 (№ 056) з 22,6 % до 47,9 % вихід середньої, дрібної крупки, дунстів та борошна збільшується. Вихід середньої та дрібної крупки має нелінійний характер, а вихід дунстів та борошна має прямолінійний характер.

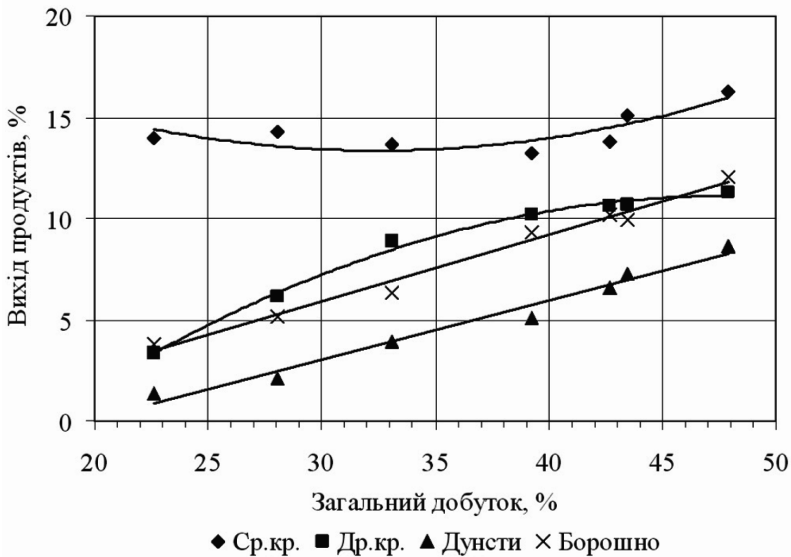


Рис. 3.7. Вихід круподунстових продуктів та борошна при подрібненні сходових продуктів на III драній системі дрібної

Вихід середньої крупки збільшувався на 2,3 % з 14,0 % до 16,3 %, причому при загальному добутку продуктів 33,1 % спостерігається екстремум функції з мінімальним значенням, при якому вихід середньої крупки становив 13,6 %. Вихід дрібної крупки збільшувався на 8,0 % з 3,3 % до 11,3 %, вихід дунстів на 7,2 % з 1,4 % до 8,6 %, а вихід борошна на 8,2 % з 3,8 % до 12,0 %. Результати дослідження виходу круподунстових продуктів та борошна при подрібненні сходових продуктів на III драній системі дрібній наведено на рис. 3.8.

Із аналізу даних рис. 3.8 видно, що вихід дрібної крупки найбільший і має мінімальне значення при режимі подрібнення при якому досягається загальний добуток продуктів подрібнення (прохід сита № 12,5ПЧ-240) 35 %. Це може бути пояснено тим, що при збільшенні режиму подрібнення відбувається надмірне подрібнення оболонок, які потім просіваються через сито 056. Разом із тим спостерігається збільшення виходу дрібної крупки, функція виходу якої має екстремум в межах 45 % загального добутку продуктів подрібнення. Крива виходу середньої крупки має спадний характер при зміні загального добутку продуктів помелу в межах 22,6 % і до 35,0 %, а при збільшенні загального добутку з 35,0 % до 47,9 % крива виходу середньої крупки набуває зростаючого характеру. Така залежність може бути пояснена тим, що при збільшенні загального добутку продуктів вище 35,0 % може відбуватись утворення конгломератів часток («пластівців»). Але ця гіпотеза потребує додаткових досліджень.

Вальцьові верстати працювали за не змінних параметрах вальців при наступних режимах, а саме число рифлів на 1 см кола вальця, R, дорівнював 7,5 шт., ухил рифлів, Y, -6%, співвідношення швидкостей обертання вальців, K-2,5, швидкість обертання швидкохідного вальця, V, -6 м/с, взаємо-розташування рифлів – сп/сп, кути нахилу рифлів, град. – 30°/65°.

Математичний аналіз дослідних даних виходу середньої крупки III драної системи дрібною показав, що її вихід описується наступним поліноміальним рівнянням:

$$B_{\text{ср.кр}} = 0,0112 B^2 - 0,73 B + 25,31 \quad (3.17)$$

де, $B_{\text{ср.кр}}$ – вихід середньої крупки, %; B – загальний добуток на системі (прохід сита 056), %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,7, стандартне відхилення 0,57 %.

Вихід дрібною крупки в залежності від режиму подрібнення сходових продуктів на III драній системі дрібною описується наступним рівнянням:

$$B_{\text{др.кр}} = -0,0128 B^2 + 1,19 B - 17,25 \quad (3.18)$$

де, $B_{\text{др.кр}}$ – вихід дрібною крупки, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, стандартне відхилення 0,23 %.

Вихід дунстів при подрібненні сходових продуктів на III драній системі дрібною описується наступним лінійним рівнянням:

$$B_{\text{д}} = 0,29 B - 5,68 \quad (3.19)$$

де, $B_{\text{д}}$ – вихід дунстів, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,97, стандартне відхилення 0,41 %.

Вихід борошна при подрібненні сходових продуктів на III драній системі дрібною описується наступним лінійним рівнянням:

$$B_{\text{б}} = 0,32 B - 3,91 \quad (3.20)$$

де, $B_{\text{б}}$ – вихід борошна, %; B – загальний добуток на системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,37 %.

Оптимізувати режим подрібнення III драної системи дрібної доцільно за виходом дрібної крупки, оскільки функція виходу дрібної крупки має екстремум, що дозволяє провести пошук найбільшого виходу дрібної крупки. Для цього рівняння 3.18 продиференціюємо і прирівняємо до нуля:

$$\begin{aligned}\frac{dB_{op.kp}}{dB} &= -0,0128 B^2 + 1,19 B - 17,25 \\ \frac{dB_{op.kp}}{dB} &= -0,0256 B + 1,19 \quad (3.21) \\ -0,0256 B + 1,19 &= 0\end{aligned}$$

Розв'язавши рівняння 3.21 отримаємо:

$$B = \frac{1,19}{0,0256} = 46,4 \%$$

Математичний аналіз функції виходу дрібної крупки показав, що найбільший вихід дрібної крупки буде спостерігатися при режимі подрібнення, який характеризується загальним добутком продуктів подрібнення 46,4 %. Для практичного застосування можна рекомендувати загальний добуток продуктів подрібнення в кількості 45 %.

При режимі подрібнення сходових продуктів у вальцювому верстаті III драної системи дрібної 46,4 % розрахунковий вихід середньої крупки становить 15,1 %; дрібної крупки – 10,4 %; дунстів – 7,7 % та борошна 10,9 %.

«Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» [86] також регламентують загальний добуток продуктів на III драній системі в кількості 35...45 %.

Отримані рівняння виходу круподунстових продуктів драних систем можна використовувати для наближеного визначення виходу окремих фракцій круподунстових про-

дуктів при розразунках кількісних балансів під час проектування технологічної частини проекту борошномельних заводів сортового помелу пшениці в борошно.

3.7. Режими помелу збагачених круподунстових продуктів у вальцьових верстатах 1 розмелювальної системи

Відповідно до прийнятої структури сортових помелів пшениці перші три розмелювальні системи подрібнюють продукти першої якості. На цих системах утворюється найбільша кількість борошна високих сортів, тому дослідження режимів подрібнення цих систем має велике значення для отримання найбільшого виходу борошна вищого сорту. Режим роботи розмелювальних систем визначається добутком борошна вищого сорту.

Дослідженнями режимів подрібнення в драному процесі встановлено, що існують режими подрібнення зерна та сходових продуктів драного процесу у вальцьових верстатах при яких досягається найбільший вихід круподунстових продуктів, які в подальшому направляються на збагачення. Найбільший вихід круподунстових продуктів, які можна отримати в драному процесі дає можливість збільшити вихід борошна високих сортів, які отримують на перших трьох розмелювальних системах. Збагачені крупки і дунсти подаються на розмелювальні системи, де подрібнюються до розмірів частинок менше 130 мкм, що утворюють борошно найвищої якості. Тому постає питання ефективності режимів подрібнення збагачених круподунстових продуктів у вальцьових верстатах розмелювальних систем з метою отримання найбільшого виходу борошна.

В Україні ТОВ «ОЛІС» розпочало серійне виробництво ентолейторів-дисмембраторів марки ЕСМ, які конструктивно відрізняються від типових ентолейторів РЗ-БЕР, тому використання нових ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 є перспективним, оскільки вони мають більшу

технологічну ефективність подрібнення продуктів першої якості в борошно.

З метою обґрунтування скорочення етапу розмелювання крупок в борошно нами проведено дослідження режимів подрібнення збагачених крупок (крупних) у вальцьовому верстаті та ентолейторі-дисмембраторі 1-ї розмелювальної системи відповідно до загальноприйнятої структури, яка включає послідовне поєднання вальцьового верстату та ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5.

На основі проведених досліджень нами було встановлено, що із збільшенням загального добутку борошна у вальцьовому верстаті 1-ї розмелювальної системи з 7,3 % до 28,7 % відбувається зниження виходу суміші сходових продуктів (середньої та дрібної крупки) з 80,9 % до 34,9 % за криволінійною залежністю. Разом із тим збільшується вихід жорсткого дунсту, який збільшувався з 5,4 % до 10,4 % та вихід м'якого дунсту, який збільшувався з 5,1 % до 21,3 %. У вказаному діапазоні загального добутку борошна вихід борошна 1-го сорту збільшувався за лінійною залежністю від 1,3 % до 5,1 %. Результати досліджень наведено на рис 3.8.

Аналіз даних рис. 3.8 показує, що із збільшенням загального добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 1-ї розмелювальної системи відбувається не тільки подрібнення збагачених крупних крупок, але і надмірного подрібнення середніх та дрібних крупок, про що свідчить спадний характер відповідної кривої 1 на рис. 3.8.

Збільшення виходу борошна більше ніж 28,7 % не проводили оскільки фактичні можливості діючого вальцьового парку не дозволяли це здійснити і могло призвести до виходу електродвигуна верстату із ладу. Аналізуючи характер виходу сходового продукту (крива 1) на рис 3.9 можна помітити, що вихід сходового продукту в межах 27,9...28,7 % має незначне зниження виходу суміші середньої та дрібної крупок, що є свідченням того, що подальше збільшення загального добутку борошна може

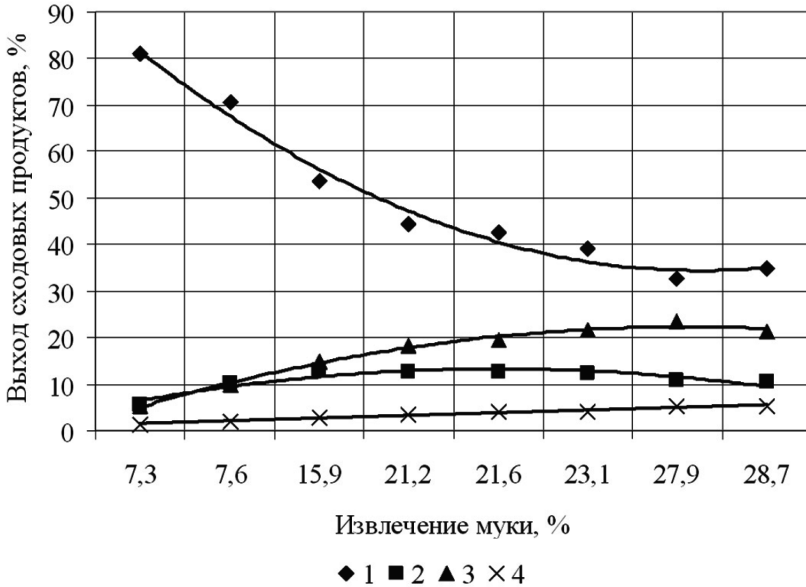


Рис. 3.8. Вихід сходових продуктів після подрібнення у вальцовому верстаті 1 розмелювальної системи з врахуванням недосіву:

- 1 – сходовий продукт (суміш дрібної та середньої крупки);
- 2 – жорсткий дунст;
- 3 – м'який дунст;
- 4 – борошно 1-го сорту.

призводить до утворення конгломератів часток за рахунок їх сплюснення, що є результатом роботи вальців, які обертаються із відношенням 1,25.

На рис. 3.9 наведено усереднені результати досліджень виходу сходових продуктів та борошна 1-го сорту після подрібнення у вальцовому верстаті та ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 1-ї розмелювальної системи.

Аналіз рис. 3.9 свідчить про те, що борошно вищого сорту найбільше утворюється за рахунок подрібнення на 1-й розмелювальній системі середньої та дрібної крупки, про що свідчить спадаючий характер кривої 1, а також

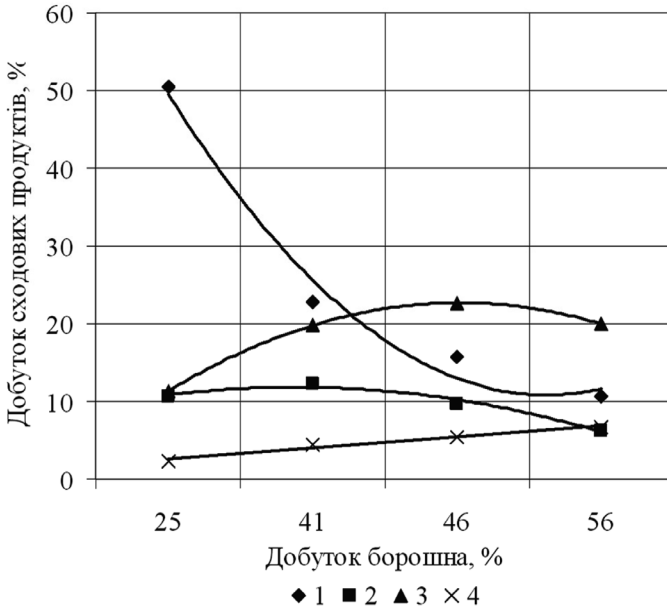


Рис. 3.9. Усереднений вихід сходових продуктів на 1 розмелювальній системі (вальцьовий верстат + ентолейтор-дисембратор) з врахуванням недосіву:

- 1 – сходовий продукт (суміш дрібної та середньої крупки);
- 2 – жорсткий дунст;
- 3 – м'який дунст;
- 4 – борошно 1-го сорту.

підвищення загального добутку борошна вищого сорту призводить до зменшення виходу м'якого та жорсткого дунстів. При загальному добутку борошна вищого сорту на системі 25,2 % середній вихід суміші середньої та дрібної крупки становив 50,5 %, вихід жорстких дунстів – 10,6 %, м'яких дунстів – 11,3 %, борошно 1-го сорту – 2,3 %. Із підвищенням інтенсивності подрібнення збагачених крупок на 1-й розмелювальній системі з 25,2 % до 56,3 %, вихід суміші середньої та дрібної крупки зменшився з 50,5 % до 10,7 %, жорстких дунстів від 10,6 % до 6,3 %, м'яких дунстів від 11,3 % до 7,5 %, борошна 1-го сорту з 2,3 % до 7,5 %.

м'яких дунстів від 11,3 % до 20,0 %, борошна 1-го сорту з 2,3 % до 6,7 %.

Із аналізу рис. 3.8 та 3.9 видно, що характер виходу продуктів як після вальцьового верстата так і після додаткового проходження продукту через ентолейтор-дисембратор суттєво не змінився, відмінним є величини виходу круподунстових продуктів та борошна. Крім того порівняльний аналіз показує, що в ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 найбільше подрібнюються середні та дрібні крупки, які отримано сходом сита 27ПА-120, а дунсти подрібнюються незначно. Порівняльні результати досліджень наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

**Вихід круподунстових продуктів після подрібнення
у вальцьовому верстаті та ентолейторі-дисембраторі
ЕСМ-1,5, у %**

№ п/п	Суміш середньої та дрібної крупки		Жорсткий дунст		М'який дунст		Борошно 1-го сорту		Борошно вищого сорту	
	вальцьовий верстат	ентолейтор	вальцьовий верстат	ентолейтор	вальцьовий верстат	ентолейтор	вальцьовий верстат	ентолейтор	вальцьовий верстат	ентолейтор
1	41	16	12	10	20	23	4	5	22	46
2	34	11	10	6	22	20	5	7	28	56
3	49	23	13	12	16	20	3	4	19	41
4	76	51	8	11	7	11	2	2	7	25

Із аналізу даних табл. 3.8 можна побачити, що при всіх режимах приріст жорстких дунстів зменшувався в межах від 0,4 % до 4,2 %, вихід м'яких дунстів змінювався від 2,2 % до 3,8 %. Приріст борошна 1-го сорту змінювався від 0,8 % до 1,6 %. Наведені дані показують, що в ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 найбільше подрібнюються крупніші за розмірами частинки ендосперму (середні та дрібні крупки), що і призводить до утворення

з них борошна вищого сорту. Дрібніші частиники піддаються меншому впливу робочих органів обладнання ніж крупні частиники та їх конгломерати.

Аналіз даних рис. 3.8 та 3.9 також показує, що застосування вальцьового верстату на 1-й розмелювальній системі дозволяє досягнути загального добутку борошна вищого сорту 28,0 %, а додаткове подрібнення проміжних продуктів в ентолейторі-дисмембраторі дозволяє збільшити цей добуток у два рази з 28,0 % до 56,0 %.

Вихід продуктів подрібнення на 1-й розмелювальній системі в залежності від загального добутку борошна вищого сорту $B_{б.в.с}$ описується наступними рівняннями:

вихід суміші середньої та дрібної крупок, $B_{ср.кр+др.кр}$:

$$B_{ср.кр+др.кр} = 0,0343 B_{б.в.с}^2 - 4,08 B_{б.в.с} + 131,61 \quad (3.22)$$

де, $B_{ср.кр+др.кр}$ – вихід середньої та дрібної крупки, % ; $B_{б.в.с}$ – вихід борошна вищого сорту, % .

Коефіцієнт кореляції становить 0,99, а стандартне відхилення 0,27 % .

Вихід жорсткого дунсту, $B_{ж.д}$, описується рівнянням:

$$B_{ж.д} = -0,0136 B_{б.в.с}^2 + 0,963 B_{б.в.с} - 4,86 \quad (3.23)$$

де, $B_{ж.д}$ – вихід жорсткого дунсту, % ; $B_{б.в.с}$ – вихід борошна вищого сорту, % .

Коефіцієнт кореляції становить 0,97, а стандартне відхилення 0,56 % .

Вихід м'якого дунсту, $B_{м.д}$, описується рівнянням:

$$B_{м.д} = -0,0207 B_{б.в.с}^2 + 1,98 B_{б.в.с} - 25,58 \quad (3.24)$$

де, $B_{м.д}$ – вихід м'якого дунсту, % ; $B_{б.в.с}$ – вихід борошна вищого сорту, % .

Коефіцієнт кореляції становить 0,98, а стандартне відхилення 0,74 % .

Вихід борошна першого сорту, $B_{б.1с}$, описується рівнянням:

$$B_{\text{оіс}} = 0,143 B_{\text{б.в.с}} - 1,35 \quad (3.25)$$

де, $B_{\text{оіс}}$ – вихід жорсткого дунсту, %; $B_{\text{б.в.с}}$ – вихід борошна вищого сорту, %.

Коефіцієнт кореляції становить 0,99, а стандартне відхилення 0,08 %.

У технологічному процесі помелу ентолейтори є допоміжним подрібнювальним обладнанням, яке встановлюється після вальцьового верстату. Режим подрібнення крупок у вальцьовому верстаті впливає на режим подрібнення крупок в ентолейторі-дисмембраторі ЕСМ-1,5. Дослідженнями встановлено, що підвищення добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті від 7,5 % до 28,3 % призводить до збільшення приросту виходу борошна і в ентолейторі з 17,7 % до 28,0 %. Залежність має лінійний характер. Результати досліджень наведено на рис. 3.10.



Рис. 3.10. Залежність виходу борошна вищого сорту в ентолейторі-дисмембраторі ЕСМ-1,5 від виходу борошна у вальцьовому верстаті на 1-й розмелювальній системі з врахуванням недосіву

Коефіцієнт кореляції дослідних даних, які наведено на рис. 3.10 становить 0,98, що свідчить про тісний зв'язок

досліджуваних ознак. Із даних рис. 3.10 можна зробити висновок, що частинки продуктів помелу, які не були подрібнені до крупності часток борошна у вальцьовому верстаті, але за рахунок механічного впливу зменшили міцність зв'язків додатково подрібнюються проходячи через ентолейтори-дисмембратори. Таким чином не зруйновані крупки та дунсти додатково подрібнюються проходячи через машини ударної дії. Крім того конгломерати частинок, які утворюються після проходження круподунстових продуктів через вальці також руйнуються проходячи через ентолейтори-дисмембратори.

Вальцьові верстати досліджуваних перших трьох розмілювальних систем працювали за таких режимів: співвідношення швидкостей обертання вальців, K дорівнювало 1,25, швидкість обертання швидкохідного вальця, V , – 5 м/с, вальці з мікрошорсткою поверхнею.

Результати досліджень показують, що для інтенсифікації процесу помелу збагачених круподунстових продуктів необхідно знижувати режими подрібнення у вальцьовому верстаті 1-ї розмілювальної системи до 30 % загального добутку продуктів подрібнення, що позитивно позначається на ефективності роботи ентолейторів-дисмембраторів.

Під час проведення лабораторного дослідження подрібнених проміжних продуктів 1-ї розмілювальної системи на фракції відмічалася наявність крупних частинок зародку жовтуватого кольору сходом сита № 1,0 в кількості 0,1...0,2 % від загальної маси продукту у вигляді пластівців. У фракції, яку отримано проходом сита № 1,0 та сходом сита № 12ПЧ-240 також спостерігалась наявність дрібних частинок зародку, але відокремити окремо зародки та оболонки неможливо, загальний вихід цієї фракції продукту коливався від 1,6 % до 2,9 %. На 2-й та 3-й розмілювальних системах під час сортування, зародку, як окремого продукту не спостерігалось.

Рівняння 3,22...3,25 можна використовувати для орієнтовного розрахунку сходових продуктів подрібнення 1-ої

розмелювальної системи при розробленні кількісного балансу борошна.

У межах проведених досліджень встановити оптимальні режими подрібнення 1-ї розмелювальної системи не вдалося. Хоча із довідкових джерел відомо, що надмірне зменшення величини зазору між вальцями розмелювальних систем призводить до розплющування продуктів подрібнення. У виробничих умовах таких режимів досягнути не вдалося. Для виробництва можна рекомендувати загальний добуток борошна у вальцьовому верстаті на 1 розмелювальній системі 28,0 %.

3.8. Режими подрібнення продукту на 2-й розмелювальній системі

Основним продуктом подрібнення для 2-ї розмелювальної системи є сходові продукти, які направляються із 1-ї розмелювальної системи. Залежно від режиму роботи 1-ї розмелювальної системи – це суміш дрібної крупки та дунстів. Можлива наявність борошна в сходових продуктах, які надходять у вальцьовий верстат 2 розмелювальної системи за рахунок недосіву. Після подрібнення суміш складається із дрібної крупки, дунстів та борошна.

Дослідженнями, проведеними у виробничих умовах встановлено, що при зменшенні величини зазору між вальцями вальцьового верстату при подрібненні сходових продуктів з 1-ї розмелювальної системи на 2-й розмелювальній системі відбувається зменшення виходу дрібної крупки та дунстів, а вихід борошна 1-го сорту збільшується на незначну величину. Результати досліджень наведено на рис. 3.11.

При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті з 5,3 % до 35,8 % вихід дрібної крупки зменшувався на 9,9 % із 11,9 % до 2,0 % за криволінійною залежністю, вихід дунстів зменшувався на 22,3 % із 53,9 % до 31,6 % за криволінійною залеж-

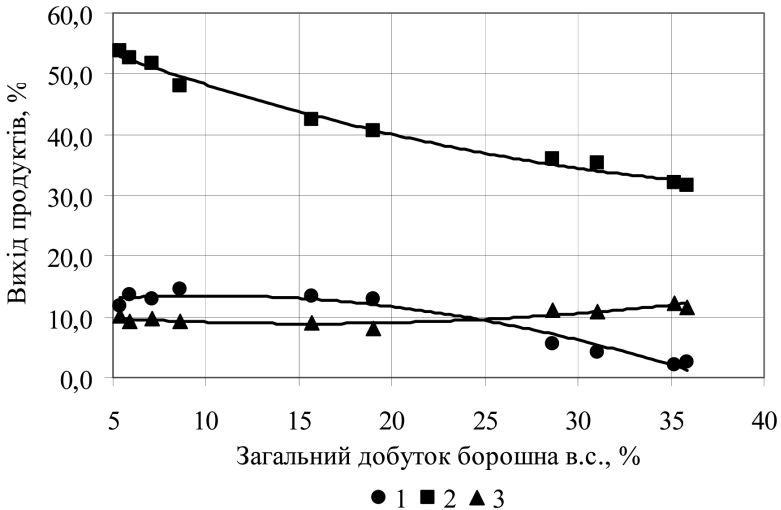


Рис. 3.11. Вихід сходових продуктів після подрібнення у вальцовому верстаті 2-ї розмелювальної системи з врахуванням недосіву:

1 – дрібна крупка; 2 – дунсти; 3 – борошно першого сорту.

ністю. Вихід борошна вищого сорту збільшувався на 2,7 % з 9,5 % до 12,2 %. Порівняння отриманих даних вказує на те, що вміст дунстів у подрібненій суміші має значний вміст і формування борошна вищого сорту відбувається за рахунок подрібнення переважно дунстів і менше дрібної крупки. Приріст борошна першого сорту є незначним у порівнянні із виходом борошна вищого сорту.

Подрібнений продукт після вальців пневмотранспортом подається в ентолейтор-дисмембратор ЕСМ-1,5, в якому додатково здійснюється подрібнення дрібної крупки та дунстів.

При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту у вальцовому верстаті після проходження суміші продуктів подрібнення через ентолейтор-дисмембратор ЕСМ-1,5 спостерігається аналогічне зменшення виходу дрібної крупки та дунстів також за криволінійними залеж-

ностями, а вихід борошна першого сорту суттєво не змінюється. Результати досліджень наведено на рис. 3.12.

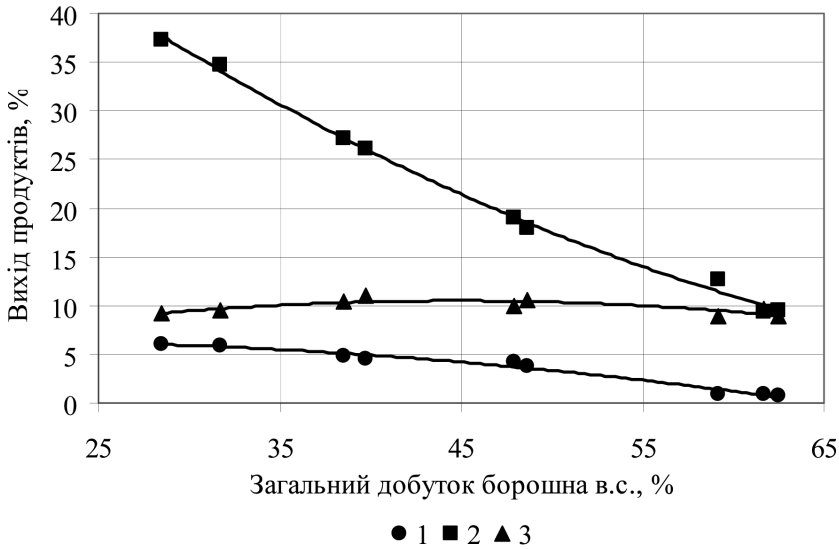


Рис. 3.12. Вихід сходових продуктів на 2 розмелювальній системі (вальцьовий верстат + ентолейтор-дисембратор) з врахуванням недосіву:

1 – дрібна крупка; 2 – дунсти; 3 – борошно першого сорту.

Підвищення загального добутку борошна вищого сорту з 28,5 % до 61,7 % на 2-й розмелювальній системі призвело до зниження виходу дрібної крупки на 5,2 % з 6,0 % до 0,8 %, дунстів на 27,9 % з 37,3 % до 9,4 %. Вихід борошна першого сорту суттєво не збільшився і коливався в межах від 9,0 % до 11,0 %.

Із аналізу рис. 3.11 та 3.12 також видно, що вальцьовий верстат 2-ї розмелювальної системи може дати максимальний добуток борошна до 35 %, в той же час додаткове подрібнення проміжних продуктів в ентолейторі-дисембраторі дозволяє підвищити загальний добуток борошна вищого сорту до 60 %, що на 25 % більше ніж при застосуванні тільки одного вальцьового верстата.

Вихід продуктів подрібнення на 2-й розмелювальній системі в залежності від загального добутку борошна вищого сорту Вб.в.с описується наступними рівняннями:

вихід дрібної крупки на 2-й розмелювальній системі:

$$B_{др.кр} = -0,00291 B_{б.в.с}^2 + 0,104 B_{б.в.с} + 5,4 \quad (3.26)$$

де, $B_{др.кр}$ – вихід дрібної крупки, %; $B_{б.в.с}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 2-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,98, стандартне відхилення 0,33 %.

Вихід дунстів на 2-й розмелювальній системі:

$$B_{д} = 0,00918 B_{б.в.с}^2 - 1,659 B_{б.в.с} + 77,52 \quad (3.27)$$

де, $B_{д}$ – вихід дунстів, %; $B_{б.в.с}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 2-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції становить 0,99, а стандартне відхилення 0,58 %.

Вихід борошна 1-го сорту на 2-й розмелювальній системі:

$$B_{1с} = -0,004807 B_{б.в.с}^2 + 0,429 B_{б.в.с} + 0,88 \quad (3.28)$$

де, $B_{1с}$ – вихід борошна 1-го сорту, %; $B_{б.в.с}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 2-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції становить 0,81, а стандартне відхилення 0,42 %.

Вальцьовий верстат та ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 2-ї розмелювальної системи працюють як одна система, тому доцільним є необхідність дослідити вплив подрібнення проміжних продуктів у вальцьовому верстаті на добуток борошна в ентолейторі-дисембраторі. Дослідженнями встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи.

Із збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцювому верстаті з 5,3 % до 31,0 %, вихід борошна після ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1 % до 30,6 %. Результати досліджень наведено на рис. 3.14. Коефіцієнт кореляції дослідних даних, які наведено на рис. 3.13 становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак.

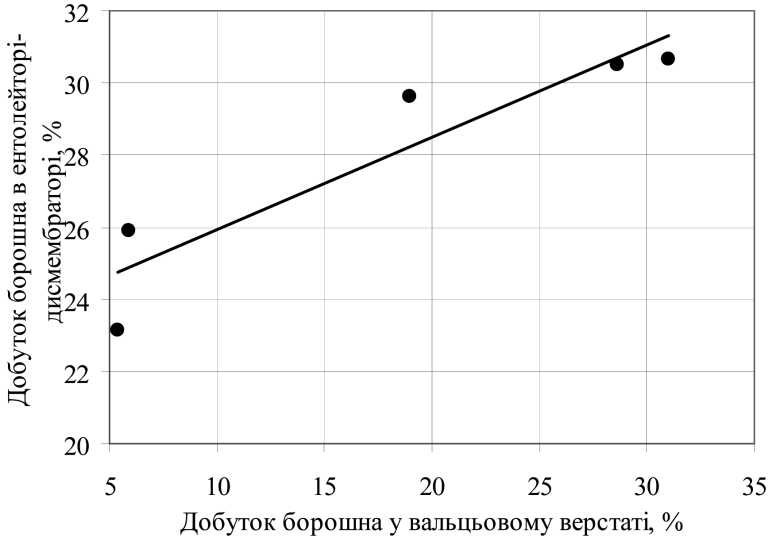


Рис. 3.13. Залежність виходу борошна вищого сорту в ентолейторі-дисмембраторі від добутку борошна у вальцювому верстаті 2-ї розмелювальної системи з врахуванням недосіву

Пояснити цю залежність можна тим, що вальцювий верстат 2-ї розмелювальної системи подрібнюючи проміжні продукти, які на нього подаються, створює мікротріщини у крупках і дунстах, порушує мікроструктуру частинок, знижуючи їх міцність, які потім руйнуються до дрібніших частинок по межі утворених тріщин при проходженні через ентолейтор-дисмембратор ЕСМ-1,5. Для забезпечення найбільшого виходу борошна високих сортів можна

рекомендувати максимально низькі режими подрібнення у вальцьовому верстаті. Під час проведення досліджень у виробничих умовах досягнути стану при якому процес подрібнення буде супроводжуватися утворенням пластівців не вдалося. Отримані рівняння 3.26...3.28 можна рекомендувати для наближеного розрахунку виходу сходових продуктів 2-ї розмелювальної системи під час проектування кількісного балансу помелу.

Оптимального значення загального добутку борошна на 2-й розмелювальній системі встановити не вдалося, виходячи з умов фактичного виробництва можна рекомендувати режим подрібнення у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи, при якому досягається добуток борошна до 30,0 %.

3.9. Режими подрібнення продукту на 3-й розмелювальній системі

Третя розмелювальна система подрібнює сходові продукти 1-ї та 2-ї розмелювальних систем, а також інші сходові продукти, які можуть направлятися із сортувального процесу. Ці продукти відносять до продуктів першої якості. Суміш, яка подається у вальцьовий верстат 3-ї розмелювальної системи складається переважно із дунстів та дрібної крупки. Після подрібнення дрібна крупка повністю перемелюється. Продукти помелу 3-ї розмелювальної системи приймають участь у формуванні борошна високих сортів, тому є потреба дослідити режими подрібнення цієї технологічної системи.

Дослідженнями режимів подрібнення вальцьового верстату 3-ї розмелювальної системи встановлено, що при зміні загального добутку борошна вищого сорту із 19,9 % до 32,1 % вихід дрібної крупки суттєво не змінювався і коливався в межах від 6,7 % до 8,5 %. Дрібна крупка представлена переважно дрібними зростками оболонки та ендосперму, завдяки чому ці продукти не піддаються ін-

тенсивному подрібненню. Результати досліджень наведено на рис. 3.14.

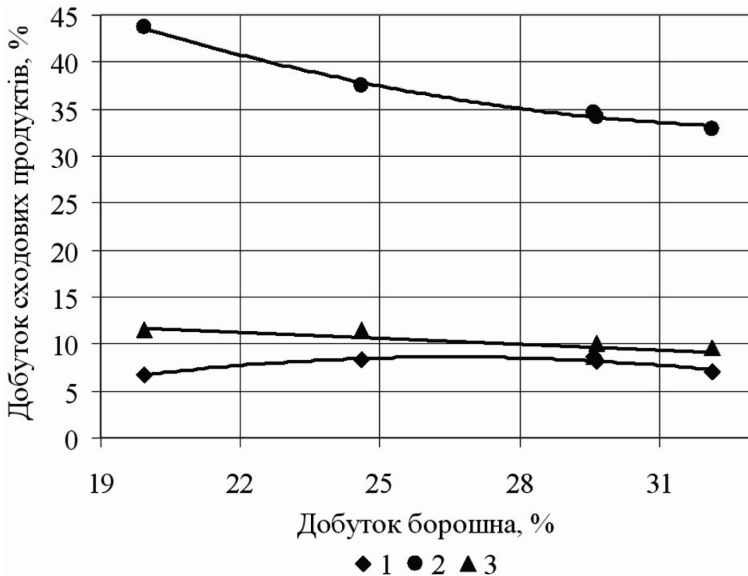


Рис. 3.14. Вихід сходових продуктів після подрібнення у вальцьовому верстаті 3 розмелювальної системи з врахуванням недосіву:

1 – дрібна крупка; 2 – дунсти; 3 – борошно 1-го сорту.

При зміні загального добутку борошна вищого сорту із 19,9 % до 32,1 % дунсти більш інтенсивніше подрібнювалися, про що свідчить зменшення їх виходу на 10,7 % з 43,6 % до 32,9 %. Вихід борошна 1-го сорту при зміні загального добутку борошна вищого сорту з 19,9 % до 32,1 % зменшився на 2,0 % з 11,4 % до 9,4 %. Добуток дрібної крупки та дунстів змінювалися за криволінійними залежностями, а вихід борошна 1-го сорту змінювався за прямолінійною залежністю.

Вихід борошна вищого сорту здійснюється переважно за рахунок зменшення виходу дунстів і в меншій мірі за рахунок дрібної крупки, оскільки її вміст не перевищує 10 %.

Для додаткового подрібнення проміжних продуктів після вальцьового верстата встановлюють ентолейтор-дисембратори ЕСМ-1,5, що дозволяє підвищити вихід борошна високих сортів. На рис. 3.15 наведено результати дослідження виходу дрібної крупки, дунстів та борошна І-го сорту після проходження продуктів помелу через вальцьовий верстат та ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 в залежності від добутку борошна на 3-й розмелювальній системі.

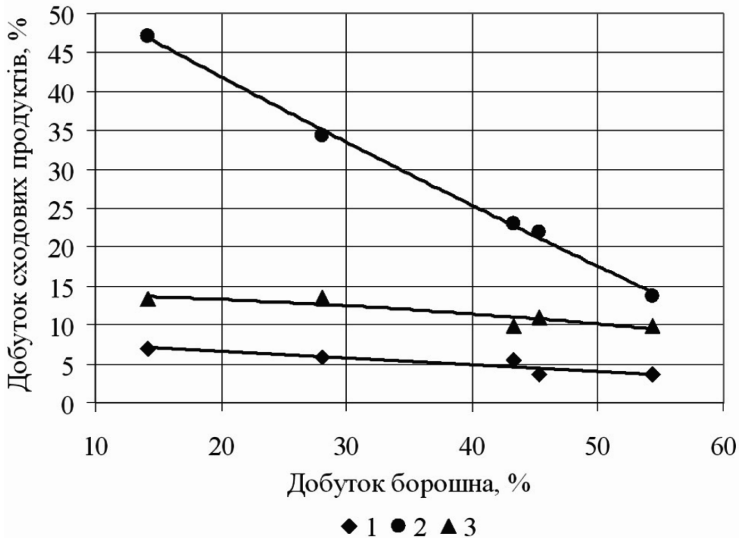


Рис. 3.15. Залежність виходу сходових продуктів від добутку борошна вищого сорту після ентолейтор-дисембратора ЕСМ-1,5 3-ї розмелювальної системи з урахуванням недосіву: 1 – дрібна крупка; 2 – дунсти; 3 – борошно 1-го сорту.

Із аналізу даних рис. 3.15 видно, що проходження проміжних продуктів через ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 вихід дрібної крупки, дунстів та борошна змінюється за лінійною залежністю. При збільшенні загального добутку борошна вищого сорту на 3-й розмелювальній системі з 14,2 % до 54,4 %, вихід дрібної крупки зменшився на 3,2 %

з 7,0 % до 3,7 %, вихід дунстів зменшився на 33,4 % з 47,1 % до 13,6 %, а вихід борошна 1-го сорту зменшився на 3,5 % з 13,3 % до 9,8 %.

Аналіз рис. 3.14 та 3.15 показує, що використання лише вальцьового верстату дозволяє отримати загальний вихід борошна вищого сорту на 3-й розмелювальній системі до 33,0 %. Додаткове застосування ентолейтора-дисембратора дозволяє збільшити вихід борошна на цій системі з 33,0 % до 54,4 %.

Загальний вихід сходових продуктів 3-ї розмелювальної системи, які наведено на рис. 3.16 апроксимуються наступними рівняннями:

вихід дрібної крупки на 3-й розмелювальній системі:

$$B_{ор.кр} = -0,086 B_{б.в.с} + 8,2 \quad (3.29)$$

де, $B_{ор.кр}$ – вихід дрібної крупки, %; $B_{б.в.с}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 3-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,9, а середнє відхилення 0,61 %.

Вихід дунстів на 3-й розмелювальній системі:

$$B_{д} = -0,814 B_{б.в.с} - 582 \quad (3.30)$$

де, $B_{д}$ – вихід дунстів, %; $B_{б.в.с}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 3-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,99, а середнє відхилення 0,67 %.

Вихід борошна 1-го сорту на 3-й розмелювальній системі:

$$B_{б.1с} = -0,101 B_{б.в.с} + 1528 \quad (3.31)$$

де, $B_{б.1с}$ – вихід борошна 1-го сорту, %; $B_{б.в.с}$ – загальний добуток борошна вищого сорту на 3-й розмелювальній системі, %.

Коефіцієнт кореляції досліджуваних ознак становить 0,89, а стандартне відхилення 0,78 %.

Отримані рівняння 3.29...3.31 мають практичну цінність для наукового прогнозування виходу сходових продуктів з 3-ї розмелювальної системи під час розрахунку наближеного кількісного балансу помелу.

Із попередніх досліджень видно, що добуток борошна у вальцьовому верстаті впливає на вихід борошна після ентолейтора-дисембратора, тому є практична необхідність встановити таку залежність і для системи вальцьовий верстат – ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 3-ї розмелювальної системи. Результати досліджень наведено на рис. 3.16.



Рис. 3.16. Залежність виходу борошна вищого сорту отриманого у ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 від виходу борошна вищого сорту отриманого у вальцьовому верстаті 3-ї розмелювальної системи з урахуванням недосіву

Дослідженнями встановлено, що із збільшенням загального добутку борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті 3-ї розмелювальної системи з 24,6 % до 32,1 % приріст добутку борошна вищого сорту в ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 збільшився з 3,5 % до 22,2 % за лінійною залежністю. Коефіцієнт кореляції дослідних

даних становить 0,98, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак. Аналогічно як і для 1-ї та 2-ї розмелювальних систем, така залежність є результатом додаткового руйнування частинок проміжних продуктів помелу із дефектами структури, мікротріщинами та зменшеною міцністю частинок.

Як і для попередніх двох розмелювальних систем можна рекомендувати такий режим роботи вальцьового верстата, при якому добуток борошна вищого сорту досягає до 32,0 %.

3.10. Ефективність роботи борошномельного заводу зі скороченим технологічним процесом

Для аналізу ефективності ведення технологічного процесу борошномельного заводу до та після впровадження скороченого помелу пшениці із встановленими оптимальними режимами подрібнення драних систем проведено зняття чотирьох фактичних балансів борошна із наступним визначенням білості потоків на основі яких побудовано кумулятивні криві, які наведено на рисунку 3.17.

Відповідно до наведених на рис. 3.17 даних середньозважена білість борошна не менше 55 од. приладу РЗ-БПЛ. При розвинутому процесі помелу та загальному добутку на I драній системі 35,9 % спостерігалось поступове зниження білості борошна з 68 од. до 66 од. при виході борошна до 12,0 %. Подальше зниження білості борошна з 66 од. до 64 од. спостерігалось при інтегральному збільшенні виходу борошна від 12,0 % до 36,0 %. Збільшення загального виходу з 36,0 % до 56,0 % призвело до зниження білості борошна до 62 од. При загальному виході борошна 77,0 % білість знизилась до 56 од.

За тих же умов збільшення загального добутку проміжних продуктів з 35,9 % до 46,7 % привело до зміни кількісно-якісних показників роботи борошномельного за-

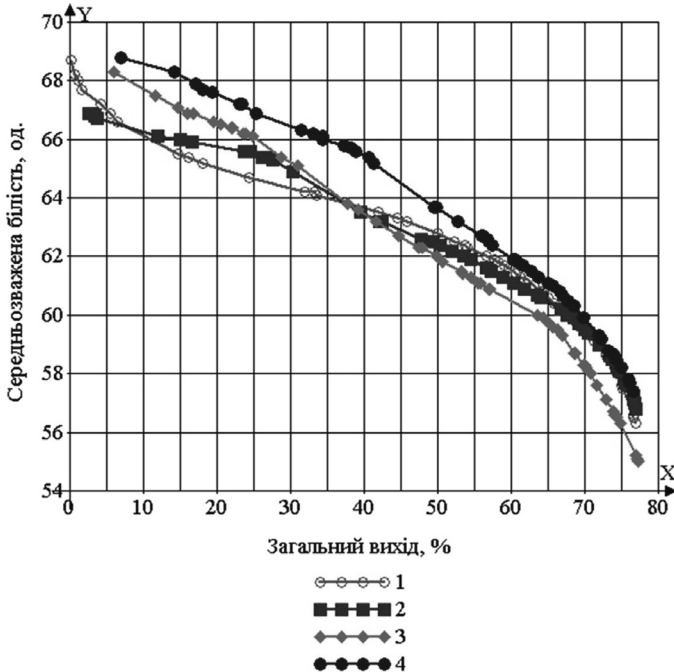


Рис. 3.17. Кумулятивні криві білості борошна:

1 – розвинутий процес помелу зерна (загальний добуток на I др.с. 35,9 %); 2 – розвинутий процес помелу зерна з інтенсифікованим режимом роботи I др.с. (загальний добуток на I др.с. 46,7 %); 3 – скорочений процес помелу зерна (загальний добуток на I др.с. 46,8 %); 4 – скорочений процес помелу зерна (загальний добуток на I др.с. 54,4 %).

воду, що відображається зміною виходів потоків борошна та їх білості. Найбільше значення білості борошна становило 66 од., при виході борошна 14,9 %. З наступним наростанням загального виходу борошна до 37,0 % білість борошна знизилась до 64 од., що перевищило вихід борошна при попередньому режимі I драної системи на 1,0 %. Білість борошна в 62 од. становила при виході борошна 53,5 %, що на 3,0 % менше ніж при попередньому режи-

мі. При загальному виході борошна 76,9 % білість борошна знизилась до 56 од.

При режимі роботи I драної системи, який характеризувався загальним добутком продуктів 46,8 % (прохід сита № 1,0), найбільше значення білості борошна становила 68 од. приладу при виході борошна 6,0 %. Зниження білості борошна з 68 од. до 66 од. спостерігалось при наростаючому виході 24,0 %. Збільшення виходу борошна з 24,0 % до 36,0 % призвело до зниження білості борошна з 66 од. до 64 од. При досягненні виходу борошна 49,8 % білість борошна зменшилась з 64 од. до 62 од. При загальному виході борошна 77,2 % середньозважена білість борошна становила 55 од. приладу РЗ-БПЛ.

З підвищенням загального добутку продуктів на I др.с. з 46,8 % до 54,4 % кількісно-якісні показники роботи розмелювального процесу покращились. Найбільша білість борошна 68 од. становила при виході борошна 6,9 %, що на 0,9 % більше за білість борошна при попередньому режимі. Зниження білості продукції з 68 од. до 66 од. спостерігалось при наростаючому виході в кількості з 6,9 % до 34,4 %, що відрізняється від попереднього режиму на 10,4 %. При підвищенні виходу борошна з 34,4 % до 47,5 % білість борошна відповідно знизилась з 66 од. до 64 од. При подальшому наростанні виходу борошна з 47,5 % до 60,0 % білість борошна знизилась до 62 од. При загальному виході борошна 76,6 % білість борошна становила 57 од. Режими подрібнення зерна пшениці у вальцьових верстатах I драної системи наведено в табл. 3.9.

Показники якості зерна, яке перероблялося під час досліджень балансів борошна наведено в табл. 3.10.

При проведенні досліджень борошномельний завод при розвинутому процесі помелу працював на 75 %-му помелі з базисними виходами 50 % вищого сорту та 25 % першого сорту. Згідно актів переробки зерна (форма № 117), фактичні виходи борошна склали: загальний вихід

Таблиця 3.9

Добуток продуктів подрібнення I драної системи, %

Система	Розвинутий процес помелу		Скорочений процес помелу	
	існуючий	інтенсифікований	існуючий	інтенсифікований
I др.с. № 1	36	44	48	58
I др.с. № 2	29	36	53	55
I др.с. № 3	37	57	43	51
I др.с. № 4	41	50	44	54
Середній добуток продуктів подрібнення	36	47	47	54

Таблиця 3.10

Показники якості зерна, яке перероблялося під час зняття балансів борошна

Показники якості зерна	Розвинутий процес (до реконструкції)		Скорочений процес (після реконструкції)	
	до очищення	на I др.с.	до очищення	на I др.с.
Натура, г/л	791	---	798	---
Вологість, %	13,1	16,2	12,7	15,9
Скловидність, %	38	---	38	---
Смітна домішка, %	0,7	0,4	0,7	0,3
Зернова домішка, %	4,0	2,3	3,6	2,3
у тому числі биті та щуплі зерна	1,6	1,8	1,6	2,1

борошна – 74...75,6 %, вихід вищого сорту – 54,5...59,8 %, вихід борошна першого сорту – 15,6...16,0 %.

Встановлено, що після переведення борошномельного заводу на скорочений процес помелу загальний вихід борошна збільшився на 1...2 % і складав 76,59 %...77,23 %. Вихід борошна вищого сорту складав – 59,66...64,6 %, що в середньому на 5 % більше ніж при розвинутому процесі.

Після переведення борошномельного заводу на скорочений технологічний процес помелу відбиралися зраз-

ки борошна вищого і першого сорту, з яких випікали хліб формовий у відповідності до ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба». Після випічки хліба визначали його органолептичні показники, показники об'ємного виходу та пористість м'якуша. Якість хліба відповідала державним стандартам на хліб.

На основі проведених досліджень і аналізу роботи борошномельного заводу можна зробити наступний висновок: скорочення технологічного процесу помелу зерна в борошно при відповідній організації підготовки зерна призводить до покращення якості готової продукції, але за умови інтенсифікованих режимів роботи драних систем.

3.11. Вплив вологості, скловидності та крупності зерна пшениці на вихід проміжних продуктів плющення

Дослідженнями встановлено, що і вологість і скловидність здійснюють вплив на процес плющення. На рис. 3.18 та 3.19 показано зміну виходу проміжних продуктів плющення в залежності від величини зазору між вальцями плющильного верстата за різної скловидності та вологості зерна пшениці.

Із даних рис. 3.18 та 3.19 можна бачити, що чітко простежується криволінійна залежність між величиною зазору між вальцями та добуток проміжних продуктів плющення (мучка, борошно тощо). Зменшення виходу борошнистих продуктів зі збільшенням зазору між вальцями можна пояснити тим, що сили стиску які діють на окрему зернівку зменшуються зі збільшенням відстані між вальцями, це відповідно призводить до зменшення деформацій зернівок. В свою чергу зниження деформацій призводить до зменшення напруг, які виникають в середині зернівок і зменшується руйнування внутрішньої структури ендосперму зернівок пшениці.

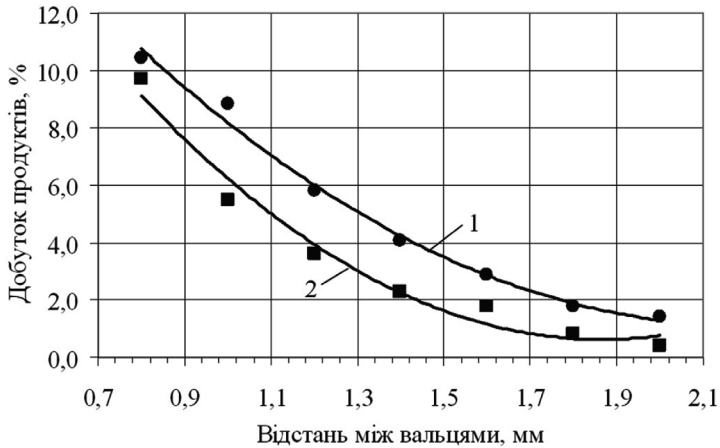


Рис. 3.18. Добуток проміжних продуктів плющення низькоскловидної пшениці в залежності від величини зазору між вальцями плющильного верстату:
 1 – вологість пшениці 12,9 %; 2 – вологість пшениці 15,0 %.

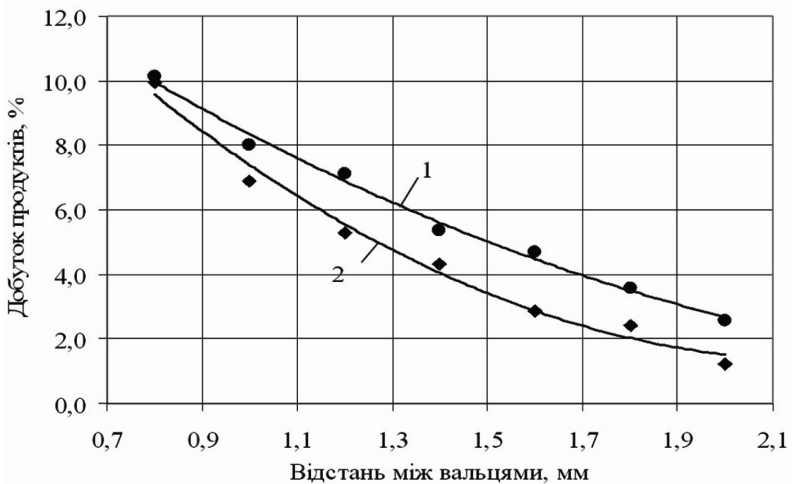


Рис. 3.19. Добуток проміжних продуктів плющення високоскловидної пшениці в залежності від величини зазору між вальцями плющильного верстату:
 1 – вологість пшениці 11,9 %; 2 – вологість пшениці 15,3 %.

Результати досліджень показують, що зі збільшенням вологості зерна пшениці добуток проміжних продуктів (прохід сита 1,0 мм), які утворюються в результаті плющення зменшується незалежно від скловидності зерна. Це пояснюється тим, що зі збільшенням вологості зерна знижуються крихкі та пружні властивості зерна і збільшуються пластичні властивості зерна, що призводять до збільшення опору зерна плющенню [133].

Порівнюючи результати досліджень, які наведено на рис. 3.18 та 3.19 можна бачити, що високоскловидне зерно пшениці за однакової відстані між вальцями плющильного верстату дало більший добуток проміжних продуктів плющення ніж низькоскловидне зерно пшениці. Це пояснюється тим, що високоскловидна пшениця більш міцна ніж низькоскловидна і володіє більш вираженими властивостями крихкого тіла [141].

Із даних рисунків 3.18 та 3.19 можна також бачити, що зі збільшенням зазору між вальцями плющильного верстату більше 2,0 мм добуток проміжних продуктів плющення прямує до нуля, що свідчить про значне зниження деформацій зерна пшениці в процесі плющення.

За однакових умов, високоскловидна пшениця руйнується з утворенням більшої кількості дрібних частинок ніж низькоскловидна пшениця, що підтверджується результатами досліджень, які наведено в табл. 3.11.

Під час проведення досліджень використовували зерно пшениці із показниками якості, які наведено в табл. 3.12.

Залежності, які наведено на рис. 3.18 та 3.19 добре описуються експоненціальним рівнянням, яке запропоноване А. В. Панченко [27, 28].

$$B = te^{-nb} \quad (2)$$

де B – добуток продуктів плющення, %; b – відстань між вальцями, мм; t, n – експериментальні коефіцієнти.

У табл. 3.13 наведено коефіцієнти рівняння (2), які описують експериментальні криві, а також коефіцієнти кореляції.

Таблиця 3.11

Добуток продуктів плющення в залежності від вологості

Відстань між вальцями, мм	Низькоскловидна пшениця		Високоскловидна пшениця			
	вологість, %	$\Delta = B1-B2, \%$	вологість, %	$\Delta = B1-B2, \%$	вологість, %	$\Delta = B1-B2, \%$
	12,9	15,0		11,9	15,3	
0,8	10,4	9,7	0,7	10,1	9,9	0,2
1,0	8,8	5,5	3,3	8,0	6,9	1,1
1,2	5,8	3,6	2,2	7,1	5,3	1,8
1,4	4,1	2,3	1,8	5,4	4,3	1,0
1,6	2,9	1,8	1,1	4,7	2,9	1,8
1,8	1,6	0,8	0,9	3,6	2,4	1,2
2,0	1,4	0,4	1,0	2,6	1,2	1,4

Таблиця 3.12

Показники якості пшениці

№ п/п	Найменування показника	Показники якості пшениці	
		низькоскловидна	високоскловидна
1	Натура зерна пшениці до очищення, γ , г/л	729	790
2	Натура зерна пшениці після очищення, γ , г/л	731	810
3	Маса 1000 зерен до очищення, г	33,7	34,0
4	Маса 1000 зерен після очищення, г	34,9	35,8
5	Скловидність, %	29	81
6	Вологість вихідного зерна, W, %	12,9	11,9
7	Вологість зерна після зволоження, W, %	15,0	15,3

Коефіцієнти кореляції знаходяться в межах 0,98...0,99, що свідчить про сильний зв'язок досліджуваних ознак [27, 28].

Покажемо на прикладі скловидного зерна пшениці, як крупність зерна впливає на добуток продуктів плющення. Високоскловидне зерно пшениці було розділено на дві

фракції на решітному полотні з отворами 3,0×20 мм. Показники якості отриманих фракцій наведено в табл. 3.14.

Таблиця 3.13

Коефіцієнти рівняння

№ рисунку	№ кривої на рисунку	Експериментальний коефіцієнт		Коефіцієнт кореляції, R
		m	n	
Рис. 2	1	47,125	-1,764	0,99
	2	75,176	-2,52	0,98
Рис. 3	1	24,756	-1,085	0,98
	2	37,14	-1,615	0,98

Таблиця 3.14

Показники якості крупної та дрібної фракції зерна пшениці

№ п/п	Показник	Фракція	
		крупна	дрібна
1	Вологість після зволоження, W, %	16,4	15,9
2	Натура пшениці, γ , г/л	819,2	811,8
3	Маса 1000 зерен, г	46,5	36,0
4	Скловидність, %	87	87

Незважаючи на різницю у вологості фракцій зерна пшениці на 0,5 %, простежується вплив крупності зерна пшениці на добуток проміжних продуктів плющення (рис. 3.20). Зі зменшенням крупності зерен, добуток проміжних продуктів плющення зменшується. Це пояснюється тим, що габаритні розміри зерен зменшуються, що призводить до зменшення деформації цих зерен під дією вальців і як наслідок до зменшення добутку проміжних продуктів плющення.

Наведені результати подрібнення показують, що на процес плющення впливає не тільки відстань між вальцями плющильного верстата але і технологічні показники якості зерна пшениці.

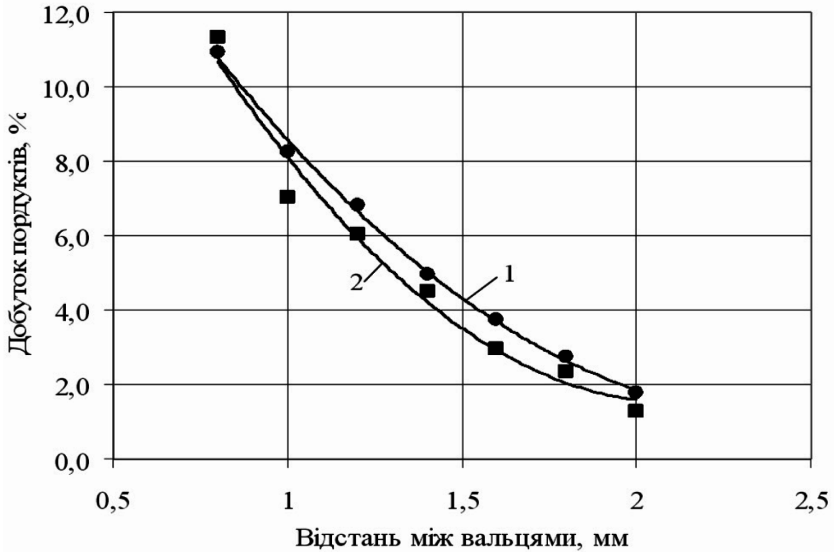


Рис. 3.20. Добуток продуктів плющення високоскловидної пшениці різної крупності:
1 – крупна фракція; 2 – дрібна фракція.

3.11.1. Вплив режимів плющення на добуток проміжних продуктів подрібнення зерна пшениці на I драній системі. Для з'ясування впливу режимів плющення на ефективність подрібнення зерна пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи проведено дві серії досліджень. В першій серії досліджень після плющення, утворений продукт провіювався лабораторному аспіраційному каналі з метою виділення усіх проміжних продуктів (мучки, крупки та борошно), а сходовий продукт направлявся у вальцьовий верстат I драної системи. У другій серії досліджень продукти плющення направлялися у вальцьовий верстат I драної системи без їх пневмосепарування.

Така організація досліджень пов'язана із тим, що «Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» рекомендують проводити відбір круподунстових продуктів та борошна у розсійнику, дуо-

аспіраторі або аспіраційній колонці. В той же час у роботі [151] показано, що круподунстові продукти і борошно можуть впливати на ефективність подрібнення у вальцьовому верстаті. З іншого боку, технічно організувати технологічний процес плющення без відбору круподунстових продуктів та борошна легше ніж здійснювати проміжний відбір вказаних продуктів. Це пов'язано із тим, що існує складність встановлення додаткового обладнання перед вальцьовим верстатом I драної системи, особливо в умовах малих підприємств. Виходячи із наведених фактів, досліджувалися обидва варіанти роботи організації технологічного процесу плющення та подрібнення.

3.11.2. Подрібнення плющеної пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи із попереднім відбором круподунстових продуктів і борошна. Дослідженнями встановлено, що продукти плющення, які утворюються у плющильному верстаті здійснюють суттєвий вплив на режими подрібнення пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи. Результати досліджень наведено на рис. 3.21

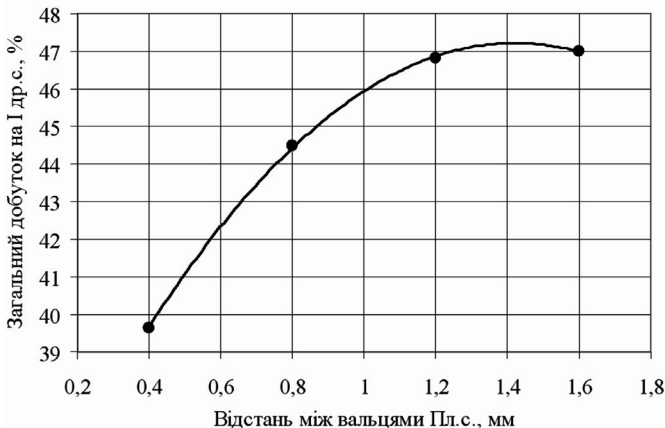


Рис. 3.21. Вплив відстані між вальцями плющильної системи на загальний добуток проміжних продуктів подрібнення I драної системи (з попереднім відбором круподунстових продуктів і борошна отриманих після плющення).

Результати досліджень показують, що зі збільшенням величини відстані між вальцями плющильної системи загальний добуток круподунових продуктів та борошно збільшується за параболічною залежністю, яку можна описати наступним рівнянням:

$$B_{\text{доп.}} = -7,18x^2 + 20,42x + 32,7 \quad (3)$$

де $B_{\text{доп.}}$ – загальний добуток круподунових продуктів та борошна після вальцьового верстату I драної системи, %; x – відстань між вальцями плющильної системи, мм.

Коефіцієнт кореляції становить 0,99, що свідчить про сильний зв'язок досліджуваних ознак. Стандартне відхилення становить 0,05 %.

Форма параболічної кривої має екстремум, що дозволяє визначити величину відстані між вальцями при якій спостерігався найбільший добуток проміжних продуктів подрібнення на I драній системі.

Диференціюємо рівняння 3 і прирівнюємо його до нуля.

$$\frac{dB_{\text{доп.}}}{dx} = -7,18 \cdot 2x + 20,42 \quad (4)$$

$$-14,36x + 20,42 = 0 \quad (5)$$

Розв'язавши рівняння (5) отримаємо значення величини зазору між вальцями плющильної системи при якому спостерігався найбільший вихід проміжних продуктів подрібнення на I драній системі:

$$x = \frac{20,42}{14,36} = 1,42 \approx 1,4 \text{ мм.}$$

Отримуємо оптимальне значення величини зазору між вальцями плющильного верстату 1,4 мм. Аналогічний результат отримав Ільчук В. Б. в під час досліджень режи-

мів плющення на малогабаритному млинзаводі в с.Бірків, Вінницької області.

Під час досліджень використовувалася низькоскловидна пшениця із показниками якості, які наведено в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

Показники якості пшениці

Найменування показника	Значення показника
Натура зерна, γ , г/л	756,6 \pm 3,07
Маса 1000 зерен, г	38,05 \pm 0,61
Скловидність зерна, %	21,3 \pm 4,7
Вологість зерна до зволоження, W, %	13,0 \pm 0,08
Вологість зерна після зволоження, W, %	15,06 \pm 0,16

3.11.3. Подрібнення плющеної пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи без відбору круподунстових продуктів і борошна. Дослідженнями встановлено, що характер залежності загального добутку проміжних продуктів подрібнення плющеної пшениці у вальцьовому верстаті I драної системи від величини зазору між вальцями плющильної системи суттєво змінюється. Крива сумарного добутку проміжних продуктів двох систем має спадаючий вид. При цьому найбільший сумарний добуток спостерігався при величині зазору між вальцями плющильної системи 0,4 мм і становив 63,5 %. Збільшення величини зазору між вальцями плющильної системи від 0,4 мм до 1,6 мм призвело до зниження загального добутку з 63,5 % до 49,9 %. Результати досліджень наведено на рис. 3.22.

Порівнюючи результати досліджень двох серій, які наведено на рис. 5 та 6 можна бачити, що проміжні продукти плющення створюють додатковий вплив на ефективність подрібнення у вальцьовому верстаті I драної системи і значного приросту круподунстових продуктів не спостерігається.

Складну залежність сумарного добутку двох технологічних систем можна пояснити тим, що борошністі про-

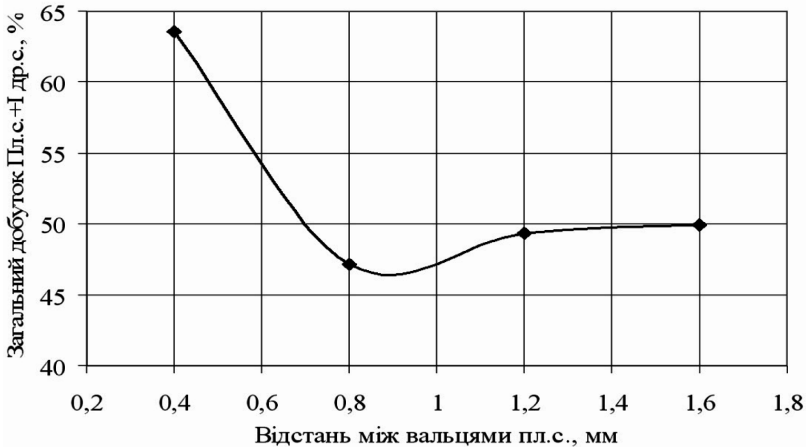


Рис. 3.22. Загальний добуток проміжних продуктів подрібнення після плющення та I драної системи (сумарно)

дукти після плющильного верстату потрапляють у міжвальцьовий зазор I драної системи і створюють додатковий негативний опір руйнуванню крупних сходових частинок ендосперму. На етапі плющення утворюються частинки різної крупності. У складі цих сумішей є частинки борошна, дунстів та крупок які не потребують подрібнення. Залишившись у загальній масі продукту разом із крупними сходовими частинками ендосперму [148], вони сприймають на себе частину зусиль вальців I драної системи, зменшуючи витрати енергії, які повинні піти на руйнування ендосперму, тим самим знижують потенційну технологічну ефективність процесу подрібнення. В хімічній технології давно відомо про «гальмуючий» вплив готових за крупністю продуктів на перебіг процесів подрібнення. Сіденко П. М. наводить таке правило: «Нічого зайвого не подрібнювати» [148].

Крім цього, на характер кривої загального добутку двох систем може впливати і розмір отриманих частинок після плющення, оскільки величина відстані між вальцями I драної системи залишалася незмінною, а продукти

плющення із збільшенням відстані між вальцями також могли збільшувати свої габаритні розміри.

Із обох серій досліджень можна зробити такі висновки: якщо прийняти за оптимальний зазор між вальцями плющильної системи 1,4 мм, то загальний добуток проміжних продуктів подрібнення у вальцьовому верстаті I драної системи змінюється в межах до 3,0 % в залежності від організації процесу плющення. Виходячи із результатів досліджень неможна віддати перевагу першому чи другому способу подрібнення плющеної пшениці, оскільки значних відмінностей між ними не спостерігається.

Для з'ясування впливу процесу плющення на добуток окремих фракцій продуктів подрібнення, досліджувалися гранулометричні характеристики продуктів подрібнення за умови, що подрібнювалися сходові продукти, а круподунстові продукти були попередньо виділені.

Диференціальні криві, які наведено на рис. 3.23, мають переважно однаковий вид. Звертає на себе увагу те, що при подрібненні на I драній системі цілого зерна (контрольного зразку), в діапазоні розмірів частинок від 90 мкм до 400 мкм добуток продуктів подрібнення більший ніж для плющеного зерна пшениці. А від 400 мкм до 1000 мкм добуток продуктів менший ніж для продуктів, які пройшли плющення. Для продуктів, які пройшли плющення незалежно від величини зазору між вальцями плющильної системи спостерігається менший добуток дрібних фракцій (менше 400 мкм) і навпаки збільшення добутку крупних фракцій.

Із отриманих результатів можна зробити висновок, що крупні фракції більше подрібнилися і перейшли у більш дрібніші при помелі цілого зерна при незмінних режимах роботи I драної системи.

Із даних рис. 3.23 видно, що добуток окремих фракцій проміжних продуктів подрібнення має нерівномірний розподіл в загальній масі продукту, диференціальні криві є полімодальними, про що свідчить наявність п'яти макси-

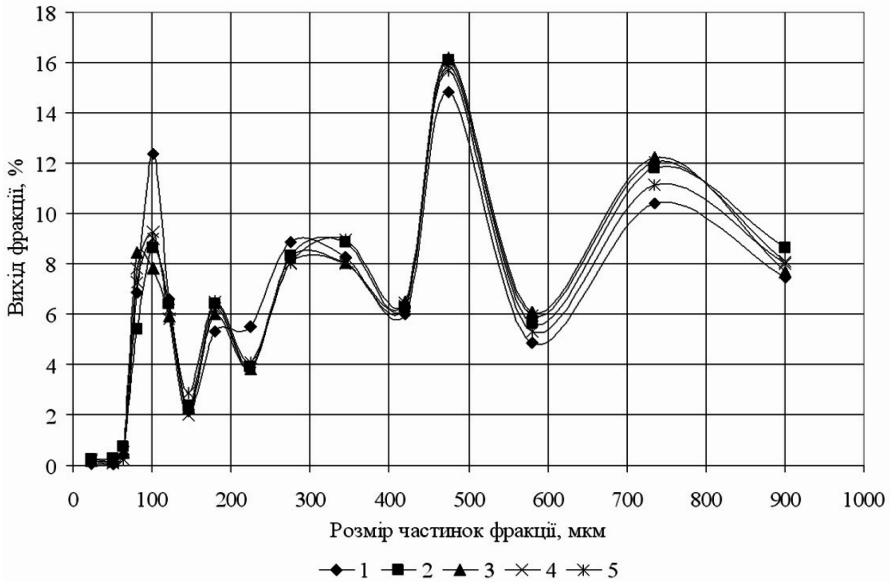


Рис. 3.23. Диференціальна крива розподілу частинки проміжних продуктів подрібнення після I драної системи (з відокремленням борошнистих продуктів перед I драної системою):

1 – контрольний зразок (ціле зерно); 2 – величина відстані між вальцями плуцильної системи 0,4 мм; 3 – величина відстані між вальцями плуцильної системи 0,8 мм; 4 – величина відстані між вальцями плуцильної системи 1,2 мм; 5 – величина відстані між вальцями плуцильної системи 1,6 мм.

мумів в усіх кривих. У фракціях із найбільшою кількістю частинки крива показує максимум, а при відсутності частинки – крива зменшується до нуля. Нерівномірний розподіл частинки в суміші можна пояснити неоднорідністю міцності ендосперму пшениці, а також нерівномірністю зусиль, які прикладені до частинки під час подрібнення [130].

Інтегральні криві менш чутливі щодо зміни в гранулометричному складі фракцій продуктів ніж диференціальні криві [130]. Інтегральні характеристики в порівнянні із

диференціальними є кращим способом графічного аналізу даних гранулометричного складу.

Інтегральні криві розподілу продуктів подрібнення зерна пшениці наведено на рис. 3.24

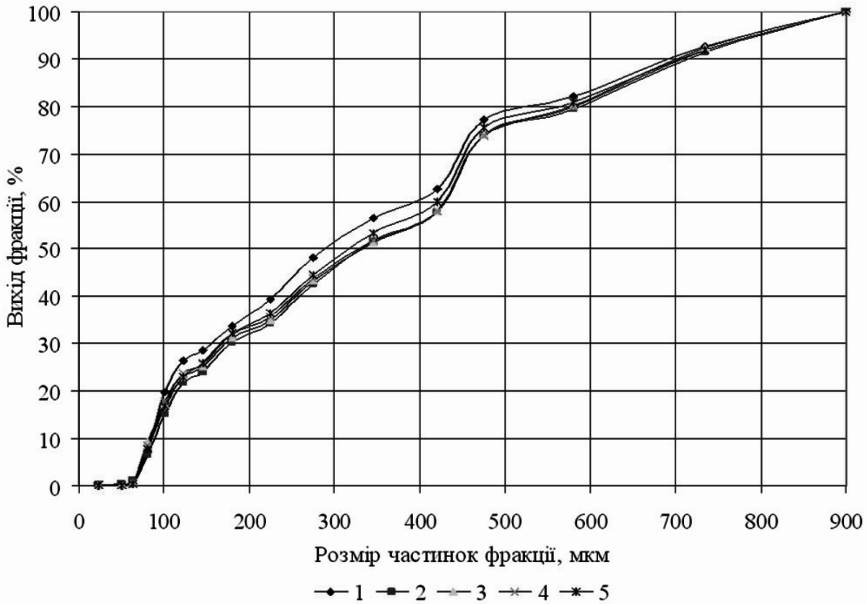


Рис. 3.24. Інтегральна крива розподілу частинки проміжних продуктів подрібнення після I драної системи (з відокремленням борошнистих продуктів перед I драною системою):

1 – контрольний зразок (ціле зерно); 2 – величина відстані між вальцями плющильної системи 0,4 мм; 3 – величина відстані між вальцями плющильної системи 0,8 мм; 4 – величина відстані між вальцями плющильної системи 1,2 мм; 5 – величина відстані між вальцями плющильної системи 1,6 мм.

Із даних рис. 3.24 видно, що найбільший вихід окремих класів крупності спостерігався при подрібненні на I драній системі контрольного зразка, тобто цілого зерна. А плющення призводило до зменшення виходу окре-

мих класів крупності. Найменший вихід окремих фракцій крупності спостерігався при плющенні пшениці із величинами зазору між вальцями від 0,4 до 1,2 мм при незмінних режимах подрібнення на I драній системі.

На основі даних інтегральних кривих можна зробити висновок, що для досягнення більшого добутку окремих фракцій продуктів подрібнення необхідно проводити регулювання режимів подрібнення на I драній системі і збільшуючи загальний добуток на I драній системі, тобто встановлювати більш «низький» режим подрібнення.

Більший добуток окремих фракцій продуктів при подрібненні на I драній системі пояснюється тим, що зерна пшениці не піддавалися додатковим деформаціям і тому постійна величина зазору між вальцями I драної системи створила більші зусилля на окремі зерна, що і дало більший добуток окремих фракцій. Сплющені зерна, навпаки змінили свої габаритні розміри і тому, вальці I драної системи здійснили менший вплив на деформовані зерна, що і призвело до зменшення добутку окремих фракцій продуктів подрібнення. Чим більше була величина зазору між вальцями плющильної системи, тим менший добуток крупних фракцій отримано на I драній системі.

Отримані інтегральні криві мають схожий вид до інтегральних кривих, які отримано Campbell G. M. та його співробітниками [108], що дозволяє використати математичний апарат для їх опису, який розроблений G. M. Campbell.

Деякі питання експлуатації процесу плющення. «Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» рекомендують здійснювати процес плющення у вальцьових верстатах при відношенні колових швидкостей вальців 1:1. В практичній діяльності плющення здійснюється у вальцьових верстатах, аналогічних, які використовуються для помелу зерна. Практично складно встановити співвідношення колових швидкостей 1:1 за рахунок відсутності однакових шестерен для вальцьових верстатів, якщо привід вальців здійснюється через

редуктор. В таких випадках підбирають такі шестерні, щоб співвідношення колових швидкостей вальців була в межах не більше 1,25.

«Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах» рекомендують проводити процес плющення на мікрошорохуватих вальцях, але практичний досвід показує, що при діаметрах вальців 250 мм відбувається накопичення зерна пшениці на вальцях, незважаючи на використання живильника. Для усунення накопичення зерна на вальцях плющильного верстата рекомендується встановлення нарізних вальців замість мікрошорохуватих. Кількість рифлів на 1 см кола вальців 15,0 рифлів, ухил рифлів 6 %.

Висновки по розділу 3

1. Дослідженнями підтверджено, що додаткове очищення зерна в елеваторі сприяє підвищенню загального виходу борошна на 1,2 %. Показники пробної випічки хліба не змінюються.

2. На основі проведених досліджень по сортуванню зерна на крупну та дрібну фракції перед лущенням рекомендовано: для виділення дрібної фракції зерна на плоскорешітних зерноочисних сепараторах типу А1-БІС-12 необхідно використовувати решітні полотна із розмірами отворів № 2а-3,0×20.

3. Дослідження режимів подрібнення підготовленого зерна дали можливість встановити, що вихід круподунстових продуктів І драної системи має нелінійний характер. Математична обробка експериментальних залежностей виходу крупної крупки дозволяє рекомендувати режим подрібнення на І драній системі при загальному добутку проміжних продуктів 40 %, при сталих параметрах вальців у вальцьових верстатах. Збільшення загального добутку І драної системи з 25..30 до 40 % призведе до збільшення крупної крупки з 12,9 до 15,6 %.

4. Результати дослідження режимів подрібнення II драної системи дали можливість встановити нелінійний характер виходу крупної, середньої крупки та борошна. Вихід дрібної крупки та борошна має лінійний характер. Математична обробка отриманих даних дозволила рекомендувати режим подрібнення II драної системи при якому досягається загальний добуток проміжних продуктів подрібнення в кількості 60 %, при сталих параметрах вальців у вальцьових верстатах.

5. Визначені режими подрібнення III драної системи крупної, які дозволили рекомендувати режим подрібнення при якому досягається загальний добуток проміжних продуктів подрібнення в кількості 35 %, при сталих параметрах вальців у вальцьових верстатах.

6. Встановлені режими подрібнення III драної системи дрібної, які дозволили рекомендувати режим подрібнення при якому досягається загальний добуток проміжних продуктів подрібнення в кількості 45 %, при сталих параметрах вальців у вальцьових верстатах.

7. Доведено, що на 1-й розмелювальній системі вальцьовий верстат може давати добуток борошна вищого сорту до 28 %, застосування ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 збільшує добуток борошна вищого сорту до 56 %. Експериментально встановлено лінійну залежність між добутком борошна у вальцьовому верстаті та ентолейторі-дисмембраторі ЕСМ-1,5.

8. Дослідженнями встановлено, що на 2-й розмелювальній системі вальцьовий верстат може давати добуток борошна вищого сорту до 35 %, а застосування ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 збільшує добуток борошна вищого сорту до 62 %.

9. Встановлено, що на 3-й розмелювальній системі вальцьовий верстат може давати добуток борошна вищого сорту до 32 %, застосування ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 збільшує добуток борошна вищого сорту до 54 %.

10. Дослідженнями загальної ефективності роботи розмелювального відділення за показником середньозваженої білості встановлено, що скорочений процес помелу зерна в сортове борошно не погіршує показників якості готової продукції за умови інтенсифікованих режимів подрібнення на драних системах, а саме збільшення загального добутку на перших трьох драних системах.

11. При переведенні борошномельного заводу на скорочений режим помелу із рекомендованими режимами подрібнення, загальний вихід борошна збільшується на 0,5...1,0 %, у тому числі вищого сорту на 5...10 %, якість випеченого хліба залишається незмінною.

12. Загальний добуток проміжних продуктів плющення описується експоненціальною залежністю, яку запропоновано А.В. Панченко.

13. Для низькоскловидного зерна пшениці можна рекомендувати встановлювати відстань між вальцями 1,4 мм.

14. При проектуванні борошномельних заводів, можна рекомендувати направляти усі продукти плющення у вальцьовий верстат I драної системи, без їх проміжного просіювання.

15. При подрібненні плющеного зерна пшениці необхідно проводити регулювання режимів подрібнення I драної системи.

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОМЕЛУ ЗЕРНА В СОРТОВЕ БОРОШНО

У цьому розділі наведено наукове обґрунтування, розроблення та опис впровадженого технологічного процесу виробництва сортового борошна.

4.1. Розроблення та наукове обґрунтування лущення зерна пшениці перед помелом на борошномельних заводах різної продуктивності

Застосування сучасних дебрандерів типу «Каскад-М» дозволяє підвищити ефективність обробки поверхні зерна, разом із тим підвищити виділення оболонки до надходження зерна на I драну систему, що покращує показники якості готової продукції. Значне споживання електроенергії лушцильними машинами призводить до необхідності розроблення технологічного процесу лущення для борошномельних заводів різної продуктивності.

Для борошномельних заводів продуктивністю 100... 150 т/добу процес лущення зерна відбувається за наступною схемою: зволожене зерно подається через магнітну колонку (2.1) в оперативну місткість (3.1) над дебрандерами (4.1, 4.2). Із дебрандерів (4.1, 4.2) зерно подається в повітряний сепаратор (5.1), в якому виділяються оболонки та бите зерно. Після повітряного сепаратора (5.1) зерно

подається на дозволювання перед I драною системою. З метою знепилення та попередження перегрівання робочих органів дебрандерів та виділення оболонки луцильниці обов'язково повинні бути обладнані системою аспірації (6.1, 7.1). Для борошномельних заводів продуктивністю 100...150 т/добу обов'язковим є паралельне встановлення оббивальної машини (8.1), задачі якої обробляти зерно у випадку зупинки дебрандерів або зменшення їх продуктивності. На рис. 4.1 наведено схему технологічного процесу луцення зерна перед помелом, яку впроваджено на борошномельному заводі продуктивністю 100 т/добу. За наведеною технологічною схемою основна маса зерна проходить процес луцення.

Для борошномельних заводів продуктивністю 250...330 т/добу луцення зерна перед помелом здійснюється за схемою: зволене зерно подається через магнітні колонки (4.1, 4.2) на зерновий сепаратор (5.1), в якому здійснюється виділення дрібної фракції зерна в кількості до 30 %. Прохід сепаратора направляється в оперативну місткість (6.1) над дебрандерами (8.1, 8.2). Схід сепаратора направляється на оббивальні машини (7.1, 7.2) для обробки поверхні зерна. Луцне зерно подається в повітряний сепаратор (10.1) в якому виділяється бите зерно та оболонки. Частина оболонки відсмоктується в систему аспірації при знепиленні дебрандерів. Оброблене зерно в оббивальних машинах (7.1, 7.2) подається в повітряний сепаратор (9.1), в якому також виділяється бите зерно та деяка частина оболонки. Оболонки з аспіраційної мережі луцильників та бите зерно із повітряних сепараторів об'єднуються та подаються на зважування. Луцна дрібна фракція зерна після повітряного сепаратора об'єднується із крупною фракцією зерна, яка пройшла обробку в оббивальних машинах і подається на дозволювання перед I драною системою. Особливістю даної схеми є луцення дрібної фракції зерна в кількості до 30 %. Схему технологічного процесу луцення пшениці перед помелом, яка

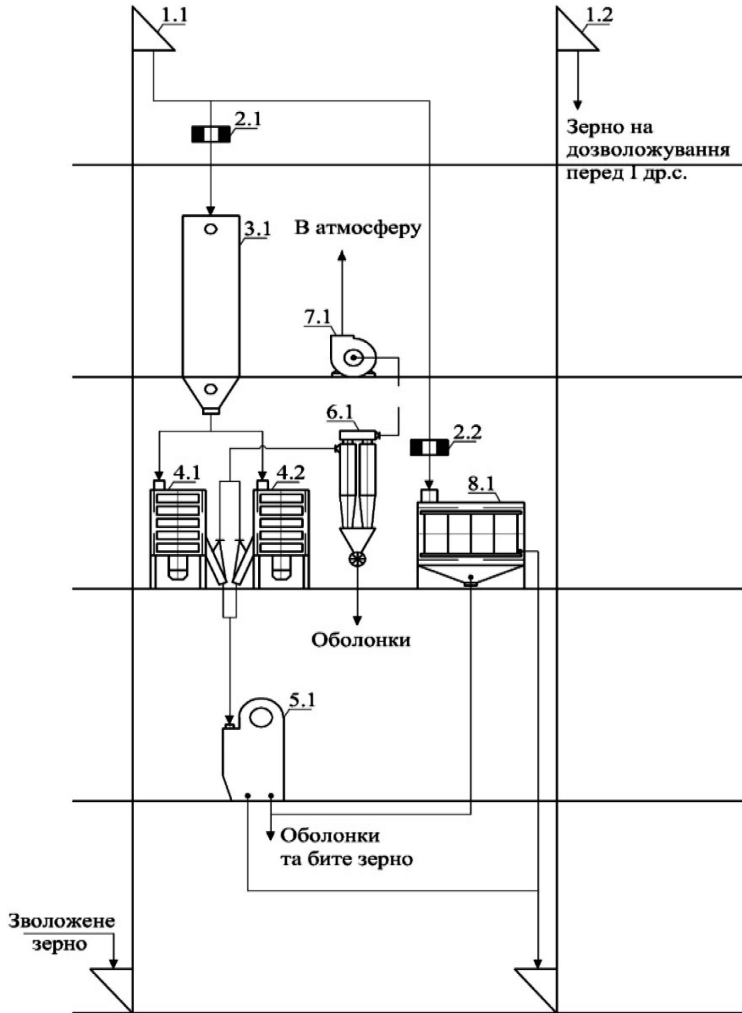


Рис. 4.1. Принципова схема технологічного процесу лущення зерна перед помелом на борошномельному заводі продуктивністю 100...150 т/добу:

1.1–1.2 – норія Н-10; 2.1–2.2 – магнітна колонка БМП; 3.1 – оперативний бункер; 4.1-4.2 – дебрандер «Каскад-М»; 5.1 – повітряний сепаратор А1-ВДЗ-6; 6.1 – циклон 4БЦШ; 7.1 – вентилятор середнього тиску; 8.1 – оббивальна машина РЗ-БГО-6.

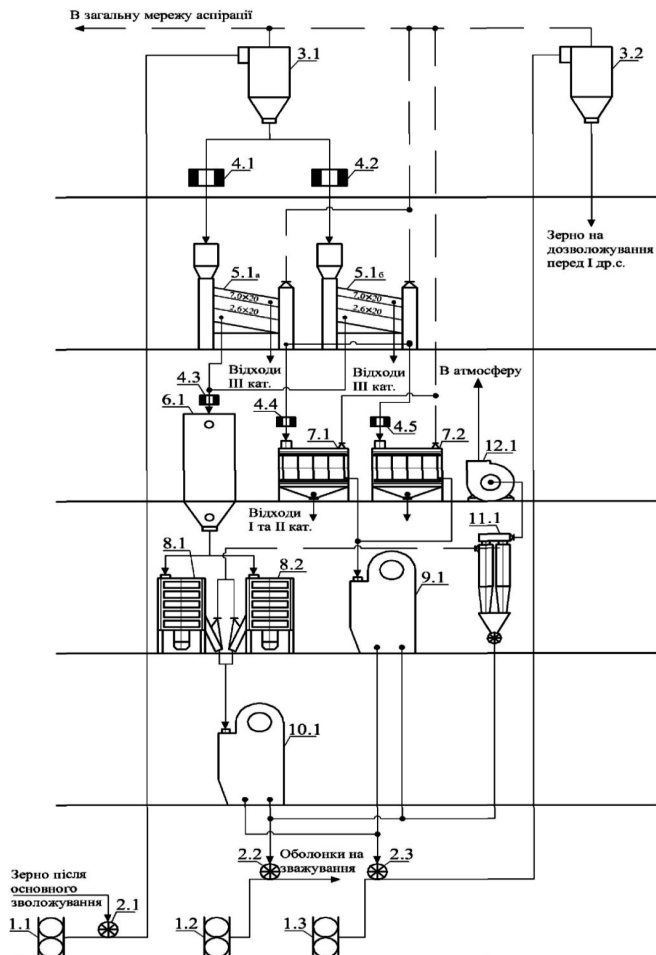


Рис. 4.2. Принципова схема технологічного процесу лущення зерна перед помелом на борошномельному заводі продуктивністю 300 т/добу:

1.1–1.3 – повітродувна машина ВР; 2.1–2.3 – шлюзовий живильник РЗ-БШЗ; 3.1–3.2 – циклон-розвантажувач У2-БРО; 4.1–4.5 – магнітна колонка БМП; 5.1 – зерночисний сепаратор А1-БІС-12; 6.1 – оперативний бункер; 7.1–7.2 – оббивальна машина РЗ-БГО-8; 8.1–8.2 – дебрандер «Каскад-М»; 9.1 – повітряний сепаратор А1-БДЗ-12; 10.1 – повітряний сепаратор А1-БДЗ-6; 11.1 – циклон 4БЦШ; 12.1 – вентилятор середнього тиску.

наведена на рис. 4.3 впроваджено на борошномельному заводі продуктивністю 300/добу

Ефективність луцнення визначається зниженням зольності та кількістю битих зерен. Дослідженнями технологічної ефективності схеми підготовки зерна, яка наведена на рис. 4.2, встановлено, що кількість битих зерен підвищується із зниженням зольності зерна. Ця закономірність може бути апроксимована лінійною залежністю, яка наведена на рис. 4.3.

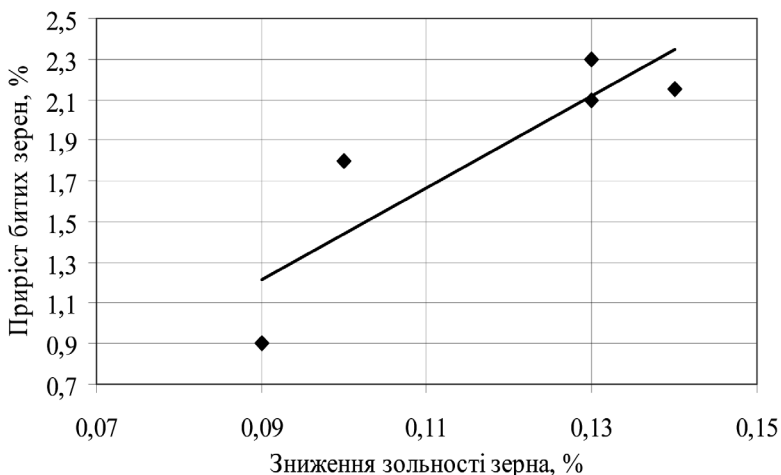


Рис. 4.3. Залежність приросту битих зерен від зниження зольності при луцненні дрібної фракції зерна пшениці в дебрандерах «Каскад-М»

Коефіцієнт кореляції досліджуваних показників становив 0,87, що свідчить про тісний зв'язок цих ознак.

Із даних рис. 4.4. можна зробити висновок, що із збільшенням інтенсивності луцнення підвищується і кількість битих зерен з 0,9 % до 2,3 %, разом із тим луцнення дрібної фракції зерна пшениці в дебрандерах «Каскад-М» дозволяє знижувати зольність зерна на 0,09...0,14 %, що в три – чотири рази більше ніж у звичайних оббивальних машинах з ситовим циліндром.

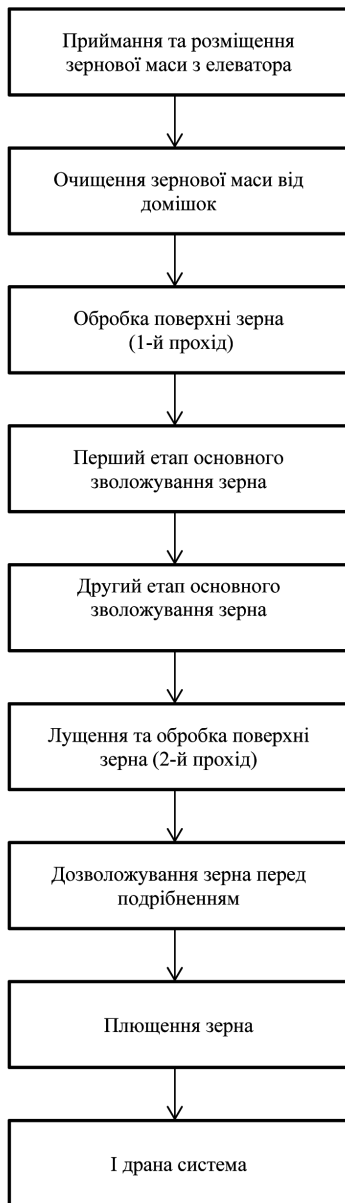


Рис. 4.4. Принципова схема технологічного процесу підготовки зерна до помелу

4.2. Наукове обґрунтування технологічного процесу підготовки зерна до помелу

Для отримання борошна високої якості необхідно створити відповідну підготовку зерна до помелу, яка забезпечить ефективне виділення мінеральних та органічних домішок, зволоження зерна та обробку поверхні зерна. Удосконалення технологічного процесу підготовки зерна до помелу передбачає введення в організацію технологічного процесу підготовки зерна до помелу етапу лушення, яке дозволяє відокремити оболонки від зерна та покращити якість готової продукції. Враховуючи значну продуктивність борошномельного заводу розроблено, запроектовано та впроваджено у виробництво технологічний етап лушення не менше 30 % дрібної фракції, яка знаходиться у вихідному зерні. Для зниження витрат електроенергії та підвищення продуктивності борошномельного заводу запропоновано етап плющення підготовленого зерна. Поєднання етапу лушення та плющення зерна перед першою драною системою дає можливість знизити режим подрібнення на I драній системі до 40 % і більше.

У розділі 3 наведено експериментальні дані, які підтвердили доцільність очищення зернової маси в елеваторі, що в призвело до покращення показників якості хліба, тому для підвищення ефективності очищення зерна пшениці перед помелом та в кінцевому результаті покращення якості готової продукції, рекомендується проводити додаткове очищення зерна пшениці в елеваторах на ситах рекомендованими «Правилами...». Такий технологічний підхід дозволяє підвищити ефективність виділення смітних домішок із зернової маси, незважаючи на те, що ефективність сепарування в елеваторному режимі в середньому становить 30...40 %. Під час проектування нових борошномельних заводів рекомендується в технологічній частині передбачати обов'язкове очищення зернової маси в елеваторах.

Технологічний процес підготовки зерна до помелу складається із наступних етапів, які дозволяють ефективно очищати зерна та провести його підготовку до помелу: приймання та розміщення неочищеного зерна в бункерах; основний етап очищення та обробки поверхні зерна; зволоження та створення помельної партії; луцення та обробки поверхні зерна; дозволоження зерна та його наступне плющення перед подачею на I драну систему. Технологічний процес підготовки зерна до помелу виконаний однією секцією з двома потоками. Принципову схему технологічного процесу впровадженого на борошномельному заводі продуктивністю 300 т/добу наведено на рис. 4.5.

Етап приймання неочищеного зерна з елеватора передбачає подачу зерна з елеватора за допомогою транспортеру (1.1), зважування в автоматичних вагах ДН-1000 (2.1) та розташування зернової маси в бункерах для неочищеного зерна за допомогою ланцюгового транспортеру (5.1). Під бункерами для неочищеного зерна розташовані регулятори потоку зерна УРЗ-1 (6.1...6.6), які задають витрату зерна у визначеній кількості та подають у гвинтові транспортеризмішувачі (7.1, 7.2). Змішані потоки зерна двома потоками передаються аерозольтранспортом на етап очищення.

Етап очищення зерна передбачає виділення металомангнітних домішок у магнітних колонках У2-БМЗ (9.1, 9.2), сепарування у ситоповітряному сепараторі А1-БІС-12 (14.1), виділення мінеральних домішок у каменевідбірниках РЗ-БКТ-100 (16.1, 16.2), виділення важковіддільних домішок у концентраторах А1-БЗК-18 (17.1, 17.2). В зерночисному сепараторі використано решітні полотна з отворами сортувального полотна № 2а-4,25×20 та підсівного полотна № 2а-2,2×20. Використання решітного полотна № 2а-2,2×20 дозволяє збільшити відбір битого та дрібного зерна, що позитивно позначається на ефективності помелу зерна в борошно. Домішки, які утворюються в зерночисному обладнанні подаються у бункер для відходів за категоріями. Очищена зернова маса подається в оббиваль-

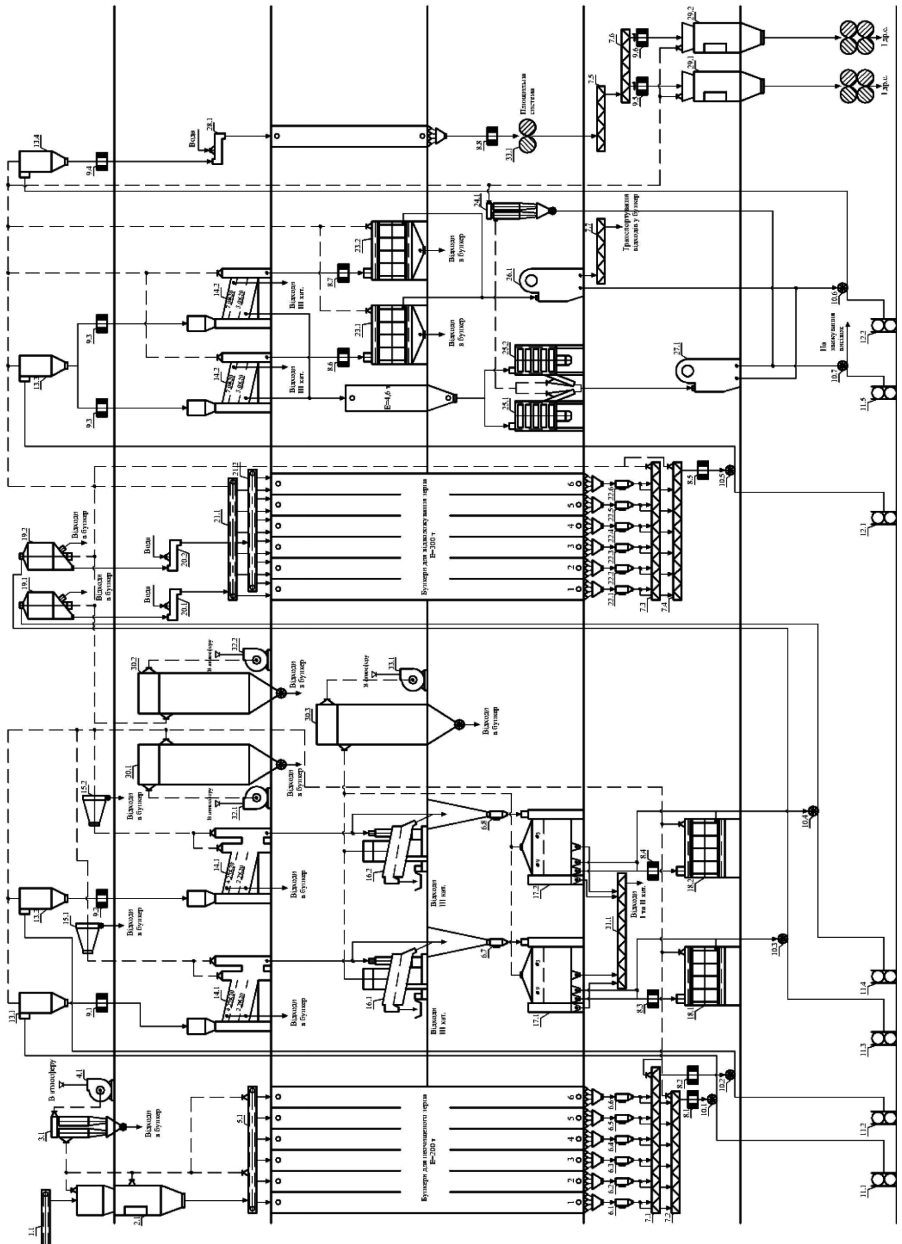


Рис. 4.5. Схема технологічного процесу підготовки зерна до помелу на заводі продуктивністю 300 т/добу

1.1, 5.1, 21.1, 21.2 – транспортер ланцюговий; 2.1 – ваги автоматичні ДН-1000; 3.1, 24.1 – циклон; 4.1, 32.1, 32.2, 33.1 – вентилятор середнього тиску; 6.1...6.8 – пристрій витрати зерна УР3-2; 7.1...7.6 – гвинтовий конвеєр-змішувач РЗ-БКШ; 8.1...8.7, 9.1...9.6 – магнітна колонка УЗ-БМЗ; 10.1...10.7 – шлюзовий живильник РЗ-БШЗ; 11.1...11.4 – повітродувна машина ЗАФ53; 12.1, 12.2 – повітродувна машина ЗАФ57; 13.1...13.4 – циклон-розвантажувач У2-БРО; 14.1, 14.2 – зерноочисний сепаратор А1-БІС-12; 15.1, 15.2 – горизонтальний циклон А1-БЛЦ; 16.1, 16.2 – каменевідбірник РЗ-БКТ; 17.1, 17.2 – концентратор А1-БЗК-18; 18.1, 18.2, 23.1, 23.2 – оббивальна машина РЗ-БГО-8; 19.1, 19.2 – пневмосепаратор РЗ-БСД; 20.1, 20.2 – апарат інтенсивного зволоження А1-БШУ-2; 22.1...22.6 – пристрій витрати зерна УР3-1; 25.1, 25.2 – дебрандер ШШМ-3,2 «Каскад-М»; 26.1 – повітряний сепаратор АСХ-10; 27.1 – повітряний сепаратор АСХ-5; 28.1 – апарат інтенсивного зволоження А1-БШУ-1; 29.1, 29.2 – автоматичні ваги ДВС-50У; 30.1...30.3 – фільтр-циклон РЦЕ-40,8-48; 31.1 – гвинтовий транспортер РЗ-БКШ; 33.1 – плющильний верстат А1-БЗ-2Н.

ні машини РЗ-БГО-8 (18.1, 18.2), в яких здійснюється обробка поверхні зерна, після чого зернова маса подається на етап зволоження за допомогою аерозольтранспорту. Повітряні сепаратори РЗ-БСД, які є елементом аерозольтранспортної установки, здійснюють відокремлення легких домішок, що утворюються під час обробки зерна в оббивальних машинах.

Зволоження зерна здійснюється в апаратах інтенсивного зволоження А1-БШУ-2 (20.1, 20.2). Зволожене зерно пшениці розподіляється в бункерах для відволоження за допомогою ланцюгових транспортерів (21.1, 21.2). Зерно першого потоку розташовується окремо в бункерах від зерна другого потоку. Після відволоження в бункерах створюється кінцева помельна партія за допомогою пристроїв витрати зерна

УРЗ-2 (22.1...22.6). Змішування зерна здійснюється у двох гвинтових транспортерах-змішувачах (7.3, 7.4), після чого одним потоком зерно подається на етап обробки поверхні зерна та луцення.

Перед луценням зерна здійснюється виділення металомагнітних домішок у магнітних колонках У1-БМЗ (9.3, 9.4), а також фракціонування зерна у зерновому сепараторі А1-БІС-12 (14.2). В зерноочисному сепараторі використано сортувальне решітне полотно із отворами № 2а-7,0×20 та підсівне полотно з отворами № 2а-3,0×20. Дослідження щодо підбору решітного полотна для фракціонування наведено у розділі 3. Прохід (дрібна фракція) підсівного сита направляється у оперативну ємність, а схід (крупна фракція) направляється в оббивальні машини РЗ-БГО-8 (23.1, 23.2).

З оперативного бункера 30 % дрібної фракції, яка знаходиться у вихідному зерні після відволожування подається на луцення в дебрандери ШШМ-3,2 «Каскад-М» (25.1, 25.2). Дебрандери «Каскад-М» обладнані аспіраційними каналами, які дозволяють частково виділяти відокремлені оболонки та частково биті зерна. Для збільшення ефективності виділення битих зерен та оболонок після дебрандерів необхідно зернову масу направити на повітряний сепаратор АСХ-5 (27.1), що додатково дозволяє виділити продукти луцення зерна пшениці.

Крупна фракція зерна пшениці пройшовши через оббивальні машини РЗ-БГО-8 (23.1, 23.2) також подається в повітряний сепаратор АСХ-10 (26.1) для виділення битих зерен, оболонок та пилу. Виділені оболонки після луцення подаються у бункер на лінію зважування висівок.

Пролущена дрібна фракція та крупна фракція зерна об'єднуються і подаються на етап дозволожування, пройшовши через магнітну колонку У1-БМЗ (9.4). Дозволожування зерна здійснюється у апараті інтенсивного зволожування А1-БШУ-1 (28.1). Зволожена зернова маса подається у бункер для відлежування на протязі не більше 0,5 год. Після відлежування проводиться плющення

зерна у вальцьовому верстаті (33.1) з типорозміром вальців 1000×250 мм, та міжвальцевим зазором $0,7 \dots 1,0$ мм. Режим плющення зерна повинен забезпечувати загальний добуток продуктів (прохід сита № 1,0) не більше $5,0$ %. Більш низький режим роботи системи плющення призводить до надмірних витрат електроенергії та погіршує роботу I драної системи.

Проплющене зерно пшениці за допомогою двох гвинтових транспортерів (7.5, 7.6) подається на зважування у автоматичні ваги ДВС-50У (29.1, 29.2). Зважена зернова маса із автоматичних вагів направляється у вальцьові верстати I драної системи.

Технологічний процес, який наведено на рис. 4.5 впроваджено на борошномельному заводі продуктивністю 300/добу. Індекс луцення дрібної фракції становив $6,0$ %. Оболонки виділялись чистими без частинок ендосперму, що дозволило зробити висновок про доцільність їх направлення у висівки, а не у відходи I та II категорії.

4.3. Наукове обґрунтування технологічного процесу помелу зерна в борошно

Практика експлуатації сучасних технологічних процесів сортових помелів дозволяє отримувати високі сорти борошна при скороченому етапі розмелу. Для забезпечення високих виходів борошна технологічний процес сортового помелу повинен складатися із наступних складових: драний, сортувальний, вимелювальний етапи, етап збагачення проміжних продуктів помелу, шліфувальний та розмелювальний етап та контроль готової продукції.

Драний етап необхідний для отримання максимального виходу круподунстових продуктів, саме тому організація цього етапу найбільш складна і найбільше привертає увагу дослідників саме крупоутворенню. Для забезпечення високих виходів борошна утворені крупки і дунсти першої та другої якості необхідно розсортувати для чого використо-

вують сортувальні системи. При відсутності сортувального етапу складність організації драного етапу зменшується, але разом із тим і вихода борошна високих сортів також зменшуються. Ретельне розсортування крупок і дунстів у драному етапі необхідне для забезпечення високої ефективності процесу збагачення. Виключення сортувального етапу із технологічного процесу призводить до зниження ефективності роботи ситовійних машин. У зв'язку із значними енергетичними витратами на ситовійний процес, не можна допускати роботу ситовійних машин в якості розсійника, на що вказує К. В. Дрогалін [40]. У разі використання ситовійного процесу необхідно організувати драний етап таким чином, щоб максимально отримати ефект від процесу збагачення у ситовійних машинах, що не можливо без ретельного сортування круподунстових продуктів. Скорочення сортувального процесу можливе лише для борошномельних заводів невисокої продуктивності (до 100 т/добу).

Вимелювання оболонкових продуктів передбачає відокремлення оболонок від залишків ендосперму і може розглядатися як своєрідний контрольний етап обробки оболонкових продуктів.

Розвинутий етап збагачення круподунстових продуктів доцільний для борошномельних заводів з великою продуктивністю, оскільки об'єми переробки зерна в борошно перебивають значні витрати електроенергії. Для борошномельних заводів низької продуктивності (100... 150 т/добу) створювати розвинутий етап збагачення енергетично недоцільно.

Шліфувальний етап є важливою складовою технологічного процесу помелу зерна в борошно і дозволяє обробляти сходові продукти ситовійних систем, які містять оболонкові продукти. У разі відсутності шліфувальних систем такі сходові продукти не можна направляти на системи першої якості оскільки це може значно погіршити якість борошна. При наявності шліфувальних систем

виникає можливість збільшити вихід борошна високих сортів, оскільки високі режими подрібнення на цих системах не призводять до надмірного подрібнення оболонки і це дозволяє сходові продукти високої якості направляти на системи першої якості. При направленні тих чи інших продуктів також необхідно керуватися показниками якості цих продуктів, відносячи їх до продуктів першої чи другої якості або оболонкових продуктів.

Розмелювальний процес призначений для максимального подрібнення збагачених крупок і дунстів у борошно. В розмелювальному процесі утворюється найбільша кількість борошна високих сортів. Організація розмелювального етапу простіша у порівнянні із драним етапом.

Контроль борошна призначений для забезпечення виділення крупних частинок із борошна у разі порушення технологічного процесу та роботи обладнання. Практика експлуатації різних технологічних процесів свідчить, що системи контролю борошна не здатні покращити якість борошна, яке надходить на них із робочих систем драного та розмелювального етапів.

Використання процесів луцення та плюцення дала можливість підвищити продуктивність розмелювального відділення борошномельного заводу. На основі проведених досліджень підвищено загальний добуток проміжних продуктів до 40 % на I драній системі, до 60 % на II драній системі, до 35 % на III драній системі крупній та до 45 % на III драній системі дрібній дозволили скоротити і тим самим удосконалити технологічний процес із 11 розмелювальних систем до 7 систем. Удосконалена технологічна схема процесу наведена на рис. 4.6.

Скороченню технологічних систем також сприяли дослідження режимів роботи вальцових верстатів та ентолейторів-дисембраторів ЕСМ-1,5, якими було обладнано борошномельний завод. Дослідженнями доведено, що для усунення промолу режими подрібнення на перших трьох розмелювальних системах повинні бути «низькими»

[86], тобто загальний добуток на системах повинен бути максимальний, що також позитивно відбивається на режимах роботи ентолейторів-дисмембраторів.

Удосконалений технологічний процес помелу пшениці в сортове хлібопекарське борошно (рис. 4.6) складається із драного, сортувального, вимелювального етапів, етапу збагачення проміжних продуктів подрібнення, розмелювального етапу та контролю борошна.

Драний етап складається із чотирьох драних драних систем, при чому III та IV драні системи поділяються на крупну та дрібну. На IV драній системі крупній та дрібній після вальцьового верстату встановлено ентолейтори РЗ-БЕР [15]. Експлуатація ентолейторів РЗ-БЕР на IV драній системі показала, що ентолейтори РЗ-БЕР дозволяють отримувати до 6,0 % борошна по відношенню до системи, але недоліком їх роботи є те, що загальна білість борошна першого сорту знижується на 2 одиниці приладу РЗ-БПЛ. Перші три драні системи обробляють продукти першої якості, IV драна система обробляє продукти другої якості.

Вимелювання оболонкових продуктів починається із першого сходу III драної системи крупної і завершується у вимелювальних машинах. Вимелювальних систем п'ять, і вони представлені вимелювальними машинами А1-БВГ та МБО.

Сортувальний етап складається із чотирьох систем, які обробляють продукти різної якості.

Процес збагачення у ситовійних машинах представлений дев'ятью системами. Перші чотири ситовійні системи обробляють продукти першої якості, решта систем обробляють продукти другої якості. Дев'ята ситовійна система призначена для контролю манної крупи. Перший та другий схід перших чотирьох ситовійних систем направляються у драний етап та на першу шліфувальну систему. Сходові продукти 5...9 ситовійних систем направляються на шліфувальні системи другої якості. Проходіві продукти першої якості направляються на першу розмелювальну систему.

Шліфувальний процес представлений трьома шліфувальними системами, перша шліфувальна система обробляє продукти першої якості, друга та третя шліфувальні системи обробляють продукти другої якості. На першій шліфувальній системі, з метою додаткового подрібнення проміжних продуктів, встановлено ентолейтор РЗ-БЕР, на другій шліфувальній системі – ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5, на третій шліфувальній системі – деташер А1-БДГ. Схеми розсійників шліфувальних та розмелювальних систем підібрано таким чином, що можна було отримати два сходових продукти. Перший сходовий продукт містить високозольні оболонкові продукти і направляється на сходові системи, якими є четверта та сьома розмелювальні системи.

Розмелювальний процес складається із семи розмелювальних систем, причому перші три розмелювальні системи обробляють продукти першої якості, решта систем продукти другої якості. З метою додаткового подрібнення проміжних продуктів після вальцьових верстатів перших трьох розмелювальних систем встановлено ентолейтори РЗ-БЕР та ентолейтори ЕСМ-1,5. На четвертій, п'ятій та шостій розмелювальних системах після вальцьових верстатів передбачено деташери А1-БДГ, які дозволяють руйнувати конгломерати частинок і таким чином сприяють покращенню процесу просіювання проміжних продуктів. Остання сьома розмелювальна система має мікрошорсткі вальці, разом із тим після вальцьового верстату встановлено ентолейтор РЗ-БЕР для додаткового подрібнення оболонкових продуктів.

Контроль борошна представлений трьома системами, які обслуговують потоки борошна вищого, першого та другого сорту.

На рис. 4.7 представлений кількісний баланс розмелювального відділення борошномельного заводу сортового помелу пшениці продуктивністю 330 т/добу ТОВ «Вінницький комбінат хлібопродуктів № 2».

Технічні показники удосконаленої схеми помелу наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Технічні показники удосконаленої технологічної схеми помелу на борошномельному заводі

№ п/п	Технічні показники	Значення
1	Загальна довжина вальцьової лінії, см	4200
	в тому числі:	
	на драних системах, см	2300
	на розмелювальних системах, см	1900
2	Відношення вальцьової лінії розмелювальних систем до драних	0,83
3	Питоме навантаження на вальцьову лінію, кг/см·добу	825
4	Загальна просіююча поверхня, м ²	225,6
	в тому числі:	
	на драних системах, м ²	84,6
	на розмелювальних системах, м ²	89,3
	на сортувальних системах, м ²	37,6
	на контролі борошна, м ²	28,2
5	Питоме навантаження на просіюючу поверхню, кг/м ² ·добу	1463
6	Ширина сит ситовійних машин, см	480
7	Питоме навантаження на просіюючу поверхню ситовійних машин, кг/м ² ·добу	687,5

Як видно із даних табл. 4.1 питоме навантаження на вальцьову лінію становить 825 кг/см·добу, що вище ніж допустимі значення відповідно до «Правил ...» 650...750 кг/см·добу. Питомі навантаження на просіюючу поверхню теж дещо вищі ніж рекомендовані «Правилами ...» і становлять 1463 кг/м²·добу. Нормативні навантаження становлять 1300...1400 кг/м²·добу. При скороченні технологічного процесу підвищення питомих навантажень

є невід'ємною складовою. Вальцьову лінію плющильної системи рекомендується враховувати до загальної довжини вальцьової лінії процесу, оскільки плющення є початковим етапом руйнування зерна перед подачею його на І драну систему.

Параметри вальців на досліджуваних технологічних системах залишились не змінними та наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

**Кінематичні та геометричні параметри вальців
на досліджуваних технологічних системах борошномельного
заводу**

Система	Число рифлів на І см кола вальця, R, шт.	Ухил рифлів, У, %	Співвідношення швидкостей обертання вальців, К	Швидкість обертання швидкохідного вальця, V, м/с	Взаємо-розташування рифлів	Кути нахилу рифлів, град.	Типорозмір вальців
Плющильна система	15,3	6	1,25	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
І др.с.	4	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
ІІ др.с.	5,4	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
ІІІ др.с.кр.	6,5	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
ІІІ др.с.др.	7,5	6	2,5	6	сп/сп	30°/65°	1000×250
1 р.с.	–	–	1,25	5	–	–	1000×250
2 р.с.	–	–	1,25	5	–	–	1000×250
3 р.с.	–	–	1,25	5	–	–	1000×250

4.4. Аналіз енерговитрат після впровадження удосконаленого технологічного процесу

Енерговитрати на переробку 1 тону зерна пшениці є важливим показником, як з точки зору ведення технологічного процесу так і економічної діяльності підприємства. Впровадження плющення зерна пшениці перед I драною системою та лущення дрібної фракції підвищило встановлену потужність електродвигунів, разом із тим ці два технологічні прийоми дозволили підняти продуктивність борошномельного заводу із 270 т/добу до 300 т/добу і в подальшому до 350 т/добу без додаткового встановлення розмелювального обладнання. В табл. 4.3 наведено порівняльний аналіз витрат електроенергії на тону переробленого зерна до реконструкції та після неї.

Аналіз даних табл. 4.3 показує, що до впровадження нових технологічних прийомів середньомісячні енерговитрати становили 69...70 кВт на 1 тону переробленого зерна. Аналіз цих даних проводився у 2012 році до зміни технології помелу.

Після впровадження удосконаленої технології енерговитрати поступово змінювали. Середні енерговитрати у квітні 2013 року становили 73,0 кВт на 1 тону переробленого зерна пшениці за рахунок того, що борошномельний завод здійснював поступовий перехід на нову технологію помелу із поступовим підвищенням продуктивності. Як видно з табл. 4.1 в наступні два місяці (травень, червень) витрати електроенергії на 1 тону переробленого зерна пшениці зменшилися із 73,0 до 68,7 кВт і в подальшому зменшувалися за рахунок поступового підвищення продуктивності заводу із 270 т/добу до 350 т/добу. За рахунок підвищення продуктивності заводу до 350 т/добу енерговитрати зменшилися із 73,0 до 61,7 кВт на 1 тону переробленого зерна.

Зменшення витрат електроенергії на 1 тону переробленого зерна є результатом підвищення продуктивності підприємства. У випадку, якщо продуктивність борошномельного заводу залишиться незмінною, енерговитрати на 1 тону переробленого зерна зростатимуть та перевищать величину витрат електроенергії, яка була до впровадження удосконалених технологічних рішень.

Таблиця 4.3

Середні енерговитрати на 1 тону переробленого зерна

№ п/п	Місяць	Енерговитрати, кВт·год/тону зерна	
		до реконструкції (2012 рік)	після реконструкції (2013 рік)
1	Лютий	70,8	–
2	Березень	70,7	–
3	Квітень	69,7	73,0
4	Травень	–	68,4
5	Червень	–	68,7
6	Липень	–	65,9
7	Серпень	–	62,6
8	Вересень	–	61,7
9	Жовтень	–	61,7

Підвищення продуктивності борошномельного заводу здійснюється за рахунок застосування системи плющення зерна перед помелом без додаткового встановлення вальцових верстатів. Режим роботи плющильної системи повинен забезпечувати загальний добуток продуктів подрібнення (прохід сита № 1,0) до 3,0 %. Зниження режиму є недоцільним і призведе до збільшення енерговитрат на помел в цілому. Встановлення плющильної системи є вирішальною у підвищенні продуктивності борошномельного заводу.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено схеми технологічного процесу луцення зерна перед помелом для борошномельних заводів різної продуктивності.

2. Розроблено, обгрунтовано та впроваджено удосконалену технологічну схему помелу зерна пшениці в сортове хлібопекарське борошно на борошномельному заводі продуктивністю 300/добу.

3. Проведено аналіз витрат електроенергії на помел зерна в борошно до впровадження удосконалених технологічних рішень та після впровадження. В середньому витрати електроенергії знизились на 10...11 кВт·год/тону переробленого зерна пшениці.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень дозволили удосконалити технологію переробки зерна пшениці за рахунок поєднання таких технологічних операцій, які вперше виконані сумісно: додаткове очищення зерна в елеваторі, фракціонування зернової маси на крупну та дрібну фракції, луцнення дрібної фракції зерна пшениці на луцильниках «Каскад-М», плющення зерна пшениці перед I драною системою, зниження режимів подрібнення зерна та продуктів його переробки на перших трьох драних системах та перших трьох розмелювальних системах та використання ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 замість ентолейторів РЗ-БЕР.

1. Практично підтверджено вплив додаткового очищення зерна в елеваторі. Встановлено, що додаткове очищення зерна в елеваторі дозволяє збільшити загальний вихід борошна на 1,2 % за рахунок додаткового виділення домішок та покращення якості зерна пшениці.

2. Вперше розроблено удосконалену технологічну схему підготовки зерна до помелу для борошномельного заводу продуктивністю 270 т/добу із застосуванням етапу луцнення, що досягається за рахунок фракціонування зерна пшениці на зерноочисному сепараторі із плоскими решітними полотнами. Для виділення до 30 % дрібної фракції зерна пшениці в лінії луцнення рекомендується встановлювати решітні полотна з розмірами отворів № 2а-3,0×20.

3. Встановлено режими подрібнення зерна та проміжних продуктів подрібнення перших трьох драних систем. Отримано математичні залежності добутку окремих продуктів подрібнення від загального добутку на системі. Рекомендується встановлювати добуток продуктів на I драній системі – 40 %, на II драній системі – 60 %; на III драній системі крупній – 35 %, на III драній системі

дрібній – 45 %, при сталих параметрах вальців у вальцьових верстатах.

4. Визначено режими подрібнення та запропоновано математичні залежності добутку борошна та круподунових продуктів на перших трьох розмелювальних системах із додатковим обладнанням ентолейторами-дисмембраторами ЕСМ-1,5. Найбільшого добутку борошна на 1-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцьовому верстаті – 28 %, на 2-й розмелювальній системі – 35 %, на 3-й розмелювальній системі – 32 %. При цьому застосування ентолейторів-дисмембраторів ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 1-й розмелювальній системі до 56 %, на 2-й розмелювальній системі до 62 %, на 3-й розмелювальній системі до 54 %. Експериментально встановлено, що залежність між добутком борошна вищого сорту у вальцьових верстатах розмелювальних систем та виходом борошна вищого сорту в ентолейторах-дисмембраторах ЕСМ-1,5 має лінійну залежність. Результати експериментальних досліджень описано математичними залежностями, що дозволяє використовувати їх для розрахунку кількісних балансів борошна.

5. Розроблено та впроваджено технологію підготовки зерна до помелу, яка включає очищення зерна в елеваторі, луцення дрібної фракції зерна пшениці в кількості до 30 % після відволожування та етап плющення зерна пшениці перед I драною системою. Проведені дослідження із застосуванням вище наведених прийомів дали можливість скоротити кількість розмелювальних систем, а вивільнене обладнання задіяти для збільшення продуктивності борошномельного заводу з 270 т/добу до 300 т/добу без додаткового обладнання у розмелювальному відділенні, за винятком вальцьового верстата для плющення. Впровадження вище описаних прийомів підготовки зерна до помелу та підвищення продуктивності борошномельного заводу дозволяє зменшити витрати електроенергії на 1 тону переробленого зерна на 10...11 кВт·год та збільши-

ти загальний вихід борошна на 0,5...1,5 %, у тому числі вищого сорту на 5...10 %.

6. Вперше розроблено та затверджено «Рекомендації по внесенню змін в технологію сортового помелу пшениці за скороченою схемою для діючих та проектуючих борошномельних заводів».

7. Для низькоскловидного зерна пшениці можна рекомендувати встановлювати відстань між вальцями 1,4 мм. При проектуванні борошномельних заводів, можна рекомендувати направляти усі продукти плющення у вальцовий верстат I драної системи, без їх проміжного просіювання. При подрібненні плющеного зерна пшениці необхідно проводити регулювання режимів подрібнення I драної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Айзикович, Л.Е. Технология производства муки. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Л.Е. Айзикович, Б.Н. Хорцев. – М.: Заготиздат, 1973.
2. Айзикович, Л.Е. Физико-химические основы технологии производства муки. – М.: Колос, 1975. – 240 с.
3. Алимкулов, Ж.С. Исследование технологических свойств и гидротермической обработки шелушенного зерна при многосортном помоле пшеницы. Автореферат на соиск. уч степени канд. техн. наук. – М.: МТИПП, 1979. – 30 с.
4. Алимкулов, Ж.С. Опыт подготовки зерна пшеницы к помолу с предварительным отделением оболочек // Серия «Мукомольно-крупяная промышленность». Вып. 7. – М.: ЦНИИТЭИ, 1979. – 22 с.
5. Афанвсьев, П. Мукомольные мельницы. Изд. 2-е значительно доп. – М. –СПб.: Из-во тов. М.О. Вольф. – 761 с.
6. Берестнев, Е.В. Рекомендации по организации и ведению технологического процесса на мукомольных предприятиях. / Е.В. Берестнев, В.Е. Петриченко, В.О. Новицкий. – М.: ДеЛи принт, 2008. – 176 с.
7. Беркутова, Н.С. Микроструктура пшеницы / Н.С. Беркутова, И.А. Швецова. – М.: Колос, 1977. – 124 с.
8. Беркутова, Н.С. Технологические свойства пшеницы и продуктов ее переработки / Н.С. Беркутова, И.А. Швецова. – М.: Колос, 1984. – 223 с.
9. Братухин, А.М. Интенсификация сортовых помолов пшеницы. / А.М. Братухин, Б.М. Максимчук, А.Ф. Тимукас. // Серия «Мукомольно-крупяная промышленность». – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1973. – 52 с.
10. Бутковский, В.А. Современная техника и технология производства муки. / В.А. Бутковский, Л.С. Галкина, Г.Е. Птушкина. – М.: ДеЛи принт, 2006. – 319 с.
11. Бутковский, В.А. Технологии зерноперерабатывающих производств. / В.А. Бутковский, А.И. Мерко, Е.М. Мельников. – М.: Интеграф сервис, 1999. – 472 с.
12. Бутковский, В.А. Технологическая эффективность размольного процесса на сортовых мельницах / В.А. Бутковский, С.Л. Мавевская // Серия: «Элеваторная, мукомольно-крупяная и комбикормовая промышленность». – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1970. – 80 с.

13. Вашкевич, В.В. Технология производства муки на промышленных и малых мельзаводах. / В.В. Вашкевич, О.Б. Горнец, Г.Н. Ильичев. – Барнаул: Алтайский полиграфический комбинат, 1999.
14. Верещинский, А.П. Закономерности измельчения шелушеного зерна пшеницы // Хлебопродукты. – 2012. – № 12. – С. 38–39.
15. Верещинський, О. П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортів хлібопекарських помелів пшениці : дис. докт. техн. наук : 05.18.02 / Верещинський Олександр Павлович. – К. : 2013. – 270 с.
16. Верещинский, А.П. Обработка поверхности зерна на мельницах / А.П. Верещинский, А.В. Крощко // Хранение и переработка зерна. – 2005. – № 5. – С. 31–33.
17. Верещинский, А.П. Подготовка зерна шелушением на мельницах сортов помолов пшеницы / Хранение и переработка зерна, № 11, 2009. – С.34–35.
18. Верещинський, О.П. Технологічні прийоми виділення зерна, охопленого фузаріозом / О.П. Верещинський, Є.А. Дмитрук, В.Б. Ільчук, Є.І. Харченко, О.О. Євтушенко // Хранение и переработка зерна № 10, 2015. – С. 52–53.
19. Верещинский, А.П. Шелушение как способ интенсификации водно-тепловой обработки в сотовых помолах пшеницы // Хранение и переработка зерна. – 2012. – №6. – С.38–40.
20. Верещинский, А.П. Шелушение пшеницы в технологии сортов помолов // Хранение и переработка зерна. – 2008. – № 9. – С. 52–55.
21. Влага в зерне. / А.С. Гинзбург, В.П. Дубровский, Е.Д. Казаков, Г.С. Окунь, В.А. Резчиков. – М.: Колос, 1969. – 223 с.
22. Галимзянов, Д.А. Интенсификация подготовки зерна для мельниц малой производительности. Автореферат на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – М.: МГУПП, 2010. – 26 с.
23. Галкина, Л.С. Исследование и выбор параметров, определяющих технологически рациональную структуру крупобразующего процесса при трехсортном хлебопекарном помолу пшеницы. Автореферат на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – М.: ВЗИПП, 1975. – 22 с.
24. Гафнер, Л.А. Основы технологии приема, хранения и переработки зерна / Л.А.Гафнер, В.А.Бутковский, А.М.Родюкова. – М.: Колос, 1975. – 400 с.
25. Гафнер, Л.А. Пособие для аппаратчика мукомольного производства. – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
26. Гиришсон, В.Я. Экспериментальные исследования процессов технологии зерна. Под ред. д.т.н. Я.Н.Куприца и к.т.н. П.П.Тарутина. – М.: Заготиздат, 1949. – 150 с.

27. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 200 с.
28. Грачев, Ю.П. Математические методы планирования экспериментов / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 296 с.
29. Гросул, Л.И. Прочность связи между оболочками зерна пшеницы / Л.И. Гросул, И.Р. Дударев, Л.И. Котляр // Известия вузов. Пищевая технология. – 1973. – №2. С. 9–13.
30. Давыдов, Р.С. Совершенствование этапа крупобразования сортового помола пшеницы: дис. канд. техн. наук. – ОНАПТ. – Одесса, 2013. – 184 с.
31. Данилин, А.С. Совершенствование технологических процессов на мукомольных заводах. / А.С. Данилин, А.М. Братухин. – М.: Колос, 1976. – 303 с.
32. Дебрандер конструкции «Каскад». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.olis.com.ua/equipments/proizvodstvo-mukiikrup/debranderkonstrukciikaskadmashinadlyaglubokoyobrabotkipoverhnostizerna/>.
33. Демидов, А.Р. Исследование режима работы вальцевого станка при измельчении зерна: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. – М.: 1947. – 23с.
34. Демидов, А.Р. Мельничные вальцовые станки. – М.: Заготиздат, 1948. – 239 с.
35. Демский, А.Б. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов. Справочник / А.Б.Демский, В.Ф.Веденьев. – М.: ДеЛи принт, 2005. – 760 с.
36. Дмитрук, Є. Від розміщення ентолейторів / Є. Дмитрук, В. Ільчук, Т. Корж, Т. Містулова // Зерно і хліб, №2, 2003. – С. 45.
37. Дмитрук, Є.А. Дослідження технологічної ефективності обладнання борошномельного заводу за скороченою схемою помелу / Є.А. Дмитрук, О.П. Верещинський, О.А. Чорний, Є.І. Харченко. // Хранение и переработка зерна, №10, 2011. – С.52–53.
38. Дмитрук Є.А. Скорочений технологічний процес виробництва борошна / Є.А. Дмитрук, В.Б. Ільчук, О.П. Верещинський, О.А. Чорний, Є.І. Харченко // Хранение и переработка зерна, № 2, 2009. – С.53–54
39. Дрогалин, К.В. Обогащение промежуточных продуктов помола пшеницы. Под ред. д.т.н., проф. Я.Н. Куприца. – М.: Заготиздат, 1955. – 103 с.
40. ДСТУ 2209-93. Борошно, побічні продукти і відходи. Терміни та визначення. – Вид. офіц. – К.: Держстандарт України, 1993. – 55 с.
41. Дударев, И.Р. Исследование винтопрессового метода шелушения увлажненной пшеницы: дис. ... канд. техн. наук. – Одесса: ОТИПП, 1965. – 200 с.

42. Дударев, И.Р. Лабораторное исследование шелушения увлажненной пшеницы / И.Р. Дударев, И.В. Калишневич, Л.И. Котляр // Известия вузов. Пищевая технология. – 1981. – № 1. – С. 71–77.
43. Дударев И.Р. Научно–технические основы интенсификации процессов и создание машин для обработки поверхности зерна: дис. ... докт. техн. наук – Одесса: ОТИПП, 1989. – 437с.
44. Дударев, И.Р. Переработка пшеницы в муку с предварительным отделением оболочек / И.Р. Дударев, И.В. Настагунин, И.К. Кравченко, Л.И. Котляр / Хранение и переработка зерна. – М.: ЦНИИЭИ Минзага СССР, 1970. – 51 с.
45. Дулаев В.Г. Оптимальные системы технологических процессов и машин мукомольного производства: Монография. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2003. – 378 с.
46. Дулаев, В.Г. Фракционное сепарирование зерна на мукомольных заводах // Серия «Мукомольно-крупяная промышленность» : экспресс информ. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1978. – 30 с.
47. Егоров, Г.А. Технологические свойства зерна. – М.: Агропромиздат, 1985. – 334 с.
48. Егоров, Г.А. Технология муки. Практический курс / Г.А. Егоров. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 143 с.
49. Егоров, Г.А. Технология муки. Технология крупы. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2005. – 296 с.
50. Жигунов, Д.О. Порівняльні дослідження первинного подрібнення зерна тритікале та пшениці. / Д.О. Жигунов, Р.С. Давидов, Н.Г. Бузіян // Хранение и переработка зерна, №11, 2009. – С. 35–37.
51. Жигунов, Д.А. Разработка научных основ и методов повышения качества и расширения ассортимента готовой продукции на мукомольных заводах. Дис. ... докт. техн. наук. – Одесса: ОНАПТ, 2013. – 410 с.
52. Зворыкин, К. Курс по мукомольному производству. – Харьков: Типография Зильберберга, 1894. – 620 с.
53. Ильчук В.Б. Исследование крупобразования в сортовом помоле пшеницы как объекта стабилизации: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1973. – 125 с.
54. Казаков, Е.Д. Зерноведение с основами растениеводства. – 2-е изд., доп. И перераб. – М.: Колос, 1973. – 288 с.
55. Киселева, А.В. К вопросу об отделении оболочек зерна перед его измельчением / А.В. Киселева, И.Е. Борисенко // Серия «Вестник технической и экономической информации»: экспресс информ. – М.: 1963. – 33 с.
56. Ковалев, М.А. Разработка технологии сортового помола пшеницы с применением шелушения зерна. – Одесса: ОНАПТ, 2013. – 199 с.

57. Козьмин, П.А., Левинсон И.Н. Американские помолы. Научно-экспериментальные помолы / П.А. Козьмин, И.Н. Левинсон. – М.-Л.: Снабтехиздат, 1932. – 254 с.
58. Кравченко, И.К. Мокрое шелушение как метод и способ подготовки зерна к помолу: дис. ... канд. техн. наук. – Одесса, 1950. – 111 с.
59. Кулак, В.Г. Технология производства муки. / В.Г. Кулак, Б.М. Максимчук. – М.: Агропромиздат, 1991. – 224 с.
60. Куприц, Я.Н. Физико-химические основы размола зерна. – М.: Заготиздат, 1946. – 213 с.
61. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. Пособие. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.
62. Маевская, С.Л. Измельчение крупок и дунстов в машинах ударно-истирающего действия при сортовом помоле пшеницы. / С.Л. Маевская, Г.И.Креймерман, А.С.Цыплаков. // Серия Мукомольно-крупяная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1973. – 44 с.
63. Максимчук, Б.М. Интенсификация помолы зерна в муку в СССР и за рубежом. / Максимчук Б.М., Швецова И.А., Лейкин Я.И., Неменуций А.Ф., Ильин А.С., Сибиряков В.А., Костельцева Н.Н., Колкунова Г.К., Шихман М.И., Ключкин И.Д. // Серия «Мукомольно-крупяная промышленность». – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1976. – 76 с.
64. Максимчук, Б. Использование энтолейторов на 1-й размольной системе / Б. Максимчук, С. Коломенский // Хлебопродукты, 1993. – С.28–30.
65. Максимчук, Б.М. Опыт эксплуатации высокопроизводительных машин ударно-истирающего и ударного действия. / Б.М. Максимчук, А.Ф. Неменуций. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1983. – 26 с.
66. Максимчук, Б.М. Совершенствование технологии помолов пшеницы и ржи в СССР и за рубежом. / Максимчук Б.М., Сибиряков В.А., Скрябин В.А., Костельцева Н.Н., Никифорова И.А., Сухарев А.В. // Обзорная информация. Серия: Мукомольно-крупяная промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1981. – 40 с.
67. Максимчук, Б.М. Влияние степени шелушения зерна и продуктов его переработки / Б.М. Максимчук, Г.С. Щербакова, Т.Е. Балаба // Серия «Мукомольно-крупяная промышленность»: экспресс информ. – М.: ЦНИИТЭИ Минзага, 1978. – Вып.88. – С.98–102.
68. Мартыненко, Я.Ф. Чеботарев О.Н. Проектирование мукомольных и крупяных заводов с основами САПР. / Я.Ф. Мартыненко, О.Н. Чеботарев. – М.: Агропромиздат, 1992. – 240 с.

69. Мерко, І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна: підручник для студ. вищих навч. закладів. / І.Т. Мерко, В.О. Моргун. – Одеса: Друк, 2001. – 348 с.
70. Мерко, И.Т. Проектирование зерноперерабатывающих предприятий с основами САПР/ И.Т. Мерко, Н.Е. Погирной, Б.В. Касьянов, А.П. Чакар. – М.: Агропромиздат, 1989. – 367 с.
71. Мерко, И.Т. Структура и эффективность технологических процессов производства муки. / И.Т. Мерко, В.А. Моргун, Н.Е. Погирной. – М.: Колос, 1983. – 239 с.
72. Мерко, И.Т. Технологические основы автоматизации мукомольного производства. Автореферат на соиск. уч. степени докт. техн. наук. – Одесса, ОТИПП, 1973. – 56 с.
73. Мерко, И.Т. Технология мукомольного и крупяного производства. – М.: Агропромиздат, 1985. – 288 с.
74. Мерко, И.Т. Управление выходом и качеством муки на мукомольном заводе // Хранение и переработка зерна. – 2003. № 6. – С.34–35.
75. Моргун, В.О. Дослідження взаємозв'язку режимів роботи крупопутворюючих систем і питомих енерговитрат на подрібнення / В.О. Моргун, Є.І. Шутенко // Хранение и переработка зерна, № 11, 2009. – С. 38–39.
76. Наумов, И.А. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи. М.: Колос, 1975. – 174 с.
77. Неменуций, А.Ф. Исследование технологической эффективности измельчения пищевых и кормовых продуктов в дезинтеграторах и дисмембраторах. Автореферат дис. канд. техн. наук. – Таллин: МТИПП, 1970. – 33 с.
78. Неменуций, А.Ф. Эффективность измельчения круподунстовых продуктов на центробежном измельчителе ИЦ-1. / А.В. Неменуций, Б.М. Максимчук, А.С. Ильин, И.В. Сотников // Труды ВНИИЗ, Вып. 86. – М.: 1977. – С. 81–90.
79. Нетребский, А.А. Интенсификация измельчения зерна. Монография. – Одесса, Друк, 2006. – 385 с.
80. Оборудование для производства муки и крупы. Справочник / А.Б. Демский, М.А. Борискин, Е.В. Тамаров, А.С. Чернолихов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 351 с.
81. Оптический сортировщик SORTEX A. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.buhlergroup.com/europe/ru/81683.htm#UuvvdPuXef0>
82. Панкратов, Г.Н. Гранулометрическая характеристика продуктов размола / Хранение и переработка зерна, №11, 2000. – С. 44–45.
83. Панкратов, Г.Н. Исследование процесса измельчения шелушеного зерна ржи на вальцовой мельнице. Автреферат дис. канд. техн. наук. – М.: МТИПП, 1975. – 35 с.

84. Панкратов, Г.Н. Научные основы совершенствования технологий мукомольного производства. Дис. докт. техн. наук. – М.: МГУПП, 2001. – 258 с.
85. Панченко, А.В. Сверхамериканские скорости вальцевых станков. Научно-экспериментальное исследование (Томск-Одесса). – М.Л.: Снабтехиздат, 1934. – 125 с.
86. Правила організації і ведення технологічного процесу на борошномельних заводах. – К.: ВІПОЛ, 1998. – 146 с.
87. Птушкин, А.Т. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна / А.Т. Птушкин, О.А. Новицкий. – М.: Колос, 1979. – 335 с.
88. Птушкина, Г.Е. Высокопроизводительное оборудование мукомольных заводов / Г.Е. Птушкина, Л.И. Товбин – М.: Агропромиздат, 1987. – 288 с.
89. Пшеница и ее улучшение. Пер. с англ. Н.А. Емельяновой, Н.М. Резниченко. Под ред. д-ра с.-х. наук М.М.Якубцинера, проф. Н.П. Козьминой и проф. Л.Н. Любарского. – М.: Колос, 1970.
90. Роже, Гийо Проблема измельчения материалов и ее развитие. Пер. с франц. Г.Г. Мунц, под ред. канд. физ.-мат. наук Г.С. Ходакова. – М.: Стройиздат, 1964. – 110 с.
91. Сепаратор БСХМ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mehzavod.com.ua/bshm/>.
92. Ситовой сепаратор ПСО-0,7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.olis.com.ua/equipments/proizvodstvovmukiikrup/sitovoj-separator-pso-07/>.
93. Соколов, Н.П. Зависимость между количеством и качеством продуктов, извлекаемых в процессе размола пшеницы на драных системах: автореф. Дис. ... канд. техн. наук.: – Одесса: ОТИПП, 1955. – 21 с.
94. Сухарев, А.В. Интенсификация сортового помола пшеницы путем предварительного разрушения зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: 1984. – 23 с.
95. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев, А.Е. Яблоков; I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Демского. – М.: ДеЛи принт, 2010. – 696 с.
96. Труды Европейского совещания по измельчению. Пер. англ. Л.А. Ласточкина. – М.: Стройиздат, 1966. – 603 с.
97. Ходаков, Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1972. – 237 с.
98. Ходаков, Г.С. Физика измельчения. Монография. – М.: Наука, 1972. – 307 с.

99. Хусид, С.Д. Измельчение зерна. Теоретические основы и практика. – М.: Хлебоиздат, 1958. – 247 с.
100. Цыбулевский, Ю.Г. Технологические предпосылки фракционирования пшеницы на элеваторах // Труды ВНИИЗ. – 1983. – Вып.102. – С.117–133.
101. Чеботарев, О.Н. Технология муки, крупы и комбикормов. / О.Н. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. – М.: «Март», 2004. – 688 с.
102. Швейцарские инновации для украинских зернопереработчиков // Хранение и переработка зерна, 2013. – № 4. – С. 45 – 48.
103. Щербаков, С.И. Помолы пшеницы и ржи. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Заготиздат, 1953. – 275 с.
104. Эйдус, П.Т. Основные показатели режима 72 %-ного помола. – М.: 1937.
105. Campbell, G.M. Modelling wheat breakage during roller milling using the double normalised Kumaraswamy breakage function: Effects of kernel shape and hardness. / G.M. Campbell, C. Sharp, K. Wall, F. Mateos-Salvador, S. Gubatz, A. Hutty, P. Shewry // Journal of Cereal Science 55, 2012. – P. 415–425.
106. Campbell, G.M. On predicting roller milling performance. Part I: the breakage equation / G.M. Campbell, C. Webb // Powder Technology, 115, 2001. – P. 234–242.
107. Campbell, G.M. On predicting roller milling performance. Part II: the breakage function / G.M. Campbell, P.J. Bunn, C. Webb, S.C.W. Hook // Powder Technology, 115, 2001. – P. 243–255.
108. Campbell, G.M. On predicting roller milling performance VI: Effect of kernel hardness and shape on the particle size distribution from first break milling of wheat / G.M. Campbell, C. Fang, I.I. Muhamad // Trans IChemE, Vol.79, Part C, December 2001. – P. 211–218.
109. Chang, C.Z. Improving design on de-bran milling technology / C.Z. Cheng, C.Y. Jiang, Z.H. Guang, // Journal of Zhengzhou Institute of Technology. – 2001. vol.22, № 1. – P.51.55.
110. Chang, C.Z. Study on the structure features / C.Z. Chang, F. Lu, Z. Yongyi // Journal of the Chinese Cereals and oils Association. – 2003. – vol.18, № 2. – P. 25–28.
111. DC-peeler «МХХМ-W» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.buhlergroup.com/global/downloads/МХХМ-W_DC-Peeler_Flyer_en.pdf.
112. Ding, C. Debranning and milling technology // Journal of the Chinese Cereals and oils Association. – 1996. – vol.11, № 5. – P. 57–59.
113. Fang, Chaoying Effect of roll fluting disposition and roll gap on breakage of wheat kernels during first-break roller milling / C. Fang, G.M. Campbell // Cereal Chem. 79(4) – P.518 – 522.

114. Fang, Chaoying On predicting roller milling performance IV: Effect of roll disposition on the particle size distribution from first break milling of wheat / Chaoying Fang, G.M. Campbell // *Journal of Cereal Science*. 37, 2003. – P.21 – 29.
115. Fellers, D.A. Mechanical debranning of whole-kernl wheat // *Cereal Chem.* – 1976. – vol.53, №3. – P.308–317.
116. Fistes, A. Predicting the size and compositional distributions of mheat flour stocks following first break roller milling using the breakage matrix approach. / A. Fistes, G. Tanovic // *Journal of Food Engineering* 75, 2006. – P. 527–534.
117. Fistes, A. Using the eight-roller mill on the front passages of the reduction system. / A. Fistes, G. Tanovic, J. Mastilovic // *Journal of Food Engineering* 85, 2008. – P. 296–302.
118. Fistes, A. Using the breakage matrix approach to define the optimal particle size distribution of the input material in a milling operation. / A. Fistes, D.Rakic, A. Takaci, M. Brdar // *Chemical Engineering Science* 102, 2013. – P. 346–353.
119. Fistes, A. Solution of the breakage matrix reverse problem. / A. Fistes, D.Rakic, A. Takaci, M. Brdar // *Powder Technology* 268, 2014. – P. 412–419.
120. Hill, X.J. The application of the gradual debranning and flour milling technology and new patent debranner / X.J. Hill, L. Shaoming // *Journal of the Chinese Cereals and oils Association.* – 1996. – vol.11, № 5. – P. 50–53.
121. Horse, Y.W. Profitable gradual debranning and grinding system flour milling technology // *Journal of the Chinese Cereals and oils Association.* – 1996. – vol.11, №5. – P. 40–42.
122. Ji-Shan, X. Application of the Debranning and Flour Milling Technology and a New Type Wheat Debranner / X. Ji-Shan, L. Shaoming, G. Lian, // *Food and feed industru.* – 1997. № 3. – P. 8–10.
123. Mateos-Salvador, F. Extending the normalised Kumaraswamy breakage function for roller milling of wheat flour stock to second break. / F.Mateos-Salvador, J.Sadhukhan, G.M. Campbell // *Powder Technology*, 237, 2013. – P. 107–116.
124. Mateos-Salvador, F. The normalised Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. / F.Mateos-Salvador, J.Sadhukhan, G.M. Campbell // *Powder Technology*, 208, 2011. – P. 144–157.
125. Ming, T. Discussion and research on the technology and equipment of debranning and milling of wheat. / T. Ming, F. Yao // *Journal of the Chinese cereals and Oils Association.* – 1996. – vol. 11, № 5. – P. 24–28.

126. Muhamad, I.I. Effects of kernel hardness and moisture content on wheat breakage in the single kernel characterisation system / I.I. Muhamad, G.M. Campbell // Innovative Food Science and Emerging Technologies, 5, 2004. – P. 199–125.
127. Sultanbawa, F.M. A new approach to the prediction of particle separation by sieving in flour milling / F.M. Sultanbawa, W.G. Owens, S.S. Pandiella // Trans IChemE, Vol.79, Part C, December 2001. – P. 211 – 218.
128. Shing, CC. Application of modern milling technology for debranned wheat in reforming design // Food and feed industry. – 2001. – № 4. – P. 1–3.
129. Ying, L. Scanning and analysis on debranning state / L. Ying, S. Ying // Journal of the Chinese Cereals and oils Association. – 2000. – vol.15, № 4. – P. 58–62.
130. Андреев, С. Е. Закономерности измельчения и исчисление характеристик гранулометрического состава / С. Е Андреев, В. В. Товаров, В. А. Перов. – М. : Металлургиздат, 1959. – 437 с.
131. Баранов, Л. Н. Повышение эффективности производства плющеного зерна путем совершенствования технологи и комплекса технических средств : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Технологи и средства механизации сельского хозяйства» / Баранов Леонид Николаевич ; Сев.-Запад. НИИ механ. и электрофик. сельск. хозяйства. – СПб. – Павловск, 2005. – 18 с.
132. Бартенев, Г. М. Прочность и механизм разрушения полимеров / Г. М. Бартенев. – М. : Химия, 1984. – 280 с.
133. Егоров, Г. А. Влияние тепла и влаги на процессы переработки и хранения зерна / Г. А. Егоров. – М. : Колос, 1973. – 263 с.
134. Дейнеко, В. А. Теоретическое обоснование производительности вальцовой плющили-измельчителя / В. А. Дейнеко, Е. М. Прищепова // Агропанорама. – 2012. – №2. – С. 14–28.
135. Екобори, Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел : перев. с англ. / Т. Екобори. – М. : Изд-во «Металлургия», 1971. – 264 с.
136. Мануйлов, В. В. Совершенствование процессов поризводства и использования плющеного зерна в комбикормовом производстве : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Мануйлов Владимир Владимирович. – Воронеж, 2019. – 162 с.
137. Методика проведения лабораторных помолов на мельнице типа ЛМ. – М. : ЦНИИТЭИ, 1971. – 15 с.
138. Мерко, И. Т. Структура и эффективность технологических процессов производства муки / И. Т. Мерко, В. А. Моргун, Н. Е. Погирной. – М. : Колос, 1983. – 239 с.

139. Моргун, В. А. Ориентировочный выход круподунстовых продуктов и муки в драном процессе при различной структуре этапа крупобразования / В. А. Моргун, Д. А. Жигунов, Р. С. Давыдов // Наукові праці ОНАХТ. – Вип. 40, Т. 1. – С. 28–31.
140. Моргун, В. А. Сравнительный анализ некоторых структур процесса крупобразования / В. А. Моргун, Д. А. Жигунов, Р. С. Давыдов // Хранение и переработка зерна. – 2010. – № 12 (138). – С. 29–33.
141. Наумов, И. А. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи / И. А. Наумов. – М. : Колос, 1975. – 174 с.
142. Наумов, И. А. Технология мукомольного производства. Изд. 2-е, перераб. и доп. / И. А. Наумов. М. : Колос, 1968. – 303 с.
143. Одегов, В. А. Обоснование параметров и режимов работы плющили влажного зерна : автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Технологи и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)» / Одегов Владислав Анатольевич ; ГУ ЗНИИСХ Северо-Вост. им. Н. В. Рудницкого. – Киров, 2005. – 23 с.
144. Патрин, П. А. К обоснованию параметров плющилки для влажной зерновой смеси / П. А. Патрин, В. М. Жигунов, Д. С. Рудаков, А. Д. Герасименко // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конф. – Новосибирск: НГАУ, 2018. – С. 642–646.
145. Патрин, П. А. Теоретический анализ процесса плющения зерновой смеси / П. А. Патрин, Д. С. Рудаков. Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конф. – Новосибирск : НГАУ, 2018. – С. 646–651.
146. Писаренко, Г. С. Сопротивление материалов деформированию и разрушению при сложном напряженном состоянии / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – К. : Наукова думка, 1969. – 208 с.
147. Сибиряков, В. А. К вопросу о предварительном разрушении (плющении) зерна пшеницы перед помолом / В. А. Сибиряков, Б. М. Максимчук, И. А. Никифорова // Труды ВНИИЗ. – 1982. – Вып. 99. – С. 51–60.
148. Сиденко, П. М. Измельчение в химической промышленности. Изд. 2-е, перераб. и доп. / П. М. Сиденко. – М. : Химия, 1977. – 368 с.
149. Сухарев, А. В. Теоретические предпосылки предварительного разрушения зерна / А. В. Сухарев, В.А. Скрыбин, Б. М. Максимчук // Труды ВНИИЗ. – 1982. – Вып. 99. – С. 47–51.

150. Технология переработки зерна (мукомольное, крупяное и комбикормовое производство) Под. ред. проф. Я. Н. Куприца. – М. : Колос, 1965. – 504 с.
151. Харченко, Є. І. Гранулометричний склад проміжних продуктів подрібнення при двоетапному подрібненні зерна пшениці в лабораторних умовах. / Є. І. Харченко, М. А. Перегуда, І. П. Шніпко // Хранение и переработка зерна. – 2015. – № 6–7. – С. 62–64.
152. Харченко, Є. І. Плющення зерна пшениці в лабораторних умовах / Є. І. Харченко, М. А. Перегуда, І. С. Рубан // Хранение и переработка зерна. – 2016. – № 1. – С. 58–60.
153. Шутенко, Е. И. Предварительное измельчение на заводах малой производительности / Е. И. Шутенко, Р. С. Давыдов // Зернові продукти і комбікорми. – 2014. – № 2 (54). – С. 22–25.

Наукове видання

**ЄРЕМЕЄВА Олена Анатоліївна,
ХАРЧЕНКО Євген Іванович
ЛЮБИЧ Віталій Володимирович**

**ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
ПЕРЕРОБКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ
В БОРОШНО**

МОНОГРАФІЯ

Керівник видавничих проектів: Хамчук Г. П.
Друкується в авторській редакції
Комп'ютерна верстка: Трубак І. М.

Підписано до друку 25.05.2021. Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура SchoolBookC. Фіз. друк. арк. 10. Ум. друк. арк. 9,3.
Тираж 300 прим.

ТОВ «ТРОПЕА»

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 7025 від 24.12.2019 р.

01001, м. Київ, вул. Мала Житомирська, 10,
нежиле приміщення 60, літ. А