УДК 664.73.633.111

DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-2/11>**Любич В.В.**

Уманський національний університет садівництва

Желєзна В.В.

Уманський національний університет садівництва

Єремєєва О.А.

Уманський національний університет садівництва

Новак Л.Л.

Уманський національний університет садівництва

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ПОМЕЛУ ЗБАГАЧЕНИХ КРУПОДУНСТОВИХ ПРОДУКТІВ НА ВИХІД БОРОШНА ПІД ЧАС СОРТОВОГО ПОМЕЛУ ПШЕНИЦІ

Статтю присвячено дослідженню режимів помелу збагачених круподунових продуктів у вальцювому верстаті 2-ї розмелювальної системи млина сортового помелу пшениці. На основі експериментальних даних отримано залежності виходу окремих класів проміжних продуктів подрібнення від добутку продуктів на досліджуваних системах.

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

Під час збільшення загального добутку борошна вищого сорту у вальцювому 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 залежністю. Вихід борошна вищого сорту збільшувався на 2,7% з 9,5% до 12,2%.

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%.

Експериментально встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцювому верстаті 2-ї розмелювальної системи. Із збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцювому верстаті з 5,3% до 31,0%, вихід борошна після ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1% до 30,6%. Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак.

Встановлено, що найбільшого добутку борошна на 2-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцювому верстаті – 35%. При цьому застосування ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 2-й розмелювальній системі до 62%.

Результати експериментальних досліджень описано математичними залежностями, що дозволяє використовувати їх для розрахунку кількісних балансів борошна.

Ключові слова: пшениця, борошно, режими помелу, вальцювий верстат, ентолейтор-дисембратор.

Постановка проблеми. Дослідження вчених і фахівців, робота передових борошномельних підприємств заклали основу побудови сучасної багатостадійної технології переробки зерна в сортове борошно, яка характеризується поетапною побудовою, складними взаємозв'язками етапів і систем [1; 2].

Для підвищення ефективності виробництва і поліпшення кількісно-якісних показників готової продукції особливе значення надається дослідженню як окремих етапів, так і в цілому процесу помелу. Одним з основних етапів сортового помелу пшениці є процес крупотворення, від ведення якого залежить кількість і якість проміжних

продуктів, які обумовлюють вихід і якість готової продукції [3].

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 дражному процесі встановлено [4; 5], що існують режими подрібнення зерна та сходових продуктів драного процесу у вальцових верстатах при яких досягається найбільший вихід круподунових продуктів, які в подальшому направляються на збагачення. Найбільший вихід круподунових продуктів, які можна отримати в дражному 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 круподунових продуктів у вальцових 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.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Отримані в дражному процесі круподунові продукти проходять процес збагачення і подаються в розмелювальний процес для максимального подрібнення їх в борошно.

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. Ентолейтори РЗ-БЕР являють собою різновид машин так званого дезінтеграторного типу, а деташери – машини ударно-стираючою дії [6, 7].

Дослідження вітчизняних та закордонних вчених [2–8] підтвердили доцільність додаткового подрібнення проміжних продуктів помелу на борошномельних заводах сортового помелу пшениці.

Розмелювальний процес менше досліджений, оскільки результати його роботи мають менший вплив на показники якості виходу борошна ніж драаний процес.

Фірма «ОЛІС» розробила ентолейтори-дисмембратори ЕСМ-1,5 [9], 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 [10].

Формулювання цілей статті. Метою статті є підвищення конкурентоздатності продукції вітчизняних борошномельних підприємств за рахунок удосконалення технологічного процесу помелу зерна пшениці в борошно та зниження енерговитрат у процесі його виробництва.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження показників якості зерна та продуктів помелу проводили у виробничій лабораторії та в умовах борошномельного заводу продуктивністю 330 т/добу.

Під час проведення досліджень переробляли зерно пшениці з наступними показниками якості: натура зерна – 791 г/л, вологість зерна на І драній системі – 16,2%, скловидність – 38%, смітна домішка – 0,4%, зернова домішка – 2,3%.

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

Продукти подрібнення просівали на наборі сит № 27ПА-120, № 33/36ПА, № 41/43ПА та № 49/52ПА.

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.

Виклад основного матеріалу. Основним продуктом подрібнення для 2-ї розмелювальної системи є сходові продукти, які направляються із 1-ї розмелювальної системи (суміш дрібної

крупки та дунстів). Можлива наявність борошна в сходових продуктах, які надходять у вальцовий верстат 2-ї розмелювальної системи за рахунок недосіву. Після подрібнення суміш складається із дрібної крупки, дунстів та борошна.

У результаті проведених досліджень встановлено, що при зменшенні величини зазору між вальцями вальцового 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 (рис. 1).

Під час збільшення загального добутку борошна вищого сорту у вальцовому 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 залежністю. 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-дисемб-

ратор ЕСМ-1,5, в якому додатково здійснюється подрібнення дрібної крупки та дунстів.

Під час збільшення загального добутку борошна вищого сорту у вальцовому верстаті після проходження суміші продуктів подрібнення через ентолейтор-дисембратор ЕСМ-1,5 спостерігається аналогічне зменшення виходу дрібної крупки та дунстів також за криволінійними залежностями, а вихід борошна першого сорту суттєво не змінюється (рис. 2).

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. 1 та 2 видно, що вальцовий 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 вальцового верстата.

Вихід продуктів подрібнення на 2-й розмелювальній системі в залежності від загального добутку борошна вищого сорту $B_{б.в.с.}$ описується наступними рівняннями:

вихід дрібної крупки на 2-й розмелювальній системі:

Рис. 1. Вихід сходових продуктів після подрібнення у вальцовому верстаті 2-ї розмелювальної системи з врахуванням недосіву: 1 – дрібна крупка, 2 – дунсти, 3 – борошно першого сорту

$$B_{др.кр} = -0,00291B_{б.в.с}^2 + 0,104B_{б.в.с} + 5,4 \quad (1)$$

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

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

Вихід дунстів на 2-й розмелювальній системі:

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

де, B_d – 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:

$$B_{1с} = -0,004807B_{б.в.с}^2 + 0,429B_{б.в.с} + 0,88 \quad (3)$$

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%.

Вальцовий верстат та ентолейтор-дисмембратор ЕСМ-1,5 2-ї розмелювальної системи працюють як одна система, тому доцільно дослідити вплив подрібнення проміжних продуктів у вальцовому

верстаті на добуток борошна в ентолейторі-дисмембраторі. Встановлено, що залежність виходу борошна у ентолейторі-дисмембраторі ЕСМ-1,5 підкоряється лінійному закону в залежності від добутку борошна вищого сорту у вальцовому верстаті 2-ї розмелювальної системи. Із збільшенням добутку борошна вищого сорту у вальцовому верстаті з 5,3% до 31,0%, вихід борошна після ентолейтора-дисмембратора ЕСМ-1,5 збільшується відповідно з 23,1% до 30,6% (рис. 3). Коефіцієнт кореляції дослідних даних становить 0,92, що свідчить про тісний зв'язок досліджуваних ознак.

Пояснити цю залежність можна тим, що вальцовий верстат 2-ї розмелювальної системи подрібнюючи проміжні продукти, які на нього подаються, створює мікротріщини в 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 вальцовому верстаті. Під час проведення виробничих досліджень досягнути умов при яких процес подрібнення буде супроводжуватися утворенням пластівців не вдалося.

Оптимального значення загального добутку борошна на 2-й розмелювальній системі встановити не вдалося, виходячи з умов фактичного виробництва можна рекомендувати режим подріб-

Рис. 2. Вихід сходових продуктів на 2 розмелювальній системі (вальцовий верстат + ентолейтор-дисмембратор) з урахуванням недосіву: 1 – дрібна крупка, 2 – дунсти, 3 – борошно першого сорту

Рис. 3. Залежність виходу борошна вищого сорту в ентолейторі-дисембраторі від добутку борошна у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи з врахуванням недосіву

нення у вальцьовому верстаті 2-ї розмелювальної системи, при якому досягається добуток борошна до 30,0%.

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

Висновки. У результаті проведених досліджень визначено режими подрібнення та запропоновано математичні залежності добутку борошна та круподунстових продуктів першої розмелювальної системи із додатковим обладнанням ентолейтором-дисембратором ЕСМ-1,5. Най-

більшого добутку борошна на 2-й розмелювальній системі досягають за режимів подрібнення на вальцьовому верстаті – 35%. При цьому застосування ентолейтора-дисембратора ЕСМ-1,5 дозволяє збільшити загальний добуток борошна на 2-й розмелювальній системі до 62%.

Експериментально встановлено, що залежність між добутком борошна вищого сорту у вальцьовому верстаті розмелювальної системи та виходом борошна вищого сорту в ентолейторі-дисембраторі ЕСМ-1,5 має лінійну залежність. Результати експериментальних досліджень описано математичними залежностями, що дозволяє використовувати їх для розрахунку кількісних балансів борошна.

Список літератури:

1. Mateos-Salvador F., Sadhukhan J., Campbell G.M. Extending the normalised Kumaraswamy breakage function for roller milling of wheat flour stock to second break. *Powder Technology*, 237. 2013. P. 107–116.
2. Fistes A., Rakic D., Takaci A., Brdar M. Using the breakage matrix approach to define the optimal particle size distribution of the input material in a milling operation. *Chemical Engineering Science* 102, 2013. P. 346–353.
3. Швейцарские инновации для украинских зернопереработчиков. *Хранение и переработка зерна*. 2013. № 4. С. 45–48.
4. Mateos-Salvador F., Sadhukhan J., Campbell G. M. The normalised Kumaraswamy breakage function: A simple model for wheat roller milling. *Powder Technology*. 208. 2011. P. 144–157.
5. Campbell G. M., Sharp C., Wall K. and other. Modelling wheat breakage during roller milling using the double normalised. *Journal of Cereal Science*. 55. 2012. P. 415–425.
6. Fistes A., Rakic D., Takaci A., Brdar M. Solution of the breakage matrix reverse problem. *Powder Technology*. 268. 2014. P. 412–419.
7. Моргун В.О., Шутенко Є.І., Давидов Р.С. Залежність якості муки від режимів роботи систем крупотворення. *Зернові продукти і комбікорми*. 2009. № 1. С. 25–26.
8. Верещинский А.П. Шелушение пшеницы в технологии сортовых помолов. *Хранение и переработка зерна*. 2008. № 9. С. 52–55.

9. Жигунов Д.А., Давыдов Р.С. Энергетическая характеристика процесса первичного измельчения зерна. *Food science, engineering and technologies. Plovdiv*. 2008. P. 107–111.

10. Dexter J. E., Martin D. G. The effects of prebreak conditions on the milling performance of some Canadian wheats. *Journal of Cereal Science*. 1996. v. 4. № 4. P. 157–169.

Liubych V.V., Zheliezna V.V., Yeremeeva O.A., Novak L.L. INFLUENCE OF INVESTIGATION OF ENRICHED GRAIN DUNST PRODUCTS ON THE YIELD OF FLOUR OF VARIETAL WHEAT MILLING

The article is devoted to the study of milling regimes of enriched grain dust products in the roller machine of the second milling system of varietal wheat milling. On the basis of experimental data, extraction dependences of the individual classes of intermediate grinding products on the production on the studied systems are obtained.

Studies, conducted in processing conditions, have shown that by reducing the roll spacing of the roller machine when grinding, descending products from the first milling system on the second milling system there is a decrease in the extraction of middlings and dunsts, and the extraction of first grade flour slightly increases.

With an increase in the total production of high-grade flour in the roller machine from 5.3% to 35.8%, the extraction of middlings decreased by 9.9% from 11.9% to 2.0% by curvilinear dependence, the yield of dunsts decreased by 22.3% from 53.9% to 31.6% by curvilinear dependence. The extraction of high-grade flour increased by 2.7% from 9.5% to 12.2%.

The increase in high-grade flour total production from 28.5% to 61.7% on the second milling system led to a decrease in the extraction of middlings by 5.2% from 6.0% to 0.8%, dunsts by 27.9% from 37.3% to 9.4%. The extraction of first-grade flour did not increase significantly and ranged from 9.0% to 11.0%.

It has been experimentally established that the dependence of flour extraction in the ESM-1.5 entoleter-dismembrator obeys the linear law depending on high-grade flour production in the roller machine of the second milling system. With the increase in high-grade flour production in the roller machine from 5.3% to 31.0%, the extraction of flour after ESM-1.5 entoleter-dismembrator increases from 23.1% to 30.6%, respectively. The correlation coefficient of the experimental data is 0.92, which indicates a close relationship between the studied features.

It is established that the highest flour production on the second milling system is achieved by grinding modes on the roller machine – 35%. The use of ESM-1.5 entoleter-dismembrator allows to increase the total flour extraction on the second milling system up to 62%.

The results of experimental studies are described by mathematical dependences, which allows to use them to calculate flour quantitative balances.

Key words: wheat, flour, grinding modes, roller machine, entoleter-dismembrator.