ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ЗЕРНА К ПОМОЛУ

РУДИК Феликс Яковлевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

МОРГУНОВА Наталья Львовна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

СЕМИЛЕТ Никита Александрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Работа посвящена решению актуальной научно-производственной задачи повышения эффективности подготовки зерна к простому помолу путем влажной очистки его поверхности от загрязнений и микронасекомых и достижения оптимальных помольных кондиционных параметров с интенсификацией процесса ультразвуковыми колебаниями. Аналитически и экспериментально исследованы и установлены конструктивно-режимные параметры ультразвуковой установки и технологии для очистки и отволаживания зерна. Авторами рассмотрены закономерности влияния конструктивно-режимных параметров на интенсивность обработки зерна в ультразвуковой установке.

Введение. Актуальность процесса подготовки зерна к помолу обусловлена не только необходимостью очистки его поверхности от измельченных оболочек и высокозольных прочных и трудноотделяемых пылевых образований, которые темнят и снижают сортность муки, но и проведения дополнительной гидротермической обработки, улучшающей исходные технологические свойства зерна.

При крупнотоннажном производстве для подготовки зерна к помолу используется высокоэффективное импортное оборудование. Для мельниц малой производительности, а они перерабатывают в стране муку и крупы до 5 млн т зерна в год, они не приемлемы в связи с высокой производительностью и сложностью, что ведет к производству обойной муки невысокого качества вследствие применения упрощенных технологий сухой очистки.

В случае простого помола требования к подготовке зерна в обоечной машине понижены, соответственно то, что не очищено, особенно в бородке и бороздке, идет в муку. Одновременно с этим для достижения необходимых технологических параметров зерна его необходимо увлажнить до 14,5–17,0 %. Существующие технологии сухой обработки зерна в обоечной машине и холодное кондиционирование не обеспечивают установленных нормативных показателей зольности, влажности, микротвердости эндосперма и содержания клейковины, а также существенно повышают длительность процесса и площади подготовительного участка предприятия. По этой причине подготовка зерна к простому помолу не дает возможности получать обойную муку высокого качества [2].

Методика исследований. В рассматриваемой работе для повышения эффективности подготовки зерна к помолу в среде ультразвука исследованы процессные явления очистки оболочек и увлажнения зерна в ультразвуковой установке с теоретически и

экспериментально устанавливаемыми оптимальными режимными характеристиками. Теоретически это обосновывалось на эффекте кавитационного захлопывания паровоздушной полости, расщепляющей молекулы воды на валентно ненасыщенные реакционноактивные H^+ и OH^- радикалы:

Время жизни этих радикалов 10^{-2} – 10^{-4} с. При этом ионы водорода проникают сквозь оболочку в алейроновый слой и эндосперм, чем способствуют понижению прочности обрабатываемого вещества. Появление в воде свободных гидроксильных радикалов R_1 и R_2 должно интенсифицировать процесс отволаживания зерна из-за стремления перехода свободных отрицательно заряженных гидроксильных групп к нейтральному состоянию. Из реакции гидролиза белков видно (рис. 1), что гидроксильная группа из молекулы воды присоединяется к полипептиду, разрывая его на аминокислоты с образованием в них карбоксильной группы $COOH$. Высвобождающиеся при этом ионы водорода соединяются с азотом и создают аминную группу NH_2 . Для осуществления процесса молекулам воды необходимо развернуться таким образом, чтобы содержащийся в ней кислород находился между углеродом белка и своими собственными ионами водорода. Только после этого становится возможна сама реакция. Для такой рекомбинации молекул воды относительно молекул белка в статическом режиме без интенсификации процесса требуется не менее 120 мин, время же самой реакции незначительно и составляет 15–30 с. Исходя из этого установлено, что при воздействии на воду микропотоков, образованных ультразвуковой средой, возможно сокращение времени разделения ее молекулы на гидроксильную группу и ион водорода [1]. Это позволит сократить время, необходимое на реструктуризацию и рекомбинацию молекул воды.

Результаты исследований. Для обоснования конструкции установки исследовали потенциальную энергию ультразвуковых колебаний, порождающих кавитационные полости:

$$E = \frac{4}{3} \pi R_{\text{макс}}^3 P_{\text{вн}}, \text{ Дж}, \quad (2)$$

где $R_{\text{макс}}$ – максимальный радиус кавитационной полости, м; $P_{\text{вн}}$ – внутреннее давление в жидкости, действующее на полость, Па.

$$P_{\text{вн}} = P_{\text{зв}} \sin \omega + P_{\text{ст}}, \text{ Па}, \quad (3)$$

где $P_{\text{зв}} \sin \omega$ – звуковое давление, Па; $P_{\text{ст}}$ – статическое давление, Па.

Учитывая, что максимальный радиус кавитационной полости зависит от частоты УЗ и плотности жидкости ρ :

$$R_{\text{макс}} = \frac{0,4}{f} \left(1 - \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{зв}}} \right) \sqrt{\frac{P_{\text{зв}}}{\rho}}, \text{ м} \quad (4)$$

и основываясь на образовании множества кавитационных полостей n , установлена зависимость изменения кавитационных полостей от значения n_1 с частотой f_1 до n_2 с частотой f_2 в объеме жидкости установки:

$$\frac{4}{3} \pi \left[\frac{0,4}{f_1} \left(1 - \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{зв}}} \right) \sqrt{\frac{P_{\text{зв}}}{\rho}} \right]^3 \cdot P_{\text{вн}} n_1 = \frac{4}{3} \pi \left[\frac{0,4}{f_2} \left(1 - \frac{P_{\text{ст}}}{P_{\text{зв}}} \right) \sqrt{\frac{P_{\text{зв}}}{\rho}} \right]^3 \cdot P_{\text{вн}} n_2; \quad (5)$$

Отсюда следует, что

$$\left(\frac{0,4}{f_1} \right)^3 \cdot n_1 = \left(\frac{0,4}{f_2} \right)^3 \cdot n_2; \quad n_2 = n_1 \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^3. \quad (6)$$

Таким образом установлено, что количество кавитационных полостей меняется в кубической степени и зависит от оптимальной частоты ультразвуковых колебаний.

При очистке и отволаживании зерна следует учитывать, что при температуре от 50 °С и выше происходит денатурация белка. В этой связи даже кратковременный нагрев увлажненного зерна выше 50 °С недопустим. В свою очередь интенсивность влагопереноса в зерне резко возрастает в температурном интервале от 20 до 40 °С [5].

Рис. 1. Реакция гидролиза белков

Характер распространения и зависимость интенсивности ультразвукового поля от расстояния ультразвукового источника до обрабатываемого зерна, рассмотрен на схеме, приведенной на рис. 2.

Теоретически ультразвуковое поле сосредоточено в цилиндрическом объеме диаметром D и длиной Z_0 . Интенсивность ультразвука в данном объеме не убывает. После прохождения расстояния Z_0 интенсивность ультразвуковых излучений конусообразно расширяется и уменьшается по закономерности, связанной с длиной волны λ :

$$Z_0 = D / 4 \lambda, \text{ м}. \quad (7)$$

Длину волны устанавливали частным от скорости звука в воде на частоту ультразвукового поля. Направление распространения УЗ колебаний определяли выражением

$$\sin \beta = \frac{A \lambda}{D}, \quad (8)$$

где A – амплитуда колебаний, по рекомендациям принята 1,22 м.

Интенсивность ультразвуковых волн в жидких средах зависит от коэффициента поглощения и пропорциональна их вязкости η и квадрату частоты колебаний f на плотность и скорость звука в воде:

$$\alpha = \frac{2 \eta f^2}{3 \rho c^3}, \quad (9)$$

Следовательно, интенсивность ультразвука уменьшается при удалении от источника согласно уравнению

$$I = I_0 e^{-2 \alpha x}, \quad (10)$$

где I_0 – интенсивность ультразвука вблизи источника; e – число Непера; x – расстояние от границы рассеивания поля.

В этой связи в расчетах конструктивных параметров установки использовано расстояние 0,6–0,7 м от источника ультразвука. Учитывая, что в воде кумулятивные ультразвуковые колебания с частотой 18 кГц, созданные источником диаметром 0,2 м, сохраняют свою интенсивность на расстоянии 0,6–0,7 м от источника, принято равномерное расположение пяти ультразвуковых преобразова-

Рис. 2. Схема интенсивности распространения УЗ колебаний от источника

телей по периметру окружности с радиусом 0,2 м для покрытия части площади круга рабочей емкости конструкции установки [3, 4]. Обосновывается это тем, что длина хорды при делении окружности диаметром 0,2 м на шесть равных частей равна 0,209 м, соответственно зона покрытия ультразвуковым полем от каждого источника диаметром 0,2 м составит 99 % от площади всего круга. От количества преобразователей вдоль камеры озвучивания зависит производительность установки (рис. 3). Исходя из принятой схемы, камера озвучивания имеет форму цилиндра, его объем и длина определяются следующими выражениями:

$$V_k = \frac{\pi}{4} D_k^2 L, \text{ м}^3, \quad (11)$$

где D_k – диаметр камеры, м; L – длина камеры озвучивания, м.

$$L = R_{\text{и}} n + S_{\text{и}} n, \text{ м}, \quad (12)$$

где $R_{\text{и}}$ – радиус ультразвукового источника, м; n – количество рядов источников вдоль камеры озвучивания, шт.; $S_{\text{и}}$ – расстояние между рядами преобразователей, м.

Исходя из конструктивных размеров определена производительность установки:

$$Q = \frac{EN\varphi\rho_n R_{\beta} D}{0,275} = \frac{1,8 \cdot 0,4 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 0,4}{0,275} = 3,747 \text{ т/ч}, \quad (13)$$

где Q – расчетная производительность установки, т/ч; E – отношение шага винта шнека к его диаметру; N – частота вращения винта, мин⁻¹; ρ_n – насыпная плотность зерна, т/м; R_{β} – коэффициент снижения производительности от наклона конвейера; φ – коэффициент заполнения емкости

Рис. 3. Схема расположения ультразвуковых преобразователей в емкости установки

ти; D – диаметр винта шнека, м.

Пропорциональность отношения воды и зерна, обеспечивающая проникновение микропотоков сквозь водно-зерновую смесь, суммируется с объемом воздушного пространства в общем объеме зерна с поглощенной влагой. В связи с этим введен коэффициент запаса кавитационной равномерности, характеризующий увеличение межзернового пространства. Тогда объем свободного пространства в обрабатываемом зерне и его поглощающую способность можно представить в виде

$$V_{\text{взс}} = V_z + (V_{\text{мп}} + V_{\text{вп}}) \cdot \Omega, \text{ м}^3, \quad (14)$$

где V_z – объем зерна, м³; $V_{\text{мп}}$ – объем межзернового пространства, м³; $V_{\text{вп}}$ – объем влаги, поглотившейся зерном, м³; Ω – коэффициент запаса кавитационной равномерности.

$$V_{\text{мп}} = 0,8V_z; \quad V_{\text{вп}} = (V_z - 0,84) \cdot 0,5 = 0,01V_z. \quad (15)$$

Учитывая (15), объем водно-зерновой смеси определяется соотношением:

$$V_{\text{взс}} = V_z + (0,8V_z + 0,01V_z) \cdot \Omega = 1,215V_z, \text{ м}^3. \quad (16)$$

Тогда из (16) пропорциональное соотношение воды к зерну составит:

$$V_{\text{в}} = 1,215V_z, \text{ м}^3. \quad (17)$$

Следовательно, производительность установки в зерновой массе снизится на величину $Q_z = Q/1,215$.

Данные конструктивных расчетов установки сведены в таблицу.

На основании приведенного материала установлена конструктивная схема установки, представленная на рис. 4.

Заключение. В результате проведенных исследований было установлено, что повышение качества подготовки зерна к простому помолу обеспечивается его обработкой в среде ультразвука. Полученные расчетные параметры установки для очистки и отволаживания зерна необходимы для разработки конструкции установки.

Сводные расчетные конструктивные параметры установки

№ п/п	Наименование параметра, ед. измерения	Показатель	№ п/п	Наименование параметра, ед. измерения	Показатель
1	Максимальный радиус кавитационной полости R_{max} , м	0,00123	9	Направление распространения УЗ волн β , град.	30
2	Кавитационная область E_{06} , Дж	$0,77 \cdot 10^{-3}$	10	Длина установки h , м	1,1
3	Частота УЗ колебаний f , кГц	18	11	Диаметр камеры озвучивания, м	0,4
4	Длина волны λ , м	0,083	12	Объем камеры озвучивания V_k , м ³	0,138
5	Амплитуда УЗ колебаний A , м	1,22	13	Диаметр источника УЗ, м	0,2
6	Расстояние от источника УЗ колебаний, м	0,6	14	Количество УЗ источников, шт.	30
7	Коэффициент поглощения УЗ волн α	$64 \cdot 10^3$	15	Производительность установки Q , т/ч	2,5
8	Интенсивность УЗ волн I , м/с	0,99	16	Потребляемая мощность, кВт	5

Рис. 4. Схема конструкции установки для ультразвуковой подготовки зерна к помолу

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аюян В.Б., Ершов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. – М., 200. 5 – 224 с.
2. Егоров, Г.А. Управление техническими средствами зерна. – Воронеж, 2000. – 348 с.
3. Особенности подготовки зерна к помолу / Ф.Я. Рудик [и др.] // Актуальные проблемы ветеринарной медицины и пищевых технологий: материалы

Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: Наука. – С. 150–154.

4. Рудик Ф.Я., Морозов А.А., Семилет Н.А. Очистка и увлажнение зерна в ультразвуковом поле // Научное обозрение. – 2016. – № 2. – С. 22–29.

5. Ультразвуковая обработка зерна при подготовке к помолу / Ф.Я. Рудик [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – № 2. – С. 53–56.

Рудик Феликс Яковлевич, д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Моргунова Наталья Львовна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Семилет Никита Александрович, учебный мастер учебно-производственного комбината питания, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

410005, г. Саратов, ул. Соколовая, 335.
Тел.: (8452) 69-29-65.

Ключевые слова: зерно; мука; помол; ультразвук; ультразвуковая установка.

INTENSIFICATION OF PREPARATION for GRAIN milling

Rudik Felix Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Food Technology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Morgunova Natalia Lvovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the chair "Food Technology", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

SEMILET Nikita Alexandrovich, Training Master of the training and production of the power plant, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: grain; flour; grind; ultrasound; ultrasonic device.

In this work the actual scientific and production task of increase of efficiency of preparation of grain for simple grinding is solved. This is done by wet cleaning the surface from dirt and insects. Is the achievement of optimum grinding condition parameters with the intensification of the process of ultrasonic vibrations. Analytically and experimentally investigated and installed structural-regime parameters of the ultrasonic plant and technology for cleaning and courage of grain. The authors consider the regularities of the influence of structural and regime parameters on the intensity of grain processing in an ultrasonic plant.

УДК 620.192.6

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НАНОРАЗМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

САФОНОВ Валентин Владимирович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ШИШУРИН Сергей Александрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ЧУМАКОВА Светлана Валентиновна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ГОРБУШИН Павел Александрович, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Предложена физико-математическая модель механизма упрочнения гальванических покрытий наноразмерными материалами. Установлено, что на механизм упрочнения наибольшее влияние оказывают структурные превращения, происходящие в наноконпозиционных покрытиях. Исходя из физических процессов, происходящих в гальванических покрытиях при модификации их наноразмерными материалами, была обоснована и исследована физико-математическая модель механизма их упрочнения. Представленная модель позволяет прогнозировать степень упрочнения наноконпозиционных покрытий в зависимости от используемых нанодисперсных материалов и расстояния между ними в покрытии.

Введение. В настоящее время для повышения надежности технических объектов и их агрегатов используется нанесение на рабочие поверхности их ресурсопределяющих деталей наноконпозиционных гальванических покрытий (НКП).

Микротвердость таких покрытий определяется наличием и концентрацией в них различных дефектов. При этом важно учитывать характер взаимодействия дефектов, образующихся под влиянием различных внешних воздействий. Извест-