

Автореф.  
с 60

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
им. М.В. Ломоносова

На правах рукописи

СОЛОВЬЕВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

УДК 664.786.3.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДРОБЛЕНИЯ  
ЯЧМЕНЯ ПРИ ВЫРАБОТКЕ КОМБИКОРМОВ

Специальность 05.18.02 – технология зерновых,  
бобовых, крупяных продуктов и комбикормов

Переучет 19 89

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Одесса – 1982

Работа выполнена на кафедре "Технологическое оборудование зерновых производств и охрана труда" Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

- НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - кандидат технических наук,  
доцент ДУДАРЕВ И.Р.
- НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ - кандидат технических наук,  
профессор **КОТЛЯР Л.И.**
- ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ - доктор сельскохозяйственных наук, профессор НИКИТИН А.М.  
- кандидат технических наук,  
ст. науч. сотр. МАКСИМЧУК В.М.
- ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ - Чадыр-Лунгский комбинат  
хлебопродуктов (МССР)

Защита состоится "7" сентября 1982 г. в 10 час.  
на заседании специализированного совета К 068.35.02 в Одесском технологическом институте пищевой промышленности имени М.В. Ломоносова, 270039, Одесса-39, ул. Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан "19" июля 1982 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
к.т.н., доцент

*Кай*

И.К. ЧАЙКА

ОНАХТ 14.06.12  
Совершенствование те



v013949

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981-1985 годы и на период до 1990 года, утвержденных XXVI съездом КПСС, указывается: "Говоря о кормовой базе для животноводства, необходимо подчеркнуть большое значение более эффективного использования ресурсов фуражного зерна".

На существующих комбикормовых предприятиях предварительное шелушение фуражного зерна ячменя перед вводом его в рецепту комбикормов для молодняка животных и птицы сопровождается большими потерями питательных веществ, связанными с низкой эффективностью применяемых методов и средств выполнения этой технологической операции. Поэтому совершенствование технологии переработки зерна ячменя на комбикормовых предприятиях является актуальной народнохозяйственной задачей, решение которой позволит увеличить объем и повысить качество выпускаемых комбикормов.

Цель и задачи исследования. Целью выполненной работы является повышение уровня кормового использования фуражного зерна ячменя на основе совершенствования технологии его шелушения перед вводом в комбикорма.

Поставленная цель может быть достигнута решением ряда частных задач:

- изучением механико-технологических свойств зерна ячменя как объекта шелушения;
- определением рациональных технологических параметров подготовки и обработки зерна ячменя в роторно-лопастной фрикционной шелушительной машине;
- определением рациональных технологических параметров последующей обработки продуктов шелушения;

v013949

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В. Ломоносова

12

- производственной проверкой полученных результатов исследований.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые на основе изучения механико-технологических свойств зерна ячменя определены рациональные параметры подготовки и обработки его в роторно-лопастной фрикционной шелушительной машине. Установлен характер влияния этих параметров на технологическую эффективность шелушения, которая оценивалась предложенным комплексным технолого-энергетическим критерием. Полученные математические модели подготовки и обработки зерна ячменя адекватно описывают исследуемые процессы и позволяют осуществлять научно-обоснованное управление ими.

\* Практическая ценность работы заключается в том, что использование предложенной технологии шелушения зерна ячменя позволит значительно повысить уровень его кормового использования при одновременном снижении энергозатрат на выполнение этой технологической операции.

Реализация результатов работы. Результаты исследований легли в основу технического задания на разработку опытно-промышленного образца роторно-лопастной фрикционной шелушительной машины, производственно-технологические испытания которого успешно завершены на Одесском комбинате хлебопродуктов. В настоящее время на комбикормовом заводе в г.Ужгороде осуществляется монтаж линии шелушения зерна ячменя по предложенной технологии. Ожидаемый экономический эффект от внедрения этой линии составит 172 тыс. руб. в год.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано 7 статей, получено I авторское свидетельство и I положительное решение государственной научно-технической экспертизы изобретений по заявке.

Основные результаты работы докладывались на конференции молодых ученых и аспирантов ВНИИЗ (Москва, 1978, 1981 г.г.), научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им.М.В.Ломоносова (Одесса, 1979 г.), IV Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов" (Одесса, 1980 г.), Всесоюзной научной конференции "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания" (Харьков, 1981 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Работа изложена на 214 страницах машинописного текста, содержит 45 таблиц и 28 рисунков. Приложения содержат 19 страниц, в том числе протокол испытаний опытно-промышленного образца шелушительной машины и акт о внедрении результатов работы в производство. Список литературы включает 145 наименований, из них 7 иностранных.

В первой главе приведена характеристика зерна ячменя как сырья для выработки комбикормов, проанализирован его химический состав и влияние содержащихся элементов на организм животных и птицы.

Дан критический обзор технологического оборудования и машинно-аппаратурных систем для шелушения зерна ячменя. Анализ технологической эффективности применяемого оборудования дает основание отметить, что применение машин ударного и фрикционного действия для обработки поверхности зерна ячменя естественной влажности нерационально, поскольку связано с большими потерями питательных веществ и недостаточным съемом покровных тканей.

Исследования, проведенные Е.П.Козьминой, Л.А.Трисвятским, Е.Д.Козаковым, Г.А.Егоровым, Л.Н.Лыбарским, Н.В.Роменским,

Я.М.Жислиным, П.П.Тарутиным, М.Е.Гинабургом, Б.М.Максимчуком и др. показали возможность более эффективного отделения оболочек от ядра предварительно увлажненного зерна. Однако, использование для этой цели машин ударно-стирающего действия привело к тому, что достигнутое повышение технологической эффективности оказалось недостаточным для широкого использования разработанных методов в практике переработки зерна.

Принципиально новая конструкция роторно-лопастной фрикционной машины, предложенная А.В.Панченко и И.Р.Дударевым, а также работы И.К.Кравченко, Л.И.Гросула, И.В.Настагунина по определению параметров увлажнения и шелушения зерна пшеницы и кукурузы в этой машине подтвердили рациональность отделения оболочек предварительно увлажненного зерна в машинах фрикционного действия. Применение полученных указанными авторами технологических параметров для обработки поверхности зерна ячменя обусловило высокую энергоемкость процесса, в связи с отсутствием данных о механико-технологических свойствах зерна ячменя как объекта шелушения, что определяет необходимость выполнения исследований в этой области.

Во второй главе дан анализ применяемых в настоящее время критериев для оценки технологической эффективности шелушения зерна злаковых культур. На основе этого анализа предложен комплексный технолого-энергетический критерий, дающий объективную количественно-качественную оценку эффективности шелушения зерна ячменя

$$E_1 = \frac{(\kappa_{\text{ис}} - \kappa_{\text{ос}}) \left(1 - \frac{G_{\text{отх}} C_{\text{отх}}^{\text{к}}}{G_{\text{ис}} C_{\text{ис}}^{\text{к}}}\right) \frac{100}{G_{\text{ис}}}}{\sum_{i=1}^{z_0} (N_{\text{от}})_i (T_0)_i}, \quad (1)$$

где  $\kappa_{\text{ис}}$ ,  $\kappa_{\text{ос}}$  и  $\kappa_{\text{п}}$  - содержание клетчатки соответственно в исходном, ошелушенном и полностью ошелушенном зерне;  $G_{\text{ис}}$  и

$G_{\text{отх}}$  - соответственно масса исходного зерна и отходов шелушения;  $C_{\text{ис}}^{\text{к}}$  и  $C_{\text{отх}}^{\text{к}}$  - соответственно содержание крахмала в исходном зерне и в отходах шелушения;  $\Pi$  - пленчатость исходного зерна;  $N_{\text{от}}$  - осредненная во времени мощность, необходимая для реализации обработочной операции;  $T_0$  - время обработки зерна в шелушителе;  $Z_0$  - число пропусков зерна через шелушитель.

Описана методика планирования экспериментов и обработки их результатов по схемам латинского и греко-латинского квадратов при изучении механико-технологических свойств зерна ячменя, а также методика проведения лабораторных и производственно-технологических испытаний шелушителей.

В третьей главе описаны методики и результаты исследований геометрических характеристик и механико-технологических свойств зерна ячменя как объекта шелушения.

Получены аналитические выражения для определения площади внешней поверхности  $S_3$  и объема  $V_3$  зерен ячменя как функций их линейных размеров

$$S_3 = Alc + Bb(l+c) \quad \text{и} \quad V_3 = \frac{4}{9} \alpha_p lbc, \quad (2)$$

где  $l$ ,  $b$  и  $c$  - соответственно длина, ширина и толщина зерновки;  $A$ ,  $B$  и  $\alpha_p$  - эмпирические коэффициенты, характеризующие форму зерен.

Для определения значений эмпирических коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $\alpha_p$  измеряли линейные размеры, площадь внешней поверхности и объем зерен пяти сортов ячменя: Черноморец, Нутанс-244, Оксамит, Ежный и Зимран. Полученный статистический материал (объем выборки для каждого сорта  $n_g = 300$  зерен) позволил методом наименьших квадратов определить значения  $A$ ,  $B$  и  $\alpha_p$  из системы уравнений:

$$\left\{ \begin{aligned} & \left( \sum_{i=1}^{n_g} c_i^2 c_i^2 \right) A + \left( \sum_{i=1}^{n_g} c_i b_i c_i^2 + \sum_{i=1}^{n_g} c_i^2 b_i c_i \right) B = \sum_{i=1}^{n_g} S_i c_i c_i \\ & \left( \sum_{i=1}^{n_g} c_i b_i c_i^2 + \sum_{i=1}^{n_g} c_i^2 b_i c_i \right) A + \left( \sum_{i=1}^{n_g} c_i^2 b_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n_g} c_i b_i^2 c_i + \sum_{i=1}^{n_g} b_i^2 c_i^2 \right) B = \sum_{i=1}^{n_g} S_i c_i b_i + \sum_{i=1}^{n_g} S_i b_i c_i \\ & \left( \sum_{i=1}^{n_g} c_i^2 b_i^2 c_i^2 \right) \alpha_p = 2,25 \sum_{i=1}^{n_g} V_i c_i b_i c_i \quad i=1; 2; 3 \dots; n_g \end{aligned} \right.$$

Для исследуемых сортов ячменя полученные значения коэффициентов  $A$ ,  $B$  и  $\alpha_p$  практически одинаковы, что позволило, пользуясь их средними значениями  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  и  $\bar{\alpha}_p$ , записать уравнения для определения  $S_3$  и  $V_3$  применительно ко всем исследуемым сортам

$$S_3 = 0,10lc + 1,75B(l+c) \text{ и } V_3 = 0,45lbc. \quad (3)$$

Относительная ошибка результатов вычислений, полученных по этим формулам, не превышает для  $S_3$  - 3,1%, а для  $V_3$  - 1,9%.

Целесообразным технологическим приемом, способствующим ослаблению природных связей оболочек с ядром зерна ячменя, является его предварительное увлажнение и последующее кратковременное отволаживание. В качестве показателя, характеризующего прочность этих связей может быть использовано усилие отрыва оболочек от ядра. Для его определения использован прибор (положительное решение о выдаче авторского свидетельства № 2962715/28-13 от 18 июля 1981 года), конструктивно-кинематическая схема которого представлена на рис.1. Метрологическая оценка этого прибора показала, что относительная погрешность

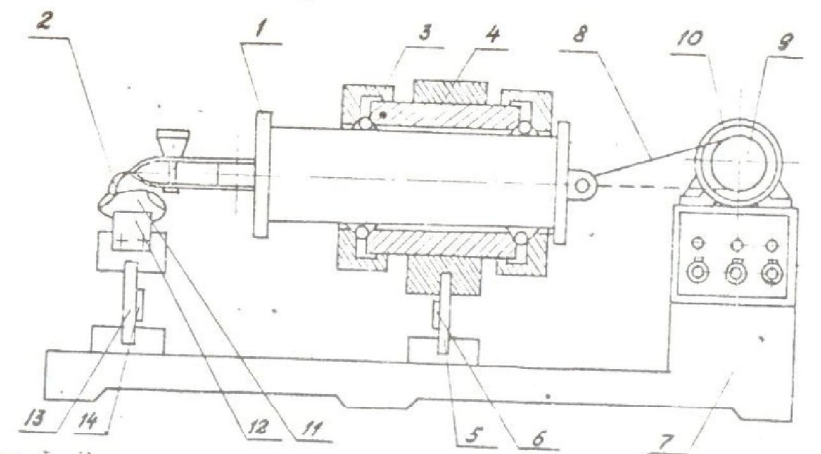


Рис.1. Конструктивно-кинематическая схема прибора для определения механических характеристик зерновок: 1 - подвижный зажим; 2 - отрываемая оболочка; 3 - опоры качения; 4 - обойма; 5, 13 - упругие элементы; 6, 14 - тензометрические датчики; 7 - корпус прибора; 8 - гибкий элемент; 9 - барабан; 10 - электродвигатель постоянного тока; 11 - неподвижный зажим; 12 - исследуемая зерновка.

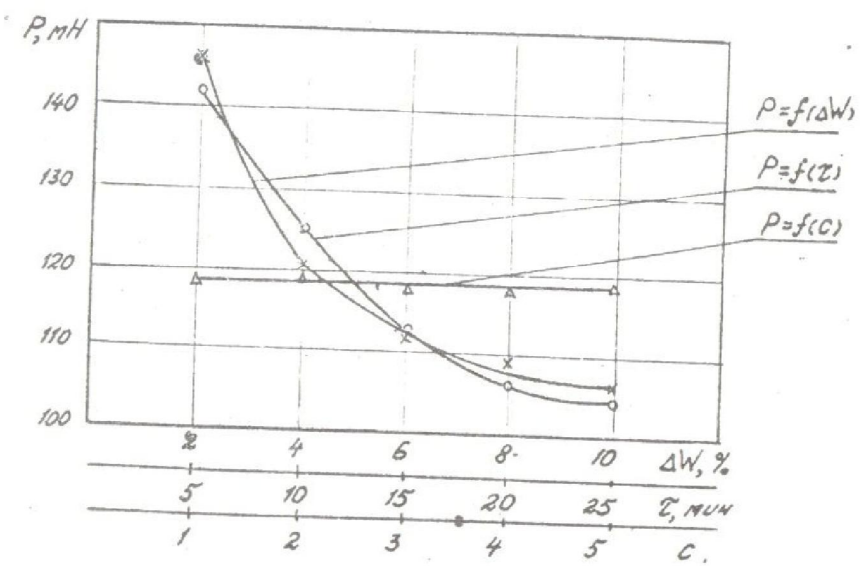


Рис.2. Зависимость усилия отрыва  $P$  от величины доувлажнений  $\Delta W$ , времени отволаживания  $\tau$  и сорта зерна ячменя  $C$ .

измерений на нем не превышает 11,9%.

Усилие отрыва определяли в зависимости от параметров подготовки зерна ячменя к шелушению: величины доувлажнения  $\Delta W$  и времени отволаживания  $\tau$ . Третьим входным фактором избран сорт испытываемых зерновок  $C$ . Добавление к зерну заранее рассчитанного количества воды производили через полый вал работающего кубового смесителя, что способствовало более равномерному распределению влаги по всему объему навески. Затем из увлажненной навески выбирали одно зерно и на его поверхности двухлезвийным ножом выполняли продольный надрез полосы оболочки шириной 1 мм. Концевую часть оболочки отслаивали пинцетом от ядра со стороны зародыша и подготовленное таким образом зерно закрепляли в зажимах прибора, после чего производили его включение.

Обработка полученных экспериментальных данных на ЭВМ "Найри-К" позволила получить эмпирическую зависимость, связывающую усилие отрыва  $P$  и перечисленные выше входные факторы

$$P = 1160,97 - 169,36\Delta W + 9,55\Delta W^2 - 0,18\Delta W^3 - 5,02\tau + 0,11\tau^2 + P_0, \quad (4)$$

где  $P_0 = (-1,8) \dots 2,4$  мН - поправочный коэффициент, учитывающий сортовые особенности зерна ячменя.

На рис.2 представлены графики зависимостей  $P = f(\Delta W, \tau, C)$ . Из рассмотрения этих графиков следует, что повышение  $\Delta W$  приводит к снижению  $P$ . Наиболее интенсивное снижение  $P$  отмечается при увлажнении зерна до 4%. Величина  $P$  зависит и от характера распределения влаги между анатомическими частями зерна, который определяется величиной  $\tau$ . Наиболее интенсивное снижение  $P$  происходит при увеличении  $\tau$  до 20...25 м.н.

В основу действия роторно-лопастной шелушильной машины положен принцип обработки зерна, в основном, за счет взаимотрения зерновок в рабочей зоне. Основными показателями, характеризующими фрикционные свойства зерновок массы, как объекта обработки являются коэффициенты внешнего и внутреннего сдвига  $f$  и  $\mu$ . Для определения этих коэффициентов в процессе шелушения зерна был использован прибор (а.с. №748175), конструктивно-кинематическая схема которого приведена на рис.3. Метрологическая оценка этого прибора показала, что относительная погрешность измерений на нем не превышает 4...5%.

Опыт обработки зерна ячменя в роторно-лопастных шелушильных машинах позволил выбрать в качестве входных факторов  $\Delta W$ , коэффициент шелушения  $K_w$  и межзерновое давление  $N$ . Значения  $f$  и  $\mu$  определяли, пользуясь формулой

$$f, \mu = \frac{F_c}{N + mg} \quad (5)$$

где  $F_c = \frac{F_r R_r}{R_c}$  - сдвигающее усилие;  $F_r$  и  $R_r$  - соответственно величина усилия в точке приложения тарировочной нагрузки и радиус её приложения;  $R_c$  - средний радиус кольцевого слоя сыпучего материала;  $m$  - масса сыпучего материала в обойме.

В результате проведенных исследований получены эмпирические зависимости, связывающие  $f$  и  $\mu$  с перечисленными входными факторами

$$f = 0,20 - 2,18 \cdot 10^{-5} N + 0,1 \Delta W - 0,01 \Delta W^2 + 0,25 \cdot 10^{-2} K_w - 0,45 \cdot 10^{-5} K_w^2 - 0,01 \cdot 10^{-5} K_w^3 \quad (6)$$

$$\mu = 0,495 + 0,04 \Delta W - 0,34 \cdot 10^{-2} \Delta W^2 - 3,78 \cdot 10^{-5} N + 1,95 \cdot 10^{-3} K_w + 3,08 \cdot 10^{-5} K_w^2 - 3,00 \cdot 10^{-7} K_w^3 \quad (7)$$

На рис.4 представлены графики зависимостей  $f, \mu = f(\Delta W, K_w, N)$ .

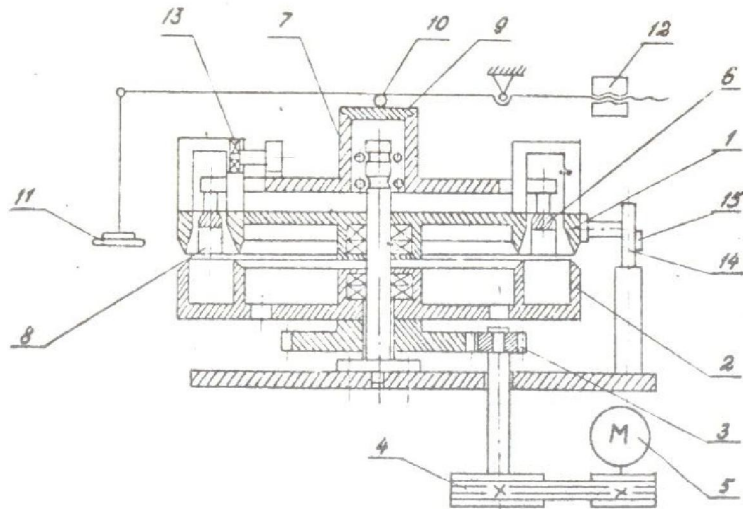


Рис. 3. Конструктивно-кинематическая схема прибора для определения сопротивления материалов сдвигу:

1 - верхняя кольцевая обойма; 2 - нижняя кольцевая обойма; 3 - зубчатая передача; 4 - клиноременная передача; 5 - электродвигатель; 6 - кольцевая пластина; 7 - диск; 8 - пластина; 9 - вкладыш; 10 - коромысло; 11 - гиредержатель; 12 - груз-противовес; 13 - ролик; 14 - упругий элемент; 15 - тензометрический датчик.

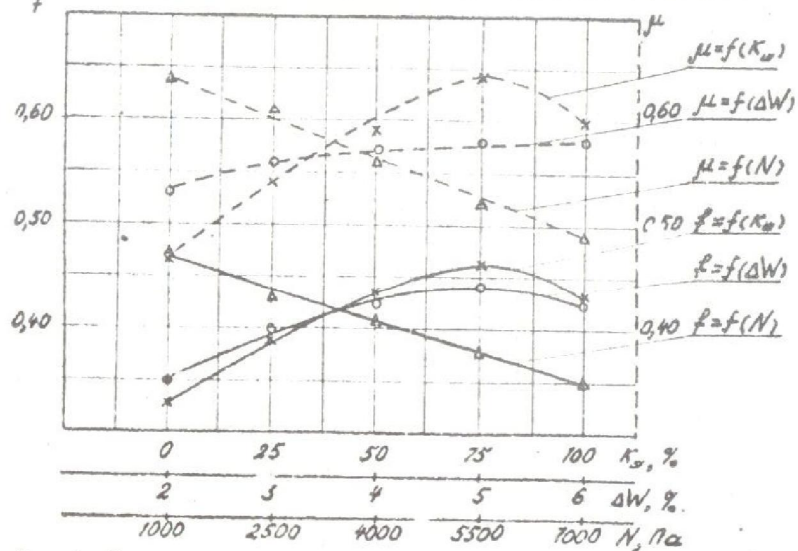


Рис. 4. Зависимость коэффициентов сдвига от коэффициента шелушения  $K_d$ , доувлажнения  $\Delta W$  и нормального давления  $N$ .

Анализ графиков показывает, что увеличение  $K_d$  до 75% сопровождается увеличением  $f$  и  $\mu$ . Дальнейшее увеличение  $K_d$  приводит к некоторому снижению значений  $f$  и  $\mu$ . Повышение  $\Delta W$  до 5% приводит к увеличению  $f$  и  $\mu$ . Дальнейшее повышение способствует некоторому снижению  $f$  и  $\mu$ . Увеличение  $N$  приводит к уменьшению  $f$  и  $\mu$  во всем интервале изменения  $N$ .

В четвертой главе описана конструкция модернизированной лабораторной роторно-лопастной шелушильной машины (рис. 5), методика и результаты определения технологических параметров шелушения увлажненного зерна ячменя и обработки продуктов шелушения.

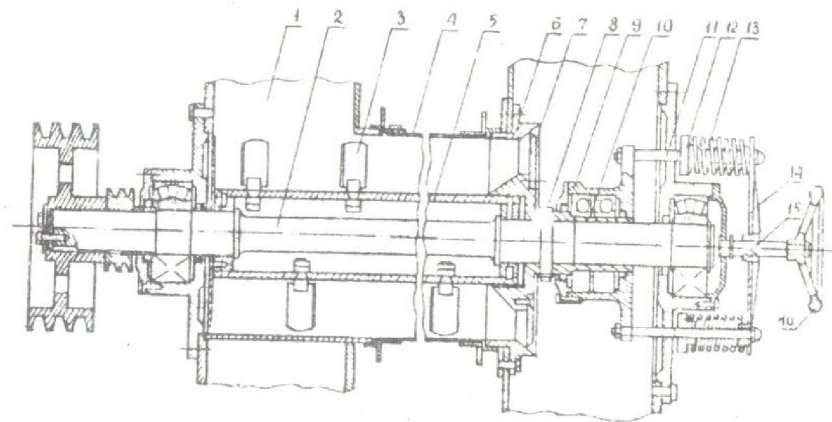


Рис. 5. Лабораторная шелушильная машина с дисковым выпускным устройством:

1 - приемный патрубок; 2 - вал лопастного барабана; 3 - рабочие и отражающие лопатки; 4 - ситовая обечайка колесникового типа; 5 - лопастной барабан; 6 - выпускной диффузор; 7 - дросселирующий диск; 8 - шарик; 9 - подвижный корпус подшипника; 10 - стакан; 11 - шпилька; 12 - гайка; 13 - пружина; 14 - рычаг; 15 - винт; 16 - ступица вала.

Лабораторное шелушение показало, что рациональными параметрами подготовки зерна ячменя к шелушению являются его увлажнение на 4...5% и время отволаживания 20...25 мин. Рациональными параметрами работы машины являются: окружная скорость лопаток барабана 15...20 м/с, выпускной зазор дискового дросселирующего устройства  $6 \pm 0,1$  мм, углы атаки рабочих и отражающих лопаток  $45^\circ$  при их расположении с круговым шагом  $90^\circ$ , зазор между концами лопаток и образующей ситовой обечайки  $6 \pm 1$  мм.

Высокая влажность полученных в результате шелушения оболочек (до 40%) и их низкая кормовая ценность обуславливают рациональность применения массообменного метода их сушки, заключающегося в смешивании и совместном отволаживании оболочек и ошелушенного зерна ячменя с целью передачи влаги от них к менее влажному ошелушенному зерну.

В качестве входных факторов избраны время совместного отволаживания оболочек и ошелушенного зерна  $T$ , температура воздуха в термостате, где происходил контактный влагообмен  $t_g$ ,  $\Delta W$  и  $K_w$ . Дисперсионный анализ результатов исследований, выполненных по плану греко-латинского квадрата, показал, что среди перечисленных входных факторов существенное влияние на процесс контактного влагообмена оказывают только первые три. Количественные закономерности исследуемого процесса получены методом приведенной скорости сушки, разработанным Г.К.Филоненко

$$T = \frac{1}{N} [(\omega_1 - \omega_k) + A \frac{(\omega_k - \omega_2)}{(\omega_k - \omega_p)(\omega_2 - \omega_p)} + \beta(\omega_k - \omega_2)], \quad (8)$$

где  $\omega_1$ ,  $\omega_k$ ,  $\omega_2$  и  $\omega_p$  - соответственно, начальное, критическое, конечное и равновесное влагосодержания оболочек;  $N$  - скорость сушки в первом периоде;  $A$  и  $\beta$  - коэффициенты, ха-

рактеризующие перемещение влаги внутри материала в процессе сушки.

При подстановке в выражение (8) значений, входящих в него параметров при  $\Delta W = 4\%$  и  $t_g = 20^\circ\text{C}$ , продолжительность контактной сушки составит 170...180 мин. Относительная средне-квадратическая погрешность вычислений, проводимых по этой формуле не превышает 3,3%.

При контактном влагообмене снижение влажности оболочек сопровождается повышением влажности ошелушенного зерна на 2...4%, то есть достигает 15...17%. Исследованиями Н.В.Лисицыной установлено, что такая влажность наиболее благоприятна для дальнейшей термической обработки ошелушенного зерна ячменя. При скорости теплоносителя 2...3 м/с через 2...3 мин обработки получается продукт, перевариваемость углеводного комплекса которого в 2,5...3,0 раза выше, чем обычного ячменя, без снижения питательных достоинств белка.

Проведенный сравнительный микробиологический анализ не ошелушенного и термически обработанного ошелушенного зерна ячменя свидетельствует о том, что шелушение увлажненного зерна ячменя с последующей термической обработкой является эффективным средством улучшения его санитарно-бактериологического состояния и качества вырабатываемого комбикорма.

В пятой главе приведены результаты производственно-технологических испытаний, проведенных совместно с Одесским комбинатом хлебопродуктов, и определен экономический эффект от внедрения линии шелушения зерна ячменя на комбикормовом заводе в г.Ужгороде.

Дано конструктивно-функциональное решение опытно-промышленного образца шелушильной машины и стенда для её испытаний. При проведении испытаний для оценки технологической эффектив-

ности шелушения использовали традиционные показатели применяемые в крупном производстве: коэффициент шелушения  $K_{ш}$ , коэффициент цельности ядра  $K_{ц.я.}$  и обобщенный коэффициент шелушимости  $E = K_{ш} \cdot K_{ц.я.}$ . Кроме этого, использовали такие показатели, как содержание клетчатки в ошелушенном зерне и содержание крахмала в отходах шелушения, определяемые соответственно по ГОСТ 13496.2-75 и ГОСТ 10845-76, а также комплексный, технологический-энергетический критерий  $E_1$ , значения которого вычисляли по формуле (1).

Результаты производственно-технологических испытаний приведены на рис. 6. Из анализа графиков видно, что в первой серии опытов эффективность шелушения  $E(E_1)$  возрастает с увеличением  $\tau$  лишь до 20 мин, а затем уменьшается.

По результатам второй серии опытов можно судить о том, что с увеличением  $\Delta W$  соответственно увеличивается и  $E(E_1)$ , однако при значениях  $\Delta W$  более 4% начинает уменьшаться  $E(E_1)$ , в связи с потерями эндосперма и повышением энергоемкости процесса.

При уменьшении зазора выпускного дросселирующего устройства  $\delta$  в третьей серии опытов от 14 до 6 мм  $E(E_1)$  возрастает, но дальнейшее уменьшение  $\delta$  не рационально, так как это значительно увеличивает расход энергии и может привести к заклиниванию продукта в зазоре дросселирующего устройства.

Изменение динамического режима обработки зерна в рабочей зоне осуществляли путем варьирования окружной скорости лопастного барабана  $v$  от 9 до 21 м/с. Наиболее высокое значение  $E(E_1)$  получены при  $v = 18$  м/с.

Производственно-технологические испытания позволили уточнить параметры подготовки и обработки зерна ячменя в линии шелушения, включающей разработанные роторно-лопастные машины

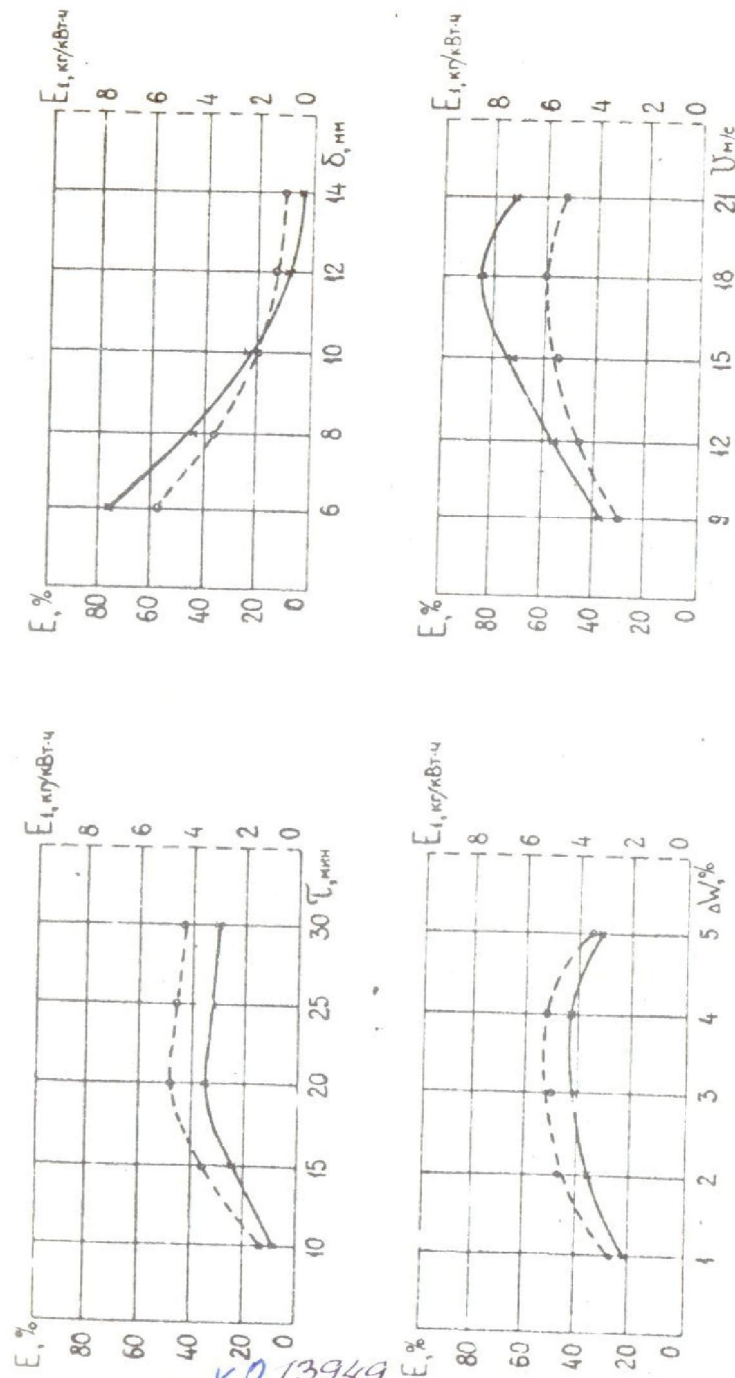


Рис. 6. Зависимость эффективности шелушения зерна ячменя от времени его отвозлаживания  $\tau$ , величины доувлажнения  $\Delta W$ , выпускного зазора  $\delta$  и скорости вращения лопастного барабана  $v$ .

(рис.7). Технологические показатели эффективности шелушения, полученные в производственных условиях, приведены в табл. I.

Таблица I.

Технологические показатели эффективности шелушения зерна ячменя

| Наименование показателей                              | Единицы измерения | Величины показателей |
|---|-------------------|----------------------|
| 1. Производительность                                 | кг/с              | 0,7                  |
| 2. Удельный расход энергии                            | кВт ч/т           | 5,5                  |
| 3. Выход ошелушенного зерна                           | %                 | 91,3                 |
| 4. Содержание клетчатки в ошелушенном зерне           | %                 | 2,3                  |
| 5. Содержание крахмала в отходах шелушения            | %                 | 6,1                  |
| 6. Обобщенный коэффициент шелушения                   | %                 | 85,8                 |
| 7. Комплексный технологическо-энергетический критерий | кг/кВт ч          | 6,0                  |

#### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлено, что низкий уровень кормового использования зерна ячменя при выработке комбикормов обусловлен недостаточной эффективностью применяемых методов и средств отделения оболочек.

2. Подтверждена возможность применения метода шелушения увлажненного зерна в роторно-лопастных фрикционных машинах.

3. Определено, что отделение оболочек в этих машинах

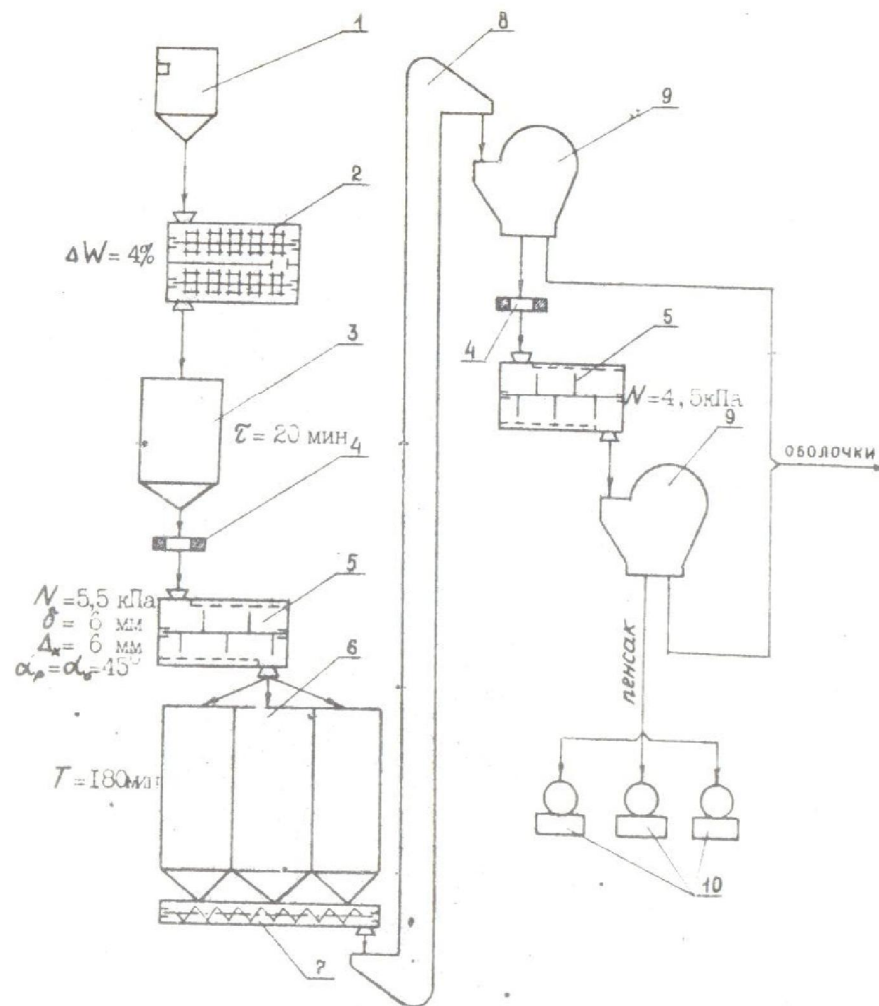


Рис.7. Технологическая линия шелушения зерна ячменя: 1-автоматические весы; 2-увлажняющая машина; 3-бункер для отволаживания зерна; 4-магнитные сепараторы; 5-роторно-лопастные фрикционные шелушительные машины; 6-бункер для контактной сушки оболочек; 7-шнек; 8-нория; 9-двааспиратора; 10-обжарочные аппараты.

сопровождается повышенными энергозатратами, что обусловлено отсутствием сведений о геометрических и механико-технологических свойствах зерна ячменя как объекта шелушения.

4. Выведены и экспериментально проверены аналитические выражения для определения площади поверхности и объема зерен ячменя, позволяющие обосновать конструктивно-геометрические параметры рабочей зоны шелушительной машины.

5. Предложен объективный критерий, характеризующий прочность связи оболочек с ядром зерна ячменя. Минимальная прочность связи достигается при  $\Delta W = 4...5\%$  и  $\tau = 20...25$  мин. Установлено, что сортовые особенности существенного влияния на величину этого критерия не оказывают.

6. Экспериментальные исследования фрикционных свойств зерна ячменя позволили установить величины межзерновых давлений в рабочих зонах двух последовательно установленных шелушительных машин, соответственно 5,5 и 4,5 кПа.

7. Предложен комплексный технологический критерий, позволяющий объективно оценить эффективность шелушения зерна ячменя.

8. Лабораторными исследованиями установлено, что наиболее высокая технологическая эффективность шелушения ячменя достигается при  $\Delta W = 4...5\%$ ,  $\tau = 20...25$  мин,  $v = 15...20$  м/с,  $\delta = 6 \pm 0,1$  мм,  $\alpha_p = \alpha_o = 45^\circ$ ,  $\Delta x = 6$  мм.

9. Предложен и проверен в производственных условиях способ контактной сушки оболочек и ошелушенного зерна ячменя. Установлено, что при  $\Delta W = 4\%$ ,  $\tau = 20$  мин и  $t_s = 20^\circ\text{C}$  продолжительность сушки составляет 170...180 мин.

10. Доказано, что повышение влажности ошелушенного зерна ячменя в результате его контактной сушки способствует повышению эффективности его последующей термической обработки.

II. Микробиологический анализ показал, что шелушение увлажненного ячменя в сочетании с термической обработкой является эффективным средством улучшения его санитарно-бактериологического состояния и качества вырабатываемого комби-корма.

12. Производственно-технологические испытания подтвердили результаты лабораторных исследований и позволили уточнить технологические параметры подготовки и обработки зерна в роторно-лопастной шелушительной машине:  $\Delta W = 4\%$ ,  $\tau = 20$  мин,  $v = 18$  м/с,  $\delta = 6$  мм.

13. Предложена технологическая линия шелушения увлажненного и кратковременно отволоженного зерна ячменя с применением роторно-лопастных фрикционных шелушительных машин.

14. Экономический эффект от внедрения предложенной линии на комбикормовом заводе в г.Ужгороде составит 172 тыс. руб. в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Соловьев А.А., Гомолич В.Я., Дударев И.Р. Определение геометрических характеристик ячменя с целью интенсификации процесса его гидротермической обработки. - В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. "Проблемы влияния тепловой обработки на пищевую ценность продуктов питания". Харьков, 1981, с.144-146.
2. Определение макросистем в зернистых средах /В.Я.Гомолич, И.Р.Дударев, И.В.Настагунин, А.А.Соловьев. Ред. журн. Изв. вузов. Пищ. технология. Краснодар, 1980. - 7 с. (Функоп. деп. в ЦНИТЭИзаготовок 1 декабря 1980 г., № 150).
3. Прибор для определения механических характеристик зерно-

- вок /А.А.Соловьев, В.Н.Петров, А.С.Опроненко, И.Р.Дударев.  
- Положительное решение государственной научно-технической  
экспертизы изобретений № 2962715/28-13 от 18 июля 1980 г.
4. А.с. № 748175 (СССР) Устройство для определения сопротив-  
ления материалов сдвигу /И.Р.Дударев, В.Н.Петров, А.А.Со-  
ловьев и др. - Заявл. 05.04.78 № 2600926/25-28. - Б.и.  
1980, № 26, с.168.
  5. Соловьев А.А., Опроненко А.С., Дударев И.Р. Определение  
фрикционных характеристик зерна ячменя в процессе его  
шелушения. - В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз. конф. "Механи-  
ка сыпучих материалов". Одесса, 1980, с.207.
  6. Рыженко В.С., Соловьев А.А., Бражко А.Д. Анализ числа и  
площади внешних контактов зерна злаковых культур с рабо-  
чими элементами машин. - В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз.  
конф. "Механика сыпучих материалов". Одесса, 1980,  
с.206.
  7. Соловьев А.А., Трубов В.В., Кутаров В.В. Исследование  
процесса массообмена увлажненных оболочек и ошелушенного  
зерна ячменя. - В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз. конф. "Ме-  
ханика сыпучих материалов". Одесса, 1980, с.128.
  8. Определение рациональных параметров процесса массообмен-  
ной сушки продуктов "мокрого" шелушения /И.Р.Дударев,  
А.А.Соловьев, Н.В.Лисицына, С.И.Кретов. - Тр. /ВНИИЖП,  
1981, вып.18, с.20-23.
  9. Повышение питательной ценности комбикормов /И.Р.Дударев,  
А.А.Соловьев, А.И.Орлов и др. - Мукомольно-элеваторная и  
комбикормовая пром-сть, 1980, № 5, с.32.