

Автореф
Т 44

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

ТРУБОВ ВАЛЕРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

УДК 664.726.9.002.5

ШЕЛУШЕНИЕ УВЛАЖНЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ В
ЛОПАСТНОЙ МАШИНЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПОМОЛУ

Специальность 05.18.12 – процессы и аппараты
пищевых производств

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Одесса – 1987

Автореф.
Т

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
доцент И.Р.ДУДАРЕВ .

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
Л.И.КАРНАУШЕНКО ;
кандидат технических наук,
В.И.ГОЙХЕНБЕРГ .

Ведущая организация - Одесский комбинат хлебопродуктов.

Защита состоится "16" апреля 1987 г. в 13⁰⁰ часов
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности име-

сса, ул.Свердлова, 112.

ируется в библиотеке Одесского
й промышленности имени М.В.Ло-

Автореф. v 015453
Т.44 ТРУБОВ В.В.

Шелушение увлажненного зерна
1987 5/4

марта 1987 г.

Е.Г.КРОТОВ

ОНАХТ 17.05.12
Шелушение увлажненно



v015753

Актуальность работы. XXVII съездом КПСС и Продовольственной программой СССР предусмотрено решение задач совершенствования техники и технологии, обеспечивающих получение продукции высокого качества.

Неравномерное распределение питательных веществ по анатомическим частям зерновки пшеницы и трудности их разделения определяют сложность применяемой технологии выработки муки, при которой измельчение и классификация промежуточных продуктов переработки зерна направлены на поэтапное освобождение эндосперма от наружных покровов, что приводит к снижению её качества, вследствие наличия значительной части измельченных оболочек.

В связи с тем, что эффективные способы и средства предварительного отделения наружных покровов до измельчения зерна пшеницы в муку в настоящее время не определены, решение задач совершенствования процесса подготовки его к помолу на основе применения нового оборудования приобретает народнохозяйственную значимость и является актуальным.

Целью работы является обоснование режимов шелушения увлажненного зерна пшеницы в лопастной машине для повышения эффективности процесса подготовки его к помолу.

Задачи работы:

аналитическое исследование движения и силового нагружения зерна в рабочей зоне машины под действием вращающихся лопаток ротора;

аналитическое обоснование геометрических параметров рабочих органов шелушительной машины;

составление методик исследования;

изготовление лабораторных установок для комплексного исследования процесса шелушения увлажнённого зерна пшеницы;

экспериментальное исследование ориентации зерновок пшеницы при свободной укладке для обоснования условий обработки их по поверхности;

выбор рациональных режимов водной подготовки и шелушения зерна в лабораторной машине и оценка эффективности обработки его поверхности по комплексу технологических, микробиологических и энергетических показателей;

определение величины межзернового давления в рабочей зоне машины, обеспечивающего отделение покровных тканей;

v 015753

Одесский технологический институт пищевой промышленности
БИБЛИОТЕКА

установление количественных закономерностей контактного влагообмена смеси продуктов шелушения зерна пшеницы;

выбор параметров для проектирования промышленного образца лопастной шелушительной машины;

проверка режимов шелушения увлажнённого зерна пшеницы в производственных условиях;

производственные испытания и определение технико-экономических показателей работы шелушительных машин.

Научная новизна работы. Аналитически обоснован процесс движения зерна под действием вращающихся лопаток ротора и получены выражения для расчета параметров траекторий и скоростей его в рабочей зоне машины.

Получена математическая модель для расчёта межзернового давления по длине рабочей зоны машины.

Определена взаимосвязь геометрических параметров рабочих органов машины для выбора их рационального сочетания в связи с фрикционными свойствами зерна.

Установлены закономерности изменения углов ориентации зёрен пшеницы при свободной укладке.

Обоснованы закономерности процессов подготовки и шелушения увлажнённого зерна пшеницы в лабораторной и производственной машинах.

Получена модель контактного влагообмена продуктов шелушения зерна пшеницы.

Практическая ценность работы. Получены исходные данные, на основании которых была изготовлена лопастная шелушительная машина, обеспечивающая эффективную обработку поверхности зерна пшеницы при подготовке его к помолу.

Разработаны схемы включения шелушительных машин в технологический процесс зерноочистительного отделения мельниц и показана возможность их рационального применения вместо моечных машин с целью экономии воды.

• Апробация работы. Основные положения работы доложены на Всесоюзных научных конференциях "Механика сыпучих материалов - IV", Одесса, 1980г., "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания", Москва, 1984г., "Проблемы индустриализации общественного питания страны", Харьков, 1984г.; Межреспубликанской научно-технической конференции молодых учёных по состоянию и перспективам мало- и безотходной технологии и использованию вто-

ричных материальных ресурсов, Тбилиси, 1985г.; конференции молодых учёных и специалистов ВНИИЗа, Москва, 1983г.; отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им.М.В.Ломоносова, Одесса, 1983, 1984, 1985, 1986 гг.

На защиту выносятся следующие научные положения:

аналитическая модель процесса движения зерна в пределах подвижного объема, увлекаемого вращающимися лопатками ротора;

математическая модель изменения межзернового давления по длине рабочей зоны шелушительной машины;

обоснование геометрических параметров рабочих органов машины в связи с фрикционными свойствами зерна;

закономерности распределения углов ориентации зёрен пшеницы при свободной укладке;

экспериментально обоснованные результаты шелушения увлажнённого зерна пшеницы в лопастной машине;

закономерности контактного влагообмена шелушённого зерна и оболочек при их совместной отлёжке.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений.

Работа изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков, 6 таблиц и 20 приложений. Список литературы включает 186 наименований, в том числе 15 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе содержится анализ литературных данных выполненных исследований анатомического строения, гигроскопических и прочностных свойств зерна пшеницы, техники и технологии обработки его поверхности.

Установлена целесообразность отделения при подготовке зерна пшеницы к помолу верхних слоёв плодовой оболочки, состоящих, в основном, из балластных веществ. Показано, что для выполнения этой технологической операции с наименьшими энергозатратами необходимым является предварительное незначительное увлажнение и кратковременное отволаживание зерна, что приводит к снижению прочности связи между плодовой и семенной оболочками.

Анализ данных исследований В.Я.Гиршсона, Н.В.Роменского, П.П.Тарутина, Н.А.Ильвицкого, И.К.Кравченко, И.Г.Дундука, И.Р.Дударева, А.Е.Айзиковича, А.М.Братухина, Б.М.Максимчука и других

и осевым Z перемещением в пределах подвижного зернового объема длиной ℓ_0 , увлекаемого лопатками ротора.

Для определения закономерностей движения зерна в зоне действия лопаток и использования полученных результатов при расчете шелушильной машины выполнен анализ поля скоростей при следующих допущениях: поле является симметричным $\frac{\partial U_r}{\partial \varphi} = \frac{\partial U_z}{\partial \varphi} = \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} = 0$, где U_r, U_z, U_φ - соответственно радиальная, осевая и окружная составляющие результирующей скорости зерновок; дивергенция вектора переноса равна нулю $\nabla(g\bar{U})=0$; в рассматриваемой области принята осредненная функция плотности $g(r,z)=const$. Третье допущение обуславливает то, что полученные результаты распространяются только на приемную и переходную зоны машины.

Используя уравнения неразрывности и вихря в цилиндрических координатах, с учетом принятых допущений при условии перпендикулярности вихря вектору абсолютной скорости получена система дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{\partial U_z}{\partial z} &= 0, \\ -\frac{\partial U_\varphi}{\partial z} U_r + \left(\frac{\partial U_r}{\partial z} - \frac{\partial U_z}{\partial r} \right) U_\varphi + \frac{1}{r} \frac{\partial(r U_\varphi)}{\partial r} U_z &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

решение которой при $U_\varphi = C \cdot r$ ($C = const$) позволило получить расчетные выражения радиальной и осевой скоростей для любой точки с координатами (r, z) в пределах подвижного объема зерна, увлекаемого лопатками

$$U_r = \alpha e^{-\lambda z} (R_0^2 - r^2), \quad (2)$$

$$U_z = A - \alpha e^{-\lambda z} [R_0^2 (1 + \ln r) - 1.5 r^2], \quad (3)$$

где A, α, λ - постоянные коэффициенты.

Выражения для определения средней осевой скорости $\bar{U}_z$ в сечении Z и осредненной $\bar{U}_z^*$ по увлекаемому объему имеют вид

$$\bar{U}_z = A - \alpha e^{-\lambda z} \left\{ \frac{R_0^2 + R_0^2 [R_0 (\ln R_0 - 1) - r_0 (\ln r_0 - 1)] - 0.5 (R_0^3 - r_0^3)}{R_0 - r_0} \right\}, \quad (4)$$

$$\bar{U}_z^* = A + \frac{\alpha C}{\ell_0 \lambda} (e^{-\lambda \ell_0} - 1). \quad (5)$$

Исходя из условий предельного равновесия сыпучей зерновой среды, характеризуемой углом внутреннего трения φ , и увлекаемости лопатками в совместное движение объема зёрен, располагаемого на их рабочих плоскостях (рис.2), получено выражение

$$\bar{U}_z^* = \omega_p b \left[2 \frac{\sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} + \alpha) \cos(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2})}{\cos \varphi} - \cos \alpha \right], \quad (6)$$

анализ которого показал, что $\bar{U}_z^*$ не зависит от размеров рабочей зоны машины. Правомочность этого вывода может быть доказана при условии выполнения равенства выражений (5) и (6), тогда переход от значений осевой скорости зерна в аналоге к значениям её в машине, характеризуемой другими величинами b', ω_p', ℓ' будет осуществляться по выражению

$$\bar{U}_z' = \bar{U}_z \frac{b'}{b} \frac{\omega_p'}{\omega_p} \frac{\ell'}{\ell} \frac{R'}{R}, \quad (7)$$

где $\ell = f(\varphi, \alpha)$; R - радиус окружности, описываемой верхней кромкой лопаток.

Для выбора рационального сочетания геометрических параметров рабочих органов машины с учетом фрикционных свойств зерна получено выражение

$$b \frac{\sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} + \alpha) \sin(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} - \alpha)}{\cos \varphi \cos \alpha} < \sqrt{\delta [2(\tau_p + h + \delta) - \delta]}. \quad (8)$$

Производительность лопастной машины определяли по выражению

$$Q = 11.3 (R_0^2 - r_0^2) g_n \bar{\xi} \bar{U}_z \eta_1 \eta_2, \quad \gamma_4 \quad (9)$$

где g_n - насыпная плотность зерна; $\bar{\xi}$ - среднее по длине рабочей зоны значение коэффициента заполнения.

Анализ напряжений, возникающих в зерновой массе под действием лопастного ротора, позволил установить, что изменение величины межзернового давления по длине рабочей зоны машины при незначительном осевом шаге рядов лопаток можно аппроксимировать линейной зависимостью и определить по выражению

$$P_{m3} = \frac{g_n \bar{\xi}_1}{3 R_0} \omega_p^2 (R_0^3 - r_0^3) [1 + K(n-1)] m \sqrt{1 + \xi^2}, \quad \text{Па} \quad (10)$$

где $\bar{\xi}_1$ - коэффициент заполнения в зоне действия первого ряда лопаток; K - коэффициент, учитывающий возрастание давления по отношению к давлению, развиваемому в зоне первого ряда; n - номер ряда лопаток; m - коэффициент, учитывающий изменение сопротивления при выпуске зерна из машины; ξ - коэффициент бокового давления.

В третьей главе приведены программа экспериментальных исследований, составленная в соответствии с задачами работы, описание экспериментальных установок: аналога и лабораторной шелушильной машины, методики исследования, статистического анализа, планирования и обработки опытных данных.

Объектами исследований были выбраны два сорта зерна пшеницы Степняк и Чайка с различными структурно-механическими свойствами.

Конструкция аналога шелушильной машины представляла фрагмент её рабочей зоны с одним радиальным рядом поворотных сменных лопаток и позволяла определить величины осевого усилия F_z (давления P_z) зерновой массы, приведенной силы трения F зерна и крутящего момента $M_{кр}$ (мощности N) на валу электродвигателя, а также установить методом стробоскопической съёмки длину подвижного слоя l_0 зерна, увлекаемого в движение лопатками, траекторные и скоростные характеристики зерновок, контактирующих с обечайкой, имеющей съёмную вставку из оргстекла. Лабораторная шелушильная машина включала ротор с комбинацией рядов рабочих и отражающих лопаток, окружённый развѐмной обечайкой, набранной из элементарных сит колосникового типа. Регулирование межзернового давления и пропускной способности машины осуществлялось изменением площади кольцевого сечения между диффузором и запорным диском, перемещаемым в осевом направлении с помощью винтового механизма. Для стабилизации давления и предотвращения перегрузки машины использовался грузовой клапан.

Статистический анализ экспериментальных данных предусматривал определение грубых ошибок, закона распределения и доверительного интервала измеряемой величины, а также необходимого числа повторностей опытов.

Математическую модель исследуемого процесса получали на основе реализации усечѐнного многофакторного плана с обработкой результатов эксперимента методом интерполяции и представлением функций отклика в виде полиномов второй степени при условии независимости характера монотонности частных производных по переменным каждого фактора. Проверку соответствия моделей экспериментальным данным проводили по F -критерию. Оптимальные значения функций отклика определяли точкой, координаты которой принимали экстремальные значения в соответствии со знаками и значениями частных производных.

Для установления соответствия экспериментальных и расчѐтных значений функций при их аппроксимации определяли относительную среднеквадратическую погрешность, величина которой не должна была превышать 10%.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований движения и силового нагружения зерна в аналоге шелушильной машины, процессов подготовки и шелушения увлажнѐнной пшеницы в лабораторной машине.

Для обоснования условий равномерной обработки поверхности

зерна в рабочей зоне лопастной машины исследовали распределение угла φ ориентации большей оси моделей зерновок случайной укладки, значение которого рассчитывали по выражению

$$\varphi = \arccos \sqrt{\frac{L^2 - X^2}{L^2 - D^2}}, \quad (II)$$

где L и D - длина и ширина моделей зерновок; X - горизонтальная проекция их большей оси.

Анализ полученной гистограммы показал, что основная ориентация зерновок находится в интервале $[0; 20^\circ]$, что составляет 70,6% от общего их числа. Поэтому для устранения анизотропии упруго-пластических свойств зернового слоя, имеющей место при неравновероятной ориентации отдельных зерновок в смеси, необходимым является интенсивное перемешивание зерна, что обеспечит равномерную обработку его поверхности.

Исследованиями аналога шелушильной машины при $\xi = 0,5 \dots 0,6$ и $\delta = 6$ мм, удовлетворяющем условию (8), установлено (рис.7), что независимо от угла атаки лопаток происходит уменьшение результирующей скорости движения зерна U' на отрезке Z до его полной остановки на расстоянии l_0 . При этом величина l_0 может быть рекомендована в пределах $45 \dots 50^\circ$, а линейная скорость U концев лопаток ротора 16 м/с, что соответствует $\omega_p = 82,5$ рад/с.

По экспериментальным осреднѐнным траекториям зѐрен на поверхности обечайки аналога представилось возможным получить окружную U_φ и осевую U_z составляющие их результирующей скорости (рис.4) и, используя выражение (3) при $r = R_0$, методом средних определить значения коэффициентов A , a и λ , после подстановки которых выражения (2,3,4) приняли вид

$$U_\varphi = 113,15 \cdot e^{-1563 \cdot Z} (0,04 - \tau^2), \quad (I2)$$

$$U_z = -1,31 - 113,15 \cdot e^{-1563 \cdot Z} [0,04(1 + \ln \tau) - 1,5 \tau^2], \quad (I3)$$

$$\bar{U}_z = -1,31 + 84,9 \cdot e^{-1563 \cdot Z} \quad (I4)$$

Анализ графических зависимостей, построенных по выражениям (I2, I3, I4), позволил выявить характер изменения радиальной и осевой скоростей зерна и установить, что величина U_φ незначительна по сравнению с U_z . Однако действие этих составляющих вызывает радиально-осевое перемещение зѐрен по сложной винтовой траектории и обеспечивает значительную величину их пути.

Расчѐтами определено, что при $l_0 = 140$ мм максимальное число круговых циклов поворота зерновок до контакта с обечайкой состав-

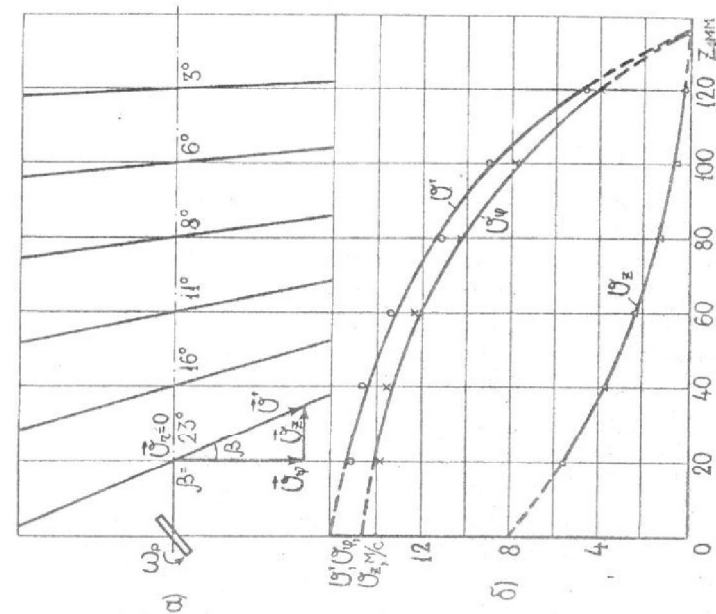


Рис. 4. Осреднённые траектории зёрен (а) и изменение результирующей U_z , осевой U_z и окружной U_φ скоростей зёрна (δ) на поверхности обечайки при $\alpha = 45^\circ$ и $U = 16$ м/с.

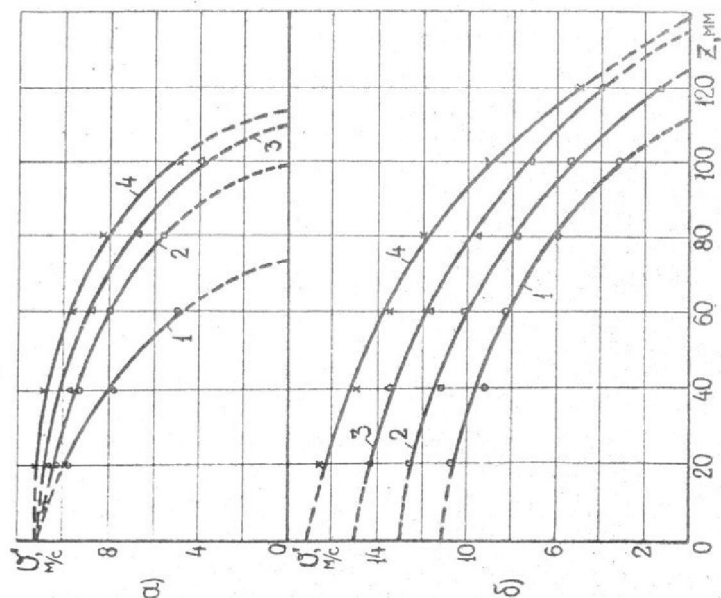


Рис. 3. Изменение результирующей скорости движения зёрна на поверхности обечайки :
а) $U_z = 0$; $\alpha = 30(1), 40(2), 50(3), 60(4)$;
б) $\alpha = 45^\circ$; $U_z = 1(1), 3(2), 5(3), 7(4)$ м/с.

ляло 24. Для обеспечения достаточной транспортирующей способности машины осевой шаг t_z рядов лопаток на роторе рекомендован в пределах 50 мм, при котором $U_z = 2,6$ м/с.

При принятых геометрических размерах рабочей зоны аналога и значениях $\alpha = 45^\circ$, $\varphi = 28^\circ$, $\omega_p = 82,5$ рад/с определено равенство выражений (5) и (6) и доказана возможность использования (7) при расчёте шелушильной машины.

Выполненными экспериментальными исследованиями влияния угла атаки α и величины радиального зазора δ на показатели F, P_z и полезные энергозатраты N_n установлены рациональные значения $\alpha = 45 \dots 55^\circ$ и $\delta = 5 \dots 10$ мм, при которых достигается максимальное силовое нагружение зёрна, необходимое для эффективного отделения оболочек.

При изготовлении лабораторной шелушильной машины её параметры выбирались на основе проведенных выше аналитических и экспериментальных исследований. Приняв радиус ротора $r_p = 0,06$ м, определено, что при $\delta = 7$ мм, $\alpha = 45^\circ$ и $\varphi = 28^\circ$ неравенству (8) удовлетворяет соотношение размеров лопаток $b \times h = 0,03 \times 0,04$ м, тогда радиус обечайки $R_0 = 0,107$ м.

Учитывая существенное влияние кольцевого зазора δ_k выпускного зазора на эффективность процесса шелушения, были получены зависимости, описываемые эмпирическими выражениями

$$C_{об} = 0,1\delta_k - 4,04 \cdot 10^{-2}\delta_k^2 + 1,42 \cdot 10^{-3}\delta_k^3 + 3,47, \quad (15)$$

$$\Delta B = 0,184\delta_k + 5 \cdot 10^{-3}\delta_k^2 + 1,8, \quad (16)$$

$$Q = 0,252\delta_k - 8,41 \cdot 10^{-3}\delta_k^2 + 2,2 \cdot 10^{-2}, \quad (17)$$

$$N_{уд} = 1,37\delta_k + 4,38 \cdot 10^{-2}\delta_k^2 + 12,45, \quad (18)$$

анализ которых показал, что технологически целесообразное сочетание параметров $C_{об} = 2,7\%$, $\Delta B = 0,7\%$, $Q = 1,5$ т/ч и $N_{уд} = 4,2$ кВт.ч/т достигается при $\delta_k = 7$ мм.

Определив зависимости изменения ξ и $C_{об}$ по длине рабочей зоны лабораторной машины, представилось возможным преобразовать выражение (10), приняв, что возрастание межзёрнового давления пропорционально увеличению коэффициента ξ_1 в зоне действия первого ряда лопаток.

Введём безразмерный комплекс

$$t = \frac{P_z}{g_m \xi U_z^2}, \quad (19)$$

по известному значению осевого давления P_z , полученному в ана-

логе при $\alpha = 45^\circ$ и $\delta = 7$ мм, находили коэффициент ξ . Тогда уточнённое выражение для определения конечной величины межзернового давления запишется в виде

$$P_{мз} = \sqrt{\frac{S_n^2 \xi^2}{9R_0^2} \omega_p^4 (R_0^3 - \tau_p^3)^2 + P_z^2 \left(\frac{b'}{b} \frac{\omega_p}{\omega_0} \frac{l'}{l} \right)^4} \times [1 + 0,39(n_I - 1)][1 + 0,043(n_{II} - 1)][1 + 0,017(n_{III} - 1)] \cdot m, \quad (20)$$

где $n_{I, II, III}$ - номера последних рядов лопаток в выделенных зонах машины.

Расчётами определено, что при $\delta_k = 7$ мм максимальная величина межзернового давления, обеспечивающего эффективное отделение покровных тканей, составляла 18,0...18,5 кПа.

Используя экспериментальную зависимость $Q = f(\delta_k)$, определяли значение коэффициента $\eta_1 = 0,08$ и с учётом (7) получили выражение для расчёта производительности лопастной машины

$$Q = 0,9(R_0^2 - \tau_p^2) S_n \xi \bar{Q}_z \frac{b'}{b} \frac{\omega_p}{\omega_0} \frac{l'}{l} \frac{(R_0 - \delta)}{R} \eta_2, \quad (21)$$

которое применяли при выборе геометрических размеров рабочей зоны промышленного образца шелушительной машины, обеспечивающих при заданном кинематическом режиме производительность в требуемых пределах.

В результате реализации матрицы планирования и обработки данных на ЭВМ получены математические модели, устанавливающие зависимости показателей эффективности шелушения, характеризуемой количеством отделяемым оболочек $C_{об}$, содержанием грибов $C_{г}$ и бактерий $C_{б}$ на поверхности зерна, от входных параметров $\Delta W = 2...4\%$, $\tau = 10...20$ мин, $\delta = 5...9$ мм, $Q = 0,8...1,2$ т/ч $C_{об} = 4,3\Delta W - 0,7\Delta W^2 + 0,33\tau - 10^{-2}\tau^2 + 0,55\delta - 5 \cdot 10^{-2}\delta^2 + 1,75Q' - 3,75Q'^2 - 17,1$, (22)

$$C_{г} = -0,23\Delta W + 4 \cdot 10^{-2}\Delta W^2 - 2,6 \cdot 10^{-2}\tau + 8 \cdot 10^{-4}\tau^2 - 4 \cdot 10^{-2}\delta + 3,8 \cdot 10^{-3}\delta^2 - 0,75Q' + 0,25Q'^2 + 1,22, \quad (23)$$

$$C_{б} = -8,5\Delta W + 1,3\Delta W^2 - \tau + 3 \cdot 10^{-2}\tau^2 - 1,45\delta + 0,14\delta^2 - 5,75Q' + 2,5Q'^2 + 60. \quad (24)$$

Анализ выражений позволил определить рациональные значения исследуемых параметров и их долевое влияние в порядке убывающей значимости: 1. $Q' = 1,2$ т/ч, 2. $\Delta W = 3\%$, 3. $\delta = 6$ мм, 4. $\tau = 16...17$ мин.

Для комплексной оценки эффективности процесса при выбранном

режиме проведено шелушение двух сортов исследуемых пшениц с одно- и двухкратным пропуском зерна через машину и определены показатели качества продуктов шелушения, приведенные в таблице 1, где $\Delta y'$ - их относительное изменение.

Таблица 1

Показатели качества продуктов шелушения зерна пшениц Степняк и Чайка

Показатели, %	Степняк			Чайка		
	П р о п у с к					
	первый	второй	Σ	первый	второй	Σ
$C_{об}$	2,58	1,05	3,63	3,00	0,86	3,86
P_k	0,40	1,14	1,54	0,52	0,94	1,46
ΔB	0,93	1,52	2,45	0,67	1,39	2,06
ΔZ	0,03	0,01	0,04	0,04	0,02	0,06
$\Delta Z'$	1,8	0,6	2,4	2,2	1,1	3,3
$\Delta K'$	33,3	8,3	41,6	39,1	8,7	47,8
$\Delta C_{г}$	78,3	8,7	87,0	76,2	7,1	83,3
$\Delta C_{б}$	99,7	0,1	99,8	99,9	0	99,9

Анализ полученных данных позволил установить, что при однократном шелушении обеспечивается достаточная эффективность обработки поверхности зерна при незначительных потерях крахмала, приращении битых зёрен и удельных энергозатратах не более $4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$. Учитывая существенное улучшение санитарно-гигиенического состояния поверхности зерна, возможно рекомендовать использование шелушительных машин на мельницах вместо молотковых, занимающих большие производственные площади и требующих значительного расхода воды.

В результате анализа химического состава продуктов шелушения новых сортов мягкой и твёрдой пшениц установлено увеличение в шелушённом зерне относительного содержания белка, крахмала, жира и клейковины, что свидетельствует о повышении его питательной ценности по сравнению с нешелушённым.

По данным исследования изменения влажности шелушённого зерна и отделённых оболочек влажностью около 40% ($\Delta W = 3\%$) при их совместной отлежке получена система эмпирических уравнений

$$W_{об} = -0,2116T + 4,62 \cdot 10^{-4}T^2 + 39,43, \quad (25)$$

$$W_{шз} = 5,25 \cdot 10^{-3}T + 14,42,$$

решение которой при $W_{об} = W_{шз}$ позволило получить значение

$T = 240$ мин, соответствующее времени достижения равновесной влажности смеси равной 15,3% и находящейся в пределах, установленных Правилами.

В пятой главе приведено описание конструкции серийной промышленной лопастной шелушильной машины УИ-БШР и результаты её производственных испытаний.

По результатам испытаний машины, установленной на Киевском КХП в линии зерноочистительного отделения мельницы 85%-ного помола пшеницы производительностью 110 т/сут, методом многофакторного планирования определён оптимальный режим шелушения, согласующийся с данными лабораторных исследований и обеспечивающий эффективную обработку поверхности зерна, характеризующуюся снижением зольности и клетчатки соответственно на 0,06% и 0,54% и приращением битых зёрен не более 0,8%.

С участием Горьковской МИС на Керченском КХП были проведены испытания трёх опытных образцов машин УИ-БШР, установленных вместо моечных на мельнице двухсортного 78%-ного помола пшеницы производительностью 310 т/сут. Определено, что машины соответствуют требованиям техники безопасности и санитарии и обеспечивают заданную производительность 6,7...7,2 т/ч, при которой съём оболочек составлял 2...1%, а удельный расход энергии не превышал $3,05 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$. По результатам испытаний межведомственной приёмочной комиссией шелушильная машина УИ-БШР рекомендована к постановке на серийное производство.

Включение шелушильной машины в технологический процесс мельницы двухсортного 78%-ного помола пшеницы производительностью 120 т/сут Кировоградского КХП позволило увеличить общий выход муки на 0,87% с увеличением первого сорта на 2,12%, снижением второго сорта на 1,25% и получить годовой экономический эффект в размере 66 тыс.руб.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Обобщением результатов выполненных научно-исследовательских работ по строению и свойствам зерна пшеницы установлена необходимость отделения верхних слоёв плодовой оболочки при подготовке его к помолу.

2. Доказана целесообразность применения лопастных машин непрерывного действия для эффективного шелушения увлажнённого и кратковременно отволоженного зерна пшеницы при обработке его в рабочей зоне с использованием факторов межзернового давления,

внешнего и внутреннего трения при интенсивном перемешивании слоёв зерна.

3. Получены математические модели процессов движения и силового нагружения зерна под действием вращающихся лопаток и установлена взаимосвязь между геометрическими параметрами рабочих органов машины с учётом фрикционных свойств зерновой смеси.

4. Исследованиями аналога шелушильной машины обоснованы рациональные значения окружной скорости лопаток ротора $U = 16$ м/с, угла атаки $\alpha = 45...50^\circ$, радиального зазора $\delta = 6$ мм и осевого шага их рядов $t_z = 0,045...0,050$ м, а также установлены траектории движения, радиальные, осевые и окружные компоненты скорости зерна в пределах увлекаемых лопатками слоёв. Приведены рекомендации по использованию полученных результатов при расчёте шелушильных машин.

5. Установлена прямая зависимость между расходом энергии $N_{уд}$ на процесс шелушения и количеством отделяемых оболочек $C_{об}$ и обратная зависимость этих показателей от производительности Q машины. Технологически целесообразные значения $C_{об} = 2,7\%$, $N_{уд} = 4,2 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}}$ и достаточная величина Q достигаются при величине выпускного зазора $\delta_k = 7$ мм, обеспечивающей межзерновое давление в зоне выпуска в пределах 18,0...18,5 кПа.

6. Обоснованы параметры подготовки зерна к шелушению, характеризующие увлажнением на 3% и продолжительностью отволаживания 16...17 мин, при которых съём оболочек достигал 3%, а приращение битых зёрен не превышало 0,9%.

7. Определено улучшение санитарно-гигиенического состояния поверхности шелушённого зерна (снижение содержания грибов и бактерий соответственно 76...78% и 99%), что позволило рекомендовать использование шелушильных машин на мельницах вместо моечных.

8. Рекомендовано сушку отделённых оболочек влажностью до 40% проводить на основе контактного влагообмена в смеси продуктов шелушения в течение 4...5 часов до достижения равновесной влажности 15,0...15,5%, что подтверждено в производственных условиях.

9. На основе обобщения результатов исследований получены исходные данные, по которым изготовлены опытные образцы лопастной шелушильной машины УИ-БШР производительностью 6,6...7,6 т/ч, обеспечивающей эффективную обработку поверхности зерна пшеницы при подготовке его к помолу. Разработаны схемы включения шелушильных машин в технологический процесс зерноочистительного отделения мельниц.

№ 15753

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ НАШЕВЫХ
ИЗУЧЕНИЯ И
БИБЛИОТЕКА

10. По результатам испытаний на Керченском и Кировоградском комбинатах хлебопродуктов машина УИ-ВШР рекомендована к постановке на серийное производство.

11. Реальный годовой экономический эффект от внедрения шелушильной машины на мельнице двухсортного 78%-ного помола пшеницы производительностью 120 т/сут, полученный за счёт увеличения общего выхода и перераспределения ассортимента муки, составил 66 тыс.руб.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Соловьёв А.А., Трубов В.В., Кутаров В.В. Исследование процесса массообмена увлажнённых оболочек и ошелушённого зерна ячменя // Тезисы докл. IV Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов". - Одесса. - 1980. - С.128.
2. Дударев И.Р., Трубов В.В., Санчез В.Ф. Обработка поверхности зерна без применения моечного процесса // Тезисы докл. Всесоюз. конф. "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания". - М. - 1984. - С.17.
3. Сердюк Л.В., Трубов В.В., Овсянникова Л.К. Характеристика продуктов шелушения зерна новых сортов сильных и твёрдых пшениц // Тезисы докл. Всесоюз. конф. "Пути совершенствования технологических процессов и оборудования для производства, хранения и транспортировки продуктов питания". - М. - 1984. - С.23.
4. Повышение питательной ценности пшеничной крупы из шелушённого зерна / П.В.Данильчук, И.Р.Дударев, В.В.Трубов и др. // Тезисы докл. Всесоюз. науч. конф. "Проблемы индустриализации общественного питания страны". - Харьков. - 1984. - С.264-265.
5. Соловьёв А.А., Трубов В.В. Безотходная технология производства перловой и ячневой круп // Тезисы докл. Всесоюз. науч. конф. "Проблемы индустриализации общественного питания страны". - Харьков. - 1984. - С.131.
6. Изменение микрофлоры поверхности зерна пшеницы в связи с шелушением / В.Ф.Санчез, В.В.Трубов, И.Р.Дударев, Г.И.Евдокимова; ОТИП им.М.В.Ломоносова. - Одесса, 1984. - 8 с. - Библиогр.: 3 назв. - Деп. в ВИНТИ I.06.84 № 467зг - Д84.
7. Энергетическая оценка роторно-лопастного смесителя непрерывного действия / В.А.Гамолич, В.В.Трубов, И.И.Дударев и др.; ОТИП им.М.В.Ломоносова. - Одесса, 1984. - 9 с. - Библиогр.: 5 назв. - Деп. в ВИНТИ I.06.84 № 468зг - Д84.

8. Исследование качества зерна новых сортов сильной и твёрдой пшеницы при шелушении в лопастной машине / П.В.Данильчук, В.В.Трубов, Л.К.Овсянникова, Л.В.Сердюк; ОТИП им.М.В.Ломоносова. - Одесса, 1984. - 7 с. - Библиогр.: 5 назв. - Деп. в ВИНТИ I.06.84 № 469зг - Д84.
9. Трубов В.В., Дударев И.Р., Гамолич В.А. Результаты производственных исследований шелушения увлажнённой пшеницы при подготовке её к помолу // Материалы Межреспубл. науч.-техн. конф. молодых учёных по состоянию и перспективам мало- и безотходной технологии и использованию вторичных материальных ресурсов. - Тбилиси. - 1985. - С.173-174.

справа