

Автор ер.
Г 59

Министерство высшего и среднего специального образования УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

ГОЙХЕНБЕРГ
БОРИС ИОСИФОВИЧ

**МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ
ЛАБОРАТОРНОГО ШЕЛУШИТЕЛЯ
ЗЕРНА ПРОСА**

Специальность № 05.02.14— „Машины и агрегаты
пищевой промышленности“

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ОДЕССА — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

Одесский технологический институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

ГОЙХЕНБЕРГ БОРИС ИОСИФОВИЧ

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЛАБОРАТОРНОГО ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА ПРОСА

• Специальность № 05.02.14 - "Машины и агрегаты пищевой
промышленности"

Переучет 19/87 г.

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

V. O 12499
Одесский технологический
институт пищевой пр мыш-
ленности им. . Б. Л. Ломоносова
Б И Б Л И О Т Е К А

Одесса - 1974

ОНАХТ

13.07.11

Механико-технологиче



v012499

Работа выполнена на Миргородской машиноиспытательной станции Министерства заготовок СССР и на кафедре "Технологическое оборудование зерновых производств и охрана труда" Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Научный руководитель —

кандидат технических наук, профессор

Л.И.КОТЛЯР

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

П.Н.ПЛАТОНОВ

кандидат технических наук

С.Н.ЛОПАТИНСКИЙ

Ведущее предприятие — Ростовская машиноиспытательная станция Министерства заготовок СССР.

Автореферат разослан " 22 " февраля 1975 г.

Защита диссертации состоится " 18 " апреля 1975 г.

на заседании Ученого совета механического и инженерно-экономического факультетов Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Отзывы на автореферат диссертации (в двух экземплярах, заверенные печатями) просим направлять по адресу: 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112, ОТИПИ им. М.В.Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

УЧЕНЫМ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Л.А. Запороженц

(Л.А.ЗАПОРОЖЕНЦ)

ВВЕДЕНИЕ

Директивами XXIV съезда КПСС в качестве одной из главных задач развития народного хозяйства СССР в девятом пятилетии определена необходимость обеспечения значительного подъема материального уровня жизни народа на основе научно-технического прогресса производства. Генеральный секретарь ЦК КПСС тов. Л.И.Брежнев в речи, посвященной 50-летию Советской Молдавии, указывал, что, исходя из долговременной социально-экономической политики партии, следующая десятая пятилетка должна быть пятилеткой качества и дальнейшего повышения эффективности производства.

В свете выдвинутых программных положений и перед крупной промышленностью стоят задачи по дальнейшему совершенствованию техники и технологии производства, более полному использованию природных ресурсов зерна, улучшению качества готовой продукции.

Вырабатываемое из зерна проса пшено относится к наиболее распространенным крупам, обладающим высокими пищевыми достоинствами. Потребительскую ценность зерна проса определяют его физико-технологические свойства. Поэтому совершенствование методов объективной оценки этих свойств при обосновании технологических ресурсов зерна должно способствовать интенсификации крупяного производства, рациональной организации и ведению высокоэффективных процессов переработки проса. С таких позиций исходное качество проса важно достоверно оценивать по пленчатости (П,%) и содержанию испорченных зерновок (И,%).

Определение значений П и И базируется на шелушении (обрушивании) зерновок и последующей классификации продуктов разделения — ядра и цветковых пленок; качество выполнения этих трудоемких операций предопределяет достоверность получаемых оценок

П и И. Отсутствие же на крупных заводах достаточно эффективных и быстродействующих технических средств для выполнения указанных операций обусловило целесообразность предпринятого исследования, которое было направлено на обоснование, разработку и реализацию основных принципов и конструктивно-технологических параметров лабораторного механического шелушителя зерна проса.

В процессе исследования:

1. Обсуждены особенности и недостатки применяемых методов и средств определения П и И в связи с анатомо-морфологическими и физико-техническими характеристиками зерна проса как объекта шелушения. На этой основе сформулированы технические требования к конструктивному решению лабораторного шелушителя.
2. Произведен сопоставительный анализ результатов исследований промышленных средств шелушения зерна проса в целях установления по аналогии рационального принципа отделения цветковых пленок в лабораторном шелушителе.
3. С механико-технологических позиций рассмотрен процесс "конвейерного" шелушения зерновок проса в рабочей зоне резиновых вальцов.
4. Обоснована минимально необходимая масса представительной пробы зерна для достоверной оценки значений П и И.
5. Осуществлен экспериментальный выбор трудношелушимого подопытного материала и оптимизирован многофакторный процесс высокоэффективной обработки зерна проса резиновыми вальцами.
6. Исследована эффективность аэромеханической классификации образующихся продуктов шелушения.
7. Оценены технологические показатели и быстродействие лабораторного шелушителя, в котором реализованы результаты проведенных исследований, обобщены данные о технико-экономической эффек-

тивности его внедрения в производство.

Научная новизна работы и ее практическая значимость заключается в том, что экспериментально обоснованы (с использованием методов экстремального планирования экспериментов) определяющие механико-технологические параметры вальцового шелушителя и аэромеханического классификатора, на которых достигается рациональное отделение цветковых пленок с зерновок проса и разделение образующегося продукта, необходимое для достоверной оценки значений Π и \mathcal{I} . В связи с этим подвергнут исследованию процесс "конвейерного" шелушения зерна проса на резиновых вальцах, используя непосредственное наблюдение (с помощью скоростной киносъемки и микроскопирования) за происходящими в рабочей зоне явлениями; на основе вероятностно-статистического подхода определена и опытно подтверждена минимально необходимая масса пробы зерна для оценки Π и \mathcal{I} , разработан и применен при выборе подопытного материала метод объективной оценки шелушимости зерна проса. Результаты проведенных исследований реализованы при непосредственном участии автора в лабораторном шелушителе ГДФ, широкое применение которого на крупных заводах страны уже в настоящее время дает значительный технико-экономический эффект.

В работе принята международная система единиц СИ.

При распределении результатов экспериментов, близком к нормальному, количество повторностей в каждой серии опытов устанавливали с помощью предварительно найденной меры изменчивости (коэффициента вариации), t - критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и принятой относительной погрешности оценки действительной величины исследуемого признака. В таблицах и на графиках численные данные представлены средними арифметическими величинами повторных определений.

Диссертация состоит из введения, трех разделов, включающих 12 глав, заключения, основных условных обозначений, списка использованной литературы и приложений.

ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЛЕНЧАТОСТИ ПРОСА И СОДЕРЖАНИЯ В НЕМ ИСПОРЧЕННЫХ ЗЕРНОВОК

I. Технологическая значимость показателей П и И, особенности методов их оценки

Пленчатость, являясь одной из основных товароведческих характеристик качества зерна проса, указывает на относительное содержание в нем цветковых пленок, не имеющих продовольственной ценности. По значению П оценивают относительное содержание ядра в зерне, устанавливают нормативный выход крупы и отходов. Определение пленчатости базируется на шелушении зерновок.

Испорченные зерновки проса относят к трудноотделимой сорной примеси, их действительное содержание также влияет на нормативный выход и сортность крупы. Визуальное распознавание испорченности ядра возможно лишь после отделения цветковой пленки. Наиболее полно физико-технологическая сущность испорченных зерновок проса и влияние их содержания на процесс производства крупы исследованы в работе Г.В.Кан (ВНИИЗ, 1973). Прочность ядер испорченных зерновок обычно ниже, чем у неповрежденных; при шелушении такие зерновки относительно легко деформируются и разрушаются.

Статистический анализ работы ряда крупозаводов, проведенный А.А.Бронштейн и Г.В.Кан (1965+1969) и продолженный нами (1970+1972), указал на то, что значительную часть готовой

продукции относят к крупе второго сорта за счет повышенного содержания испорченных зерновок, а также на существенную зависимость действительного выхода готовой продукции от наличия последних. Все это, естественно, подтверждает, что содержание испорченных зерновок является важным технологическим показателем.

Таким образом, П и И, как основные физико-технологические показатели, определяют продовольственную ценность данной партии зерна проса и условия его переработки в крупу.

2. Основные требования к конструктивно-функциональному решению лабораторного шелушителя зерна проса

Процесс шелушения проса, конечной целью которого является максимальное отделение цветковых пленок при незначительном разрушении ядра, основан на рациональном использовании различий механических свойств (деформативных, прочностных и др.) разделяемых анатомических частей зерновок.

Относительная сложность обработки проса при шелушении (судя по данным Е.Н.Гринберга) обусловлена малыми размерами зерновок, их округлой формой и гладкой поверхностью, а также сравнительно большой прочностью цветковых пленок. Кроме того, как следует из работ Е.П.Козьминой, Я.М.Жислина, М.Е.Гинзбурга, Л.А.Трисвятского, Л.И.Джумагуловой и В.А.Резчикова, на эффективность процесса шелушения оказывает влияние и то, что перерабатываемое на крупных предприятиях просо представляет смесь зерновок различных по анатомо-морфологическим признакам и физико-техническим свойствам. Это обусловлено как ботанико-физиологическими и сортовыми особенностями, так и комплексным влиянием почвенных, климатических и агротехнических условий произрастания проса, условиями хранения и предварительной его обработки. При

этом неоднородность зерновой массы проявляется не только в изменчивости линейных размеров и формы зерновок, но и в существенных различиях их структурно-механических свойств.

Весьма ограничено исследовано лабораторное шелушение зерна проса, вследствие чего лаборатории предприятия не оснащены технически эффективными средствами для отделения цветковых пленок. Обсуждение результатов производственно-технических испытаний в сочетании с проведенной нами систематизацией лабораторных данных о достоверности оценки П и И показали, что применяемые шелушители (конструкции Городецкого, ЛШ-I и др.) не отвечают современным требованиям:

- Недостаточна точность определений П и И вследствие значительного дробления (истирания) ядра при шелушении; последнее приводит не только к потере испорченных зерновок, но и к преувеличенной пленчатости в результате образования трудно классифицируемой смеси из высокодиспергированных частиц ядра и измельченных цветковых пленок. Существенное влияние на точность оценки оказывают и механические потери продуктов шелушения. По указанным причинам, судя по данным Бийской МИС Министерства заготовок СССР, занижение фиксируемых значений содержания испорченных зерновок по отношению к действительным достигает 2%, а увеличение показателя пленчатости соответственно - 2,8%.

- Значительна трудоемкость операций шелушения и классификации продуктов разделения из-за низкой степени их механизации и необходимости в связи с этим проведения кропотливых ручных операций. Продолжительность обработки пробы зерна проса массой $5 \cdot 10^{-3}$ кг при применении, например, шелушителя Городецкого составляет около $2,4 \cdot 10^3$ с.

Все это подтверждает актуальность проводимого исследования, а устранение указанных недостатков, наряду с обеспечением других приемлемых показателей качества (надежности, экономичности, эргономических характеристик), должно лечь в основу разработки комплекса требований к созданию технически прогрессивной конструкции лабораторного шелушителя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАБО- РАТОРНОГО ШЕЛУШИТЕЛЯ ЗЕРНА ПРОСА

3. Выбор рабочего органа - шелушителя

Обзор принципов действия и конструктивных решений рабочих органов промышленных шелушителей, как аналогов, сопоставление экспериментальных данных об их эффективности, реальный учет структурно-механических свойств зерновок проса и характера связи их покровных тканей с ядром привели к заключению, что отделение цветковых пленок целесообразно осуществлять посредством приводного механического лабораторного шелушителя с упруго-эластичными (резиновыми) вальцами. Такой шелушитель, аналогичный по физико-технологическому принципу действия широко применяемому в крупяном производстве вальцовому шелушителю модели ЗРД, позволяет при последовательно многократном (поточно замкнутом, или "конвейерном") способе нагружения зерновок нормальными и касательными усилиями (сжатия и сдвига) целесообразно деформировать, разрушать и отделять цветковые пленки с зерновок проса при минимальном нарушении целостности ядра.

4. Элементы механики шелушения зерна проса резиновыми вальцами

Теоретические основы шелушения зерна пленчатых культур

посредством резиновых вальцов разработаны недостаточно. Наиболее значимые работы в этой области выполнены во ВНИЭКИПродмаш Я.М.Жислиным и Б.Н.Гринбергом; отдельные аналитические и технологические подходы изложены в работах А.Я.Соколова, М.Е.Гинзбурга и Н.К.Ройбула.

Основываясь на результатах скоростной киносъемки и микрокопирования, нами предпринята попытка развить теоретические изыскания в этом направлении.

В качестве основных упрощающих допущений при рассмотрении механики процесса шелушения было принято, что зерновка проса, как жесткое сферическое тело, движется преимущественно равномерно по упругой поверхности вальцов. При этом, пренебрегая изменением линейных размеров зерновки при прохождении ею рабочей зоны (рис. I), учитывали лишь геометрические границы очага деформации при внедрении зерновки в поверхность вальцов; не учитывали действие массовых сил, поскольку они по сравнению с силами, действующими на зерновку со стороны вальцов, пренебрежительно малы. Рассматривая двухмерную (плоскую) задачу, совокупность элементарных сил, распределенных в очаге деформации, заменена приложенными к зерновке нормальной силой N ($N = N_{\delta} = N_M$) и тангенциальной силой трения скольжения F ($F = F_{\delta} = f_{\delta}^{тр} N_{\delta} = F_M = f_M^{тр} N_M$). В связи с периодической непродолжительной работой лабораторного шелушителя не учитывали незначительные температурные изменения механических свойств рабочей поверхности вальцов.

Геометрические параметры вальцов при их диаметре $D_{\delta} = D_M = D_0$ и длине L_{δ} таковы: межвальцовый рабочий зазор по линии центров вальцов δ ; углы захвата зерновки (диаметром d_3) - начальный $\beta_0 = \arcsin \cos \frac{D_0 + \delta}{D_0 + d_3}$ и текущий $\beta < \beta_0$; длина пути контакта зерновки с вальцом $L_K = (D_0 + \delta + d_3) \operatorname{tg} \beta_0$.

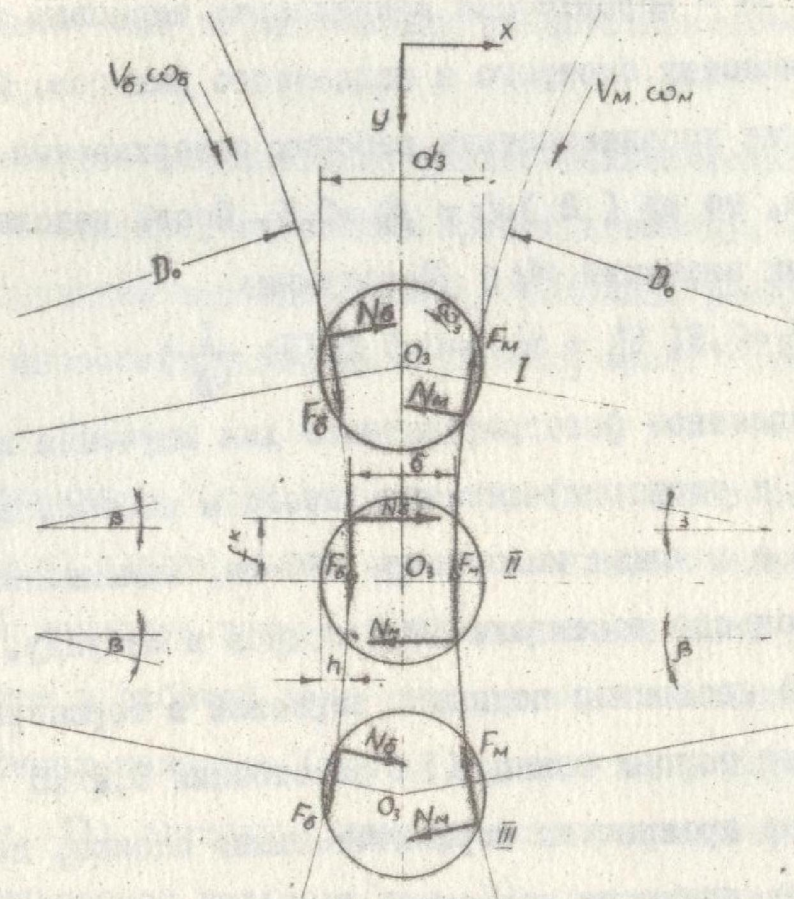


Рис. I. Схема сил, действующих на зерновку проса при ее движении в рабочей зоне валцов

Режим механической обработки зерновок парой валцов обусловлен такими кинематическими параметрами как окружные скорости валцов (V_B и V_M), их отношение ($i_B = \frac{V_B}{V_M}$), разность ($V_p = V_B - V_M$), а также средняя скорость движения зерновки в рабочей зоне (V_3). Выражение для определения величины V_3 найдем, исходя из следующих соображений. Введем вероятностное представление о скорости зерновки. При ее движении в рабочей зоне возможны следующие варианты: закрепление на поверхности быстрого вальца и движение со скоростью V_B ; закрепление на поверхности медленного вальца и движение со скоростью V_M ; попеременное закрепление на поверхности каждого из этих валцов. Скорость зерновки в этом случае можно записать как линейную комбинацию скоростей поверхностей валцов (V_B и V_M):

$$\begin{cases} V_3 = \alpha_B V_B + \beta_B V_M & (1) \\ \alpha_B + \beta_B = 1, & (2) \end{cases}$$

где α_B и β_B — вероятности закрепления зерновки соответственно на поверхностях быстрого и медленного валцов. Поскольку физико-техническая характеристика рабочих поверхностей обоих валцов одинакова, то из (2) $\alpha_B = \beta_B = 0,5$. После подстановки в (1) полученных значений α_B и β_B получим:

$$V_B = 0,5(V_B + V_M) = 0,5 V_B \left(1 + \frac{1}{\epsilon_B}\right). \quad (3)$$

Скоростное фотографирование для изучения характера движения (вида и скорости) зерновок проса в рабочей зоне валцов осуществлено с помощью кинокамеры СКС-1м, максимальная скорость съемки процесса достигала 3800 кадров в секунду. Специальное устройство позволило подавать зерновки в торцовую часть валцов. Параллельно торцам валцов на расстоянии $0,2 \cdot 10^{-3}$ м от них была установлена прозрачная ограничительная стенка, позволяющая фотографировать движение зерновок. Для масштабных измерений на торец вальца была нанесена миллиметровая сетка.

Произведенные киносъемки позволили запечатлеть движение свыше 150 зерновок при постоянных параметрах валцов $D_0 = 42,6 \cdot 10^{-3}$ м, $\sigma = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м, $V_B = 3,65$ м/с и $\epsilon_B = 3,0$. Последующим просмотром и метрическим анализом кинокадров выявлено, что в подавляющем большинстве случаев захват зерновок, которому предшествуют неоднократные и попеременно чередующиеся упругие удары их о поверхности быстрого и медленного валцов, происходит в положении, при котором большая ось зерновок перпендикулярна плоскости торцов валцов. В дальнейшем зерновки перемещаются по одной, контактируя лишь с поверхностью валцов, вид движения зерновок — качение со скольжением.

Статистической обработкой результатов измерений установлено, что скорость зерновок V_B приблизительно равна полусумме окружающих скоростей валцов. Это согласуется с аналитически интер-

претированным нами выше вероятностным представлением о значении этого параметра.

Микроскопическое исследование физико-механических явлений, сопровождающих шелушение, позволило прийти к выводу, что деформирование и разрушение зерновок проса в условиях реализации "конвейерного" способа их путевой обработки носит усталостный характер.

Из рассмотрения условий захвата зерновок проса резиновыми вальцами при $l_8 > 1$ сделан вывод, что минимальная величина D_0 , при которой еще возможен захват зерновок, составляет $3 \cdot 10^{-2}$ м.

Происходящее в рабочей зоне валцов перекатывание зерновки рассмотрено в таких позициях (рис. 1): втягивание зерновки в рабочую зону (поз. I); состояние наибольшего сжатия зерновки и упругого деформирования валцов (поз. II); выталкивание зерновки из рабочей зоны (поз. III). Из условия динамического равновесия зерновки в поз. II при $f^k = f_0^k = f_m^k$ находим, что сила $F = 2 \frac{f^k}{d_3} N$.

Если время перемещения зерновки через рабочую зону $\tau = \frac{L_k}{V_3}$, $P_{ск}$ и $P_{сс}$ — соответственно работы, затрачиваемые в I с на преодоление сопротивлений качения и скольжения зерновки по поверхности валцов, то суммарно потребная работа для перемещения зерновки через рабочую зону будет:

$$R_n = P_{ск} + P_{сс} = N f^k \left[\omega_3 + \frac{D_0 \omega_3}{d_3} + \frac{4}{d_3} (V_3 - V_m) \right] \tau. \quad (4)$$

5. Обоснование минимальной массы пробы для оценки II и И

Для повышения достоверности оценки II и И, наряду с изысканием эффективных лабораторных технических средств для отделения цветковых пленок с зерновок проса, необходимо статистически обосновать минимальную массу представительной пробы зерна, с учетом которой должны изыскиваться рациональные конструктивно-технологич-

ческие параметры лабораторного шелушителя. Исследованиями установлено, что стандартизированная масса пробы недостаточна для достоверной оценки по ней значений Π , а в ряде случаев и Π .

Формирование малой собственно-случайной бесповторной выборки при опробовании зернового материала должно осуществляться так, чтобы возникающая ошибка представительности была минимальной. Это может быть достигнуто только в таких условиях, при которых каждая единица (зерновка) имеет равновероятные возможности быть отобранной в пробу; в дальнейшем исходили из того, что эти условия обеспечивает стандартизированный способ отбора зерновок. В качестве статистической гипотезы было принято и экспериментально подтверждено, что распределение исследуемых характеристических признаков зернового материала (Π и Π) подчинено нормальному закону.

С вероятностно-статистических позиций определение действительного значения Π в контролируемой совокупности зерновок проса базируется на оценке математического ожидания по средней арифметической выборочной величине данного признака. Исходя из этого, получено выражение для расчета минимальной массы пробы G_n , кг:

$$G_n = \frac{A_w \cdot t_{\alpha}^2 \cdot S_n^2}{1000 \epsilon_{\alpha}^2(n, \Pi)}, \quad (5)$$

где A_w — абсолютная масса 1000 случайно отобранных зерновок при их равновесной влажности W ;

t_{α} — критерий Стьюдента, значения которого находятся в зависимости от доверительной вероятности $(1-\alpha)$ и числа степеней свободы вариации $f = n-1$;

S_n — среднее квадратическое отклонение пленчатости отдельных зерновок;

$\epsilon_{\alpha(n, \Pi)}$ — абсолютная случайная погрешность пробоотбора при оценке Π .

Формула (5) может быть упрощена путем замены параметров t_{α} , $\varepsilon_{\alpha(n)}$ и A_w их числовыми значениями-константами. При $1-\alpha=0,95$ и $f > 500$ параметр $t_{\alpha} = 1,96$; расчетное значение $\varepsilon_{\alpha(n)} = 0,16\%$ определено на основании анализа составляющих допустимой погрешности стандартизованного метода оценки П; без риска занижить массу пробы принято $A_w = 7,8 \cdot 10^{-3}$ кг.

Таким образом получено выражение

$$G_n = 1,2 \cdot 10^{-3} S_n^2, \quad (6)$$

из которого следует, что масса пробы находится в прямой зависимости от значения S_n .

По выражению (6) построен график (рис. 2) зависимости G_n от S_n в реальном диапазоне значений S_n . Из него следует,

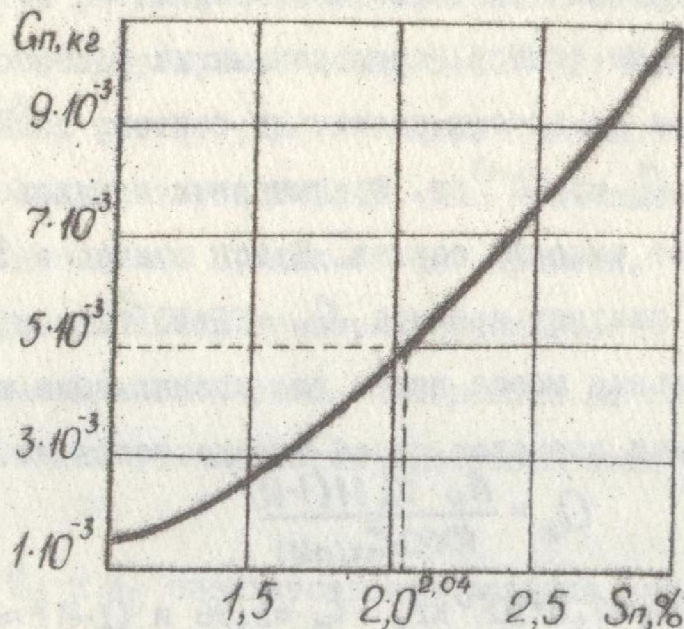


Рис. 2. Зависимость G_n от S_n

что предусмотренная стандартом масса пробы $5 \cdot 10^{-3}$ кг гарантирует надежную оценку П при $S_n \leq 2,04\%$. Для значений S_n , превышающих эту величину, достоверная оценка пленчатости будет достигнута при $G_n = 10 \cdot 10^{-3}$ кг. Приемлемость принятой минимальной массы пробы $5 \cdot 10^{-3}$ и $10 \cdot 10^{-3}$ кг в зависимости от значений S_n экспе-

риментально проверяли при помощи t -критерия Стьюдента.

Опытную величину критерия вычисляли по формуле:

$$t_{оп} = (\bar{П}_1 - \bar{П}_2) \sqrt{\frac{n}{S_{\bar{П}_1}^2 + S_{\bar{П}_2}^2}}, \quad (7)$$

где $\bar{П}_1$ и $\bar{П}_2$ - средние арифметические значений пленчатости сопоставляемых совокупностей из результатов десяти ($n=10$) повторностей опытов соответственно при $G_n = 5 \cdot 10^{-3}$ кг и $10 \cdot 10^{-3}$ кг; $S_{\bar{П}_1}^2$ и $S_{\bar{П}_2}^2$ - дисперсии этих средних. Возможность применения t -критерия при $S_{\bar{П}_1}^2 > S_{\bar{П}_2}^2$ предварительно проверяли по F -критерию Фишера. При $|t_{оп}| < t_T$ ($\alpha = 0,05$, $f = 2n - 2 = 18$) различие между $\bar{П}_1$ и $\bar{П}_2$ несущественно, поэтому $G_n = 5 \cdot 10^{-3}$ кг. Если $|t_{оп}| > t_T$, то в качестве минимальной следует принять $G_n = 10 \cdot 10^{-3}$ кг, причем в этом случае при дальнейшем увеличении массы пробы (например, до $15 \cdot 10^{-3}$ кг) различие средних $\bar{П}_2$ и $\bar{П}_3$, соответствующих $G_n = 10 \cdot 10^{-3}$ и $15 \cdot 10^{-3}$ кг, должно быть несущественным.

Результаты опытов, проведенных на распространенных сортах проса, а также на смесях различных сортов, показали, что в основном величина $G_n = 5 \cdot 10^{-3}$ кг. Исключением явились опыты, в которых оперировали со смесями сортов. Здесь значение S_n ощутимо превышает 2,04% и следует принять $G_n = 10 \cdot 10^{-3}$ кг.

Минимальная масса пробы для оценки доли испорченных в исследуемой смеси зерновок проса определяется из выражения

$$G_{и} = \frac{A_w \cdot t_{\alpha}^2 \cdot И(1-И)}{1000 \cdot \varepsilon_{\alpha}^2(nИ)} \quad (8)$$

или, приняв $A_w = 7,8 \cdot 10^{-3}$ кг, $t_{\alpha} = 1,96$ и $(1-И) \approx 1$, можно получить расчетную формулу

$$G_{и} = 3 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_{\alpha}^2(nИ) И. \quad (9)$$

Зависимость (9) представлена на рис. 3, при этом погрешности $\varepsilon_{\alpha}(nИ)$ для ряда интервальных значений $И$ приняты постоянными, исходя из анализа составляющих стандартизированных величин допустимых погрешностей метода оценки $И$.

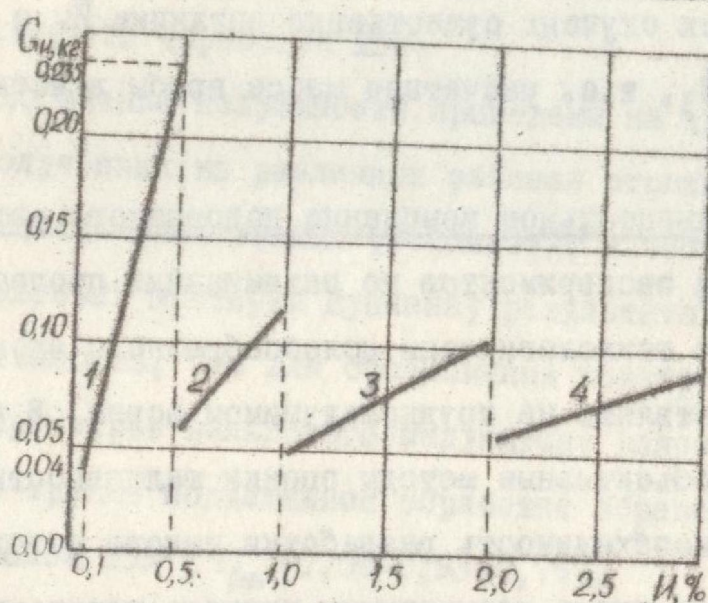


Рис. 3. Зависимость G_n от I . Значение $\epsilon_{\alpha(пн)}\%$:
 1 - 0,08; 2 - 0,16; 3 - 0,24; 4 - 0,32

Как видно из рис. 3, во всем диапазоне значений I масса пробы превышает стандартную величину $5 \cdot 10^{-3}$ кг; максимальная ее величина $235 \cdot 10^{-3}$ кг при $I=0,5\%$, а минимальная проба массой $40 \cdot 10^{-3}$ кг, что соответствует $I=0,1\%$, или наименьшей допустимой погрешности метода оценки I , как сорной примеси.

При экспериментальной проверке правильности расчетных значений минимальной массы пробы, выбираемой по графику (рис. 3), был также использован t -критерий существенности различий средних.

Пусть \bar{Y}_1 , \bar{Y}_2 и \bar{Y}_3 соответственно средние арифметические содержания испорченных зерновок проса из $n=10$ результатов равноточных повторностей опытов, проведенных с массой пробы соответственно расчетной величины, меньше и больше расчетной на $10 \cdot 10^{-3}$ кг; $S_{\bar{Y}_1}^2$, $S_{\bar{Y}_2}^2$ и $S_{\bar{Y}_3}^2$ - дисперсии этих средних. При парном сравнении \bar{Y}_1 с \bar{Y}_2 и \bar{Y}_1 с \bar{Y}_3 в первом случае различие должно быть существенным, во втором - несущественным; в подтверждении этого

В. О. 124 99

и заключалась сущность опытной проверки. Экспериментами установлено, что во всех случаях существенно различие \bar{Y}_1 и \bar{Y}_2 и несущественно \bar{Y}_1 и \bar{Y}_3 , т.е. расчетная масса пробы действительно минимальная.

6. Экспериментальное изыскание подопытного материала

Постановку экспериментов по оптимизации процесса отделения цветковых пленок технологически целесообразно и экономически рационально осуществлять на трудношелушимом зерне. В настоящее время отсутствуют объективные методы оценки шелушимости зерна проса; это обусловило необходимость разработки такого метода.

При большом числе возмущающих процесс шелушения взаимозависимых факторов показатель шелушимости наиболее достоверно может быть определен только по результатам непосредственных испытаний (шелушения) представительных образцов зерна проса. Для этих целей был применен разработанный автором механический шелушитель ШП, являющийся модифицированным вариантом устройства для шлифования проб зерновых культур. В таком шелушителе сравнительная оценка эффективности обработки различных по структурно-механическим свойствам образцов проса осуществляется в равнозначных условиях воздействия рабочих органов на зерно.

Статистически обоснована масса представительной технологической пробы для оценки шелушимости зерна проса $G_{ш} = 50 \cdot 10^{-3}$ кг. Базируясь на обобщении результатов исследования и производственных испытаний шелушительных машин, в качестве критериев для оценки эффективности процесса приняты коэффициенты шелушения $K_{ш}$ и цельности ядра $K_{ц.я.}$, а также обобщенный критерий эффективности шелушения

$$\eta_{ш} = K_{ш} \cdot K_{ц.я.}$$

Технологически приемлемый режим отделения цветковых пленок в устройстве ШП определен при частоте вращения бича 160 с^{-1} (в связи с незначительной мощностью приводного электродвигателя контрс-

лировался магнитоэлектрическим методом с помощью осциллографа) и продолжительности обработки 15с.

Опыты по оценке шелушимости проведены на двадцати образцах проса, полученных из различных районов страны. Сопоставление статистически обработанных (используя, в частности, множественный ранговый критерий Дункана) результатов определений позволило установить, что для обоснования конструктивно-технологических параметров вальцового шелушителя целесообразно выбрать наиболее трудно поддающийся обработке образец зерна проса сорта Саратовское 853 ($\eta_{ш} = 0,81 \cdot 0,93 = 0,75$).

7. Оптимизация шелушения зерна проса малогабаритными резиновыми вальцами

Основной задачей данной стадии исследований явилось экспериментальное изыскание технологически рационального сочетания управляющих параметров процесса шелушения зерна проса на резиновых вальцах, при котором полное отделение цветковых пленок осуществлялось бы при несущественном дроблении ядра.

Из обзора опубликованных научных работ и результатов испытаний шелушителей зерна проса следует, что наряду с структурно-механическими свойствами обрабатываемого зерна, эффективность процесса обуславливают геометрические и физико-технические параметры рабочего органа, режимы обработки — загрузочный и кинематический. Кроме того, на этот многофакторный процесс оказывают влияние возмущения, случайным образом распределенные во времени.

Получение наиболее полной и достоверной информации о процессе шелушения на резиновых вальцах базировали на использовании метода планирования экстремальных экспериментов. Такой метод позволяет формализовать связи между входными и выходными

параметрами рабочего процесса в виде экспериментально-статистических (математических) описаний. Произведя анализ последних и вычисление статистики для проверки гипотез, возможно в последующем, с учетом специфики проводимого исследования, устанавливать условия, при которых рабочий процесс наиболее полно удовлетворяет критериям оптимальности в ограниченно дискретной области их применения.

Обобщая априорную эксплуатационно-техническую информацию о конструктивных параметрах, наиболее существенно влияющих на эффективность процесса шелушения зерна проса в упруго-деформируемой рабочей зоне, создаваемой резиновыми вальцами, к основным факторам отнесены: начальный диаметр вальцов D_0 , межвальцовый рабочий зазор по линии центров вальцов δ , отношение окружных скоростей вальцов i_{δ} , окружная скорость быстрого вальца V_0 , удельная массовая подача зерна к приемному фронту q и твердость резины вальцов Tr . Факторы D_0 , i_{δ} , V_0 и Tr отнесены к установочным, а следовательно, нерегулируемым; факторы δ и q , непосредственно оказывающие управляющее воздействие на режим шелушения, должны быть оперативно регулируемы.

Одним из требований к совокупности факторов является их корреляционная независимость, т.е. возможность установить любой фактор на необходимом уровне, независимо от уровней других факторов. При назначении приведенных в таблице целесообразных (с позиций полноты исследований) уровней факторов оказалось практически невозможным осуществить сочетания q и i_{δ} на верхнем, а V_0 и δ на нижнем уровнях, поскольку, как показали пробные опыты, недостаточной становится пропускная способность вальцов Q_{δ} . Это можно объяснить тем, что $Q_{\delta} = \Phi(V_3)$, а $V_3 = \Phi(V_0, i_{\delta})$.

В связи с этим исследования были проведены в два этапа. На первом этапе в план многофакторного эксперимента были включены независимые совместимые факторы — D_0 , σ , i_0 и q ; скорость V_0 поддерживали постоянной, равной 3,5 м/с. На втором этапе по плану однофакторных экспериментов оптимизировали величину V_0 при найденном на первом этапе рациональном сочетании значений D_0 , i_0 , σ и q . При всех исследованиях значение T_r было постоянным (равно $0,13 \cdot 10^{-2}$ м по твердомеру ТШМ-2), поскольку валцы изготовлены из пищевой резины на основе натурального каучука по ГОСТ 7338-65.

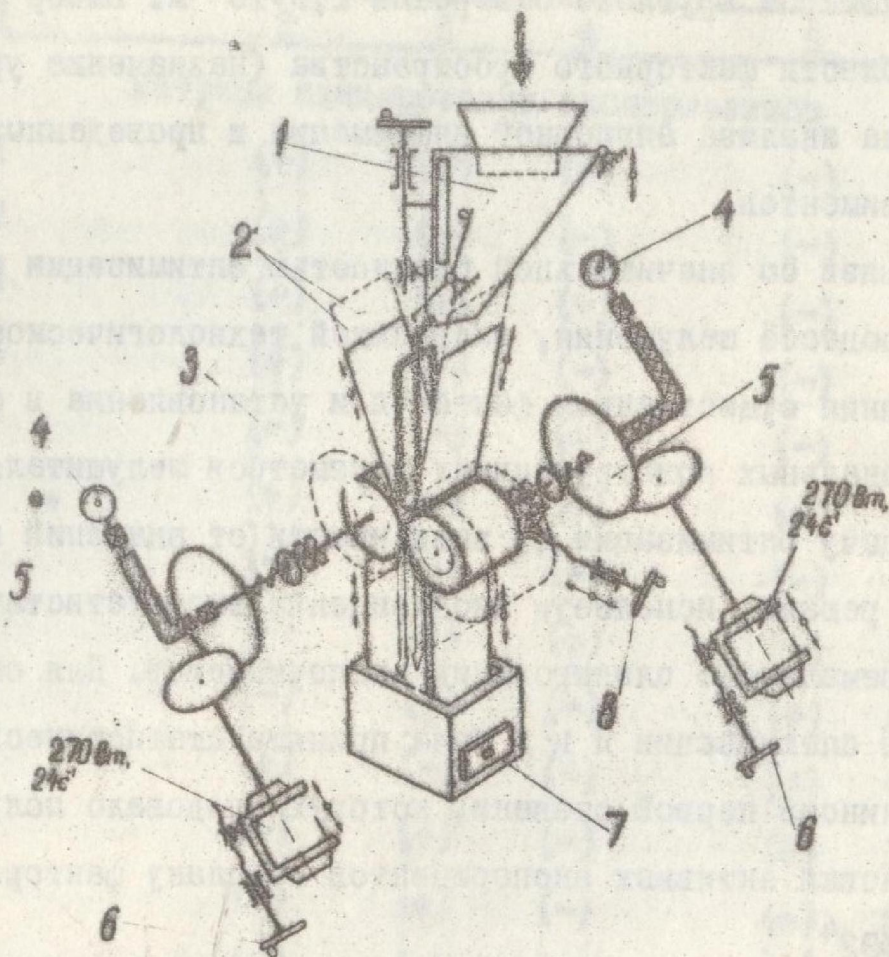


Рис. 4. Функциональная схема экспериментального лабораторного шелушителя зерна проса:
 1—бункерный питатель; 2— направляющие; 3— валцы; 4— тахометры; 5— привод валцов; 6— механизм регулирования частоты вращения валцов; 7— сборник; 8— механизм изменения межвалцового рабочего зазора

I этап. Для проведения исследований был сконструирован экспериментальный шелушитель (рис. 4), в котором предусмотрена возможность установочного и оперативного варьирования геометрических, кинематических и загрузочных параметров, предопределяющих характер и интенсивность силового и временного воздействия валцов на обрабатываемое зерно.

В качестве неконтролируемых выходных параметров — критериев, которые объективно и статистически эффективно оценивают полноту и точность шелушения, были избраны недообрушивание N и дробление D , характеризуемое проходом решетного полотна с номинальным размером круглого отверстия $1,5 \cdot 10^{-3}$ м. Выбор экспериментальной области факторного пространства (назначение уровней) базировали на анализе априорной информации и проведенных отсеивающих экспериментов.

В связи со значительной сложностью оптимизации многофакторного процесса шелушения, включающей технологическое исследование влияния существенных факторов и установление в связи с этим рациональных конструктивных параметров шелушителя, поставленную задачу оптимизации (в зависимости от значений входных факторов) решали, используя экспериментально-статистические методы экстремального планирования экспериментов. Для описания параметров оптимизации N и D была принята статистическая модель в виде полинома первой степени, которую следовало получить путем постановки активных экспериментов по плану факторного эксперимента ПФЭ⁴.

Для исключения влияния неконтролируемых факторов последовательность опытов рандомизирована по таблице случайных чисел. В каждом опыте значение N и D определяли при $n_{\alpha} = 5$ — количестве последовательных циклов силового нагружения зерновок валцами. Матрица планирования и результаты экспериментов приведены в

таблице.

Натуральные значения входных факторов	$D_0, м$	l_0	$\sigma^2, м$	$q, кг/сс.м$	Значения выходных параметров, %	
Основной уровень	$60 \cdot 10^{-3}$	2,5	$0,3 \cdot 10^{-3}$	0,2	Н	Д
Верхний уровень	$90 \cdot 10^{-3}$	3,5	$0,5 \cdot 10^{-3}$	0,35		
Нижний уровень	$30 \cdot 10^{-3}$	1,5	$0,1 \cdot 10^{-3}$	0,05		
Интервал варьирования	$30 \cdot 10^{-3}$	1,0	$0,2 \cdot 10^{-3}$	0,15		
Кодовые обозначения	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
I	2	3	4	5	6	7

Матрица планирования экспериментов

№ ОПЫТОВ	I	(-)	(-)	(-)	(-)	87,13	0,22
	2	(+)	(-)	(-)	(-)	34,32	0,33
	3	(-)	(+)	(-)	(-)	18,67	0,30
	4	(+)	(+)	(-)	(-)	14,60	0,47
	5	(-)	(-)	(+)	(-)	89,44	0,08
	6	(+)	(-)	(+)	(-)	38,91	0,26
	7	(-)	(+)	(+)	(-)	42,65	0,19
	8	(+)	(+)	(+)	(-)	34,65	0,36
	9	(-)	(-)	(-)	(+)	62,47	0,26
	10	(+)	(-)	(-)	(+)	41,79	0,44
	11	(-)	(+)	(-)	(+)	30,11	0,40
	12	(+)	(+)	(-)	(+)	24,83	0,48
	13	(-)	(-)	(+)	(+)	92,96	0,15
	14	(+)	(-)	(+)	(+)	78,32	0,28
	15	(-)	(+)	(+)	(+)	41,83	0,25
	16	(+)	(+)	(+)	(+)	38,73	0,39

Для каждого выходного параметра получена функция отклика в кодированных значениях переменных выходных параметров:

$$Y_1 = 48,21 - 9,94x_1 - 17,45x_2 + 8,97x_3 + 3,17x_4 + 7,39x_1x_2 + 4,48x_1x_4 + 2,61x_3x_4 - 4,02x_1x_2x_4 - 4,91x_2x_3x_4, \quad (10)$$

$$Y_2 = 0,30 + 0,07x_1 + 0,05x_2 - 0,06x_3 + 0,03x_4. \quad (11)$$

Статистический анализ уравнений заключался в проверке однородности выборочных дисперсий по критерию Кохрена, в расчете дисперсий воспроизводимости для оценки значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента, в исключении из уравнений незначимых коэффициентов. Полученные уравнения адекватно описывают процесс, поскольку при уровне значимости $\alpha = 0,05$ расчетные величины критерия Фишера меньше табличных, а следовательно, гипотеза об однородности дисперсий принимается.

Анализируя уравнение (10), можно заключить, что недообрушивание уменьшается с увеличением D_0 и l_B и, наоборот, возрастает с увеличением δ и q . В наибольшей степени Π зависит от l_B , а затем от D_0 , δ и q . Из линейного уравнения (11) следует, что величина дробления находится в прямой зависимости от D_0 , l_B и q и в обратной — от δ . При этом наибольшее влияние оказывает значение D_0 и далее δ , l_B и q . В сравнении с остальными факторами малозначимо влияние на Π и D величины q в принятых пределах ее варьирования. Примечательно также различное влияние на принятые критерии эффективности процесса шелушения одних и тех же входных факторов (за исключением q).

Графическим представлением и обсуждением полученных статистических моделей с последующим экспериментальным выбором в условиях максимального "конвейерного" шелушения наиболее рационального сочетания входных факторов установлено, что возмущения, вносимые в процесс шелушения при установочных значениях

$$D_0 = 42,6 \cdot 10^{-3} \text{ м} \quad \text{и} \quad l_B = 1,7, \quad \text{наиболее целесообразно компенси-$$

руются воздействием оперативно регулируемых факторов, принимая исходный уровень последних $\sigma^* = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $q = 0,35 \text{ кг/(с.м)}$.

II этап. Для обоснования оптимальной величины V_6 опытная установка обеспечила возможность варьировать скорость быстрого вальца с шагом 1 м/с в выбранном интервале 1 - 10 м/с при постоянных значениях $D_0 = 42,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\sigma^* = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $i_6 = 1,7$ и $q = 0,35 \text{ кг/(с.м)}$. Шелушение осуществляли "конвейерным" способом до полного отделения цветковых пленок со всех зерновок представительной пробы массой $50 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$. Перед каждым последующим направлением обрабатываемого продукта на вальцы отделенные пленки выделяли на лабораторном пневмокласификаторе. Эффективность шелушения оценивали двумя показателями - суммарным дроблением D_0 и числом циклов нагружения зерновок вальцами n_4 .

Предварительно были поставлены опыты по определению эффекта "гашения" скорости нешелушенных и ошелушенных зерновок, выходящих из рабочей зоны. Из их результатов следует, что покрытие стенок сборника продуктов шелушения листовой резиной исключило разрушение зерновок вследствие косых, не вполне упругих, многократных ударов о внутреннюю поверхность сборника, а следовательно, и искажение оценки влияния V_6 на процесс шелушения зерновок непосредственно вальцами. Исходя из экспериментально подтвержденной нормальности распределения полученных экспериментальных значений D_0 и n_4 , произведен дисперсионный анализ, который заключался в проверке однородности выборочных дисперсий по G - критерию Кохрена, в оценке показателей силы влияния ($\eta_{\text{ф}}^2$) и достоверности (F_8) фактора V_6 .

При уровне значимости $\alpha = 0,05$, количестве уровней фактора $K=10$ и числе степеней свободы $f = n - 1 = 2$ табличная величина G -критерия (G_T) равна 0,44. Опытные значения критерия ($G_{\text{ср}}$)

при оценке D_c и $n_{ц}$ составили соответственно 0,23 и 0,24. Так как в обоих случаях $G_{оп} < G_r$, то гипотеза об однородности выборочных дисперсий не отвергается.

Из последующего дисперсионного анализа получили, что показатели силы влияния фактора V_B достаточно велики, поскольку значение $\eta_{ф}^2$ близко к предельному — к единице. Влияние фактора V_B на эффективность шелушения достоверно с вероятностью 0,95, что следует из того, что полученные экспериментальные значения F — критерия при $f = k - 1 = 9$ для факториальной дисперсии и $f = k(n - 1) = 20$ для случайной дисперсии намного больше табличного — значения $F = 2,4$.

Графически зависимости D_c и $n_{ц}$ от V_B приведены на рис. 5.

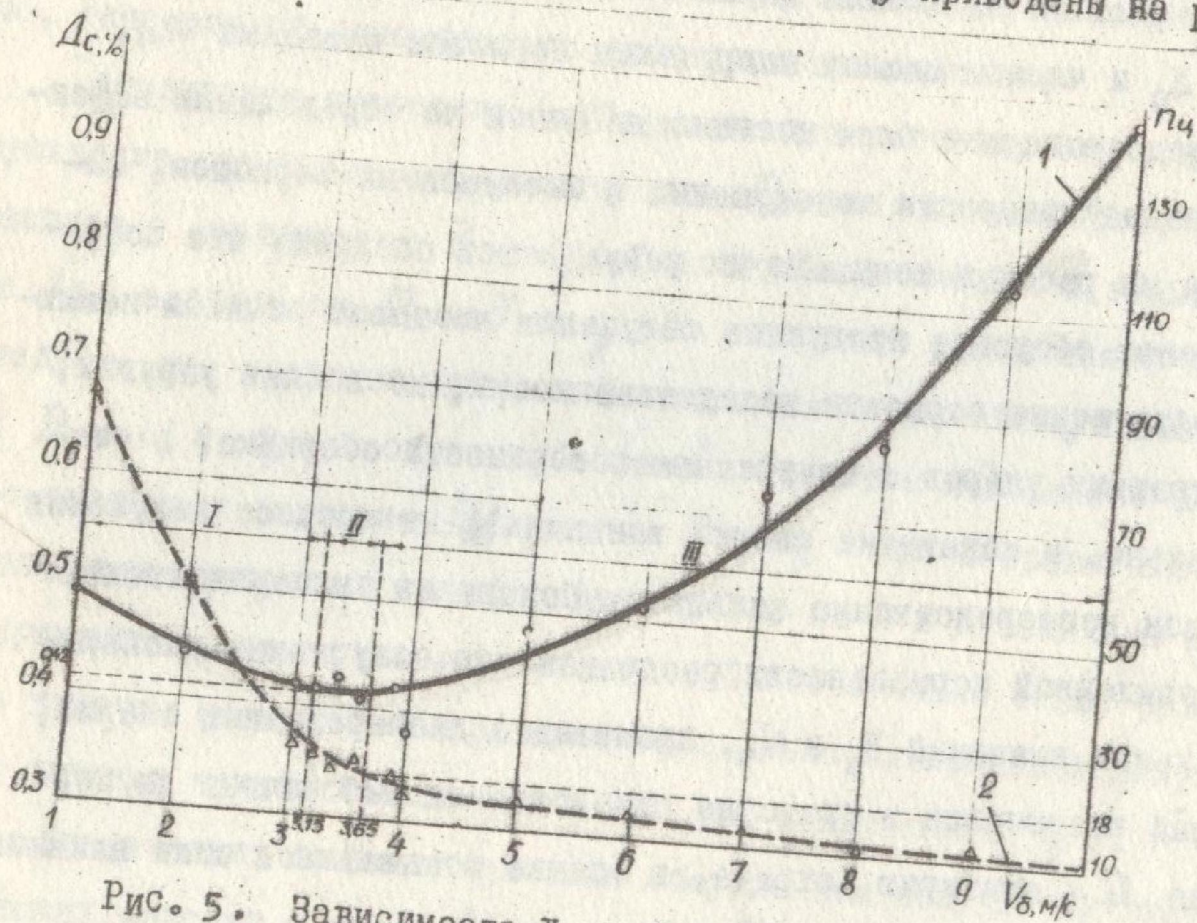


Рис. 5. Зависимость D_c и $n_{ц}$ от V_B :
 I — $D_c = f(V_B)$; 2 — $n_{ц} = \Phi(V_B)$

Обе кривые для совместного рассмотрения разбиты в направлении увеличения скорости на три участка (обозначены на графике римски-

ми цифрами I, II, III).

Особенностью участка I ($V_B = 1,0 + 3,15$ м/с) является уменьшение величины D_C , несмотря на увеличение скорости, а также относительно высокие, особенно в начале участка, значения показателя N_{II} . Это обусловлено тем, что на данном участке преобладающим является истирание зерновой вследствие их многократного пропускания через вальцы. Косвенно последнее подтверждает гранулометрически анализ продукта, относимого к дробленому: около 80% продукта представляет высокодиспергированные частицы эндосперма.

На участке II с увеличением V_B от 3,15 до 3,65 м/с изменения величины D_C практически не происходит ($D_C = 0,42\%$), а значения N_{II} заметно снижаются.

При $V_B > 3,65$ м/с (участок III) при весьма незначительном снижении N_{II} происходит резкое увеличение D_C . Следовательно, обозначенный на участке III кинематический режим вальцов неприемлем.

Таким образом, можно заключить, что технологически рациональное соотношение между V_B , D_C и N_{II} наблюдается на участке II, причем наиболее целесообразна скорость $V_B = 3,65$ м/с, при которой без изменения величины D_C можно принять $N_{II} = 18$.

8. Исследование эффективности аэромеханической классификации продуктов "конвейерного" шелушения зерна проса

По результатам проведенной с помощью пневматического устройства модели КСП-I аэромеханической классификации продуктов шелушения зерна проса установлена возможность достижения достаточно высокой эффективности отделения цветковых пленок.

Из рассмотрения основных факторов, влияющих на эффективность аэромеханического разделения двухкомпонентных смесей, обсуждение отечественных и зарубежных конструктивных решений устройств для выделения из зернового материала аэродинамически легких частиц,

а также ⁴³сочетаний рациональной компоновки, выбран вариант пневмосепаратора, присоединенного к лабораторному шелушителю (рис. 7). В нем аэромеханическая классификация продуктов шелушения осуществляется в наклонном канале прямоугольного сечения под действием воздушного потока, находящегося под избыточным давлением. Ввод продуктов разделения в пневмосепарирующий канал гравитационный (свободный), в качестве осаждающего устройства использован центробежный разгрузитель.

Аналитическое решение задачи определения оптимальных условий разделения зерновых смесей представляет большую трудность в связи со сложностью явлений, сопровождающих этот процесс. Аэромеханическое сепарирование зернопродуктов осуществляется в условиях стесненного движения частиц, геометрические и физико-технические свойства которых весьма изменчивы, а взаимодействие частиц между собой с воздушным потоком и конструктивными элементами пневмоканала в выполняемой операции носит стохастический характер. Эти особенности затрудняют возможность построения статистической модели процесса, а поэтому в такой ситуации основное значение приобретают экспериментальные методы исследований. В условиях влияния на эффективность аэромеханического сепарирования большого числа взаимозависимых факторов целесообразно детерминированно (относительно жестко) фиксировать один из них, наиболее существенный. В качестве такого фактора выбрана осредненная по сечению пневмоканала, не загруженного зерном, скорость воздушного потока V_n .

Технологически необходимо, чтобы классификация смеси продуктов шелушения проса в процессе "конвейерной" обработки просы зерна обеспечивала возможно более высокую степень отделения цветковых пленок после каждого из циклов нагружения зерновой вальца-

ми, а также максимальное их отделение без уноса частиц ядра в результате всех циклов.

На сконструированной установке, с помощью которой определяли оптимальное значение V_n , исследование осуществляли в относительно трудных условиях пневмосепарации, которые соответствовали верхнему уровню значений фактора $Q = 0,35$ кг/(с·м) и максимально возможному содержанию в классифицируемых за один пропуск продуктах шелушения цветковых пленок P_{max} . Значение $P_{max} = 8\%$ найдено с учетом экспериментальных данных при интенсивной обработке относительно легко шелушимого образца зерна проса сорта Омское 9. Опыты проводили при постепенном увеличении величины V_n в интервале от 2,0 до 5 м/с с шагом 0,5 м/с. Эффективность однократной аэромеханической сепарации оценивали по содержанию в выделенных цветковых пленках частиц ядра ($Я_n, \%$) и по относительному извлечению цветковых пленок $E_{эф}$. Из обсуждения полученных результатов (представлены в диссертации в виде таблицы и технолог^{го}грамм) выявлено, что существенный унос частиц ядра с цветковыми пленками начинается при $V_n = 5$ м/с ($E_{эф} = 70,1\%$). На этом основании предшествующая этой величине скорость $V_n = 4,5$ м/с выбрана в качестве технологически рациональной, при этом $E_{эф} = 61,3\%$. Приемлемость выбранного значения скорости V_n при "конвейерной" обработке подтверждена экспериментально. Установлено, что максимальное выделение цветковых пленок совпадает с последним циклом шелушения зерновок, а частицы ядра в выделенных цветковых пленках практически отсутствуют ($Я_n \approx 0,02\%$).

Обоснованные проведенными исследованиями основные конструктивно-технологические предпосылки реализованы в лабораторном шелушителе модели ГДФ, разработка которого (в порядке внедрения изобретения) при непосредственном участии автора диссертации осуществлена Центральным конструкторско-технологическим бюро Бессонова.

ного научно-исследовательского института зерна.

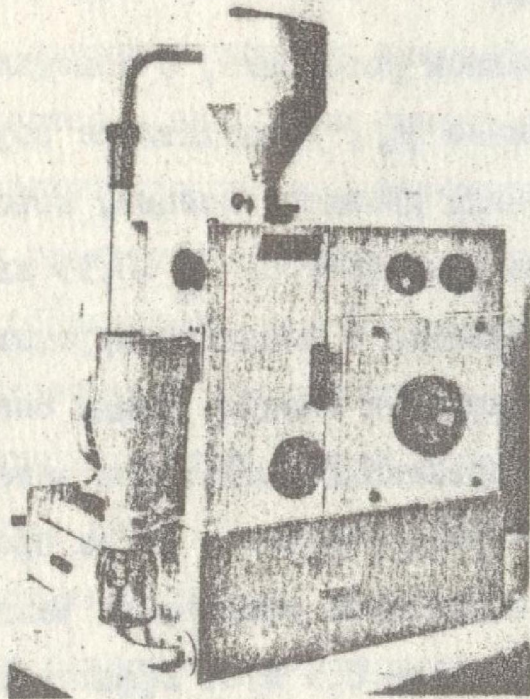


Рис. 6. Общий вид шелушителя ГДФ

На рис. 6 и 7 приведены соответственно общий вид и технологическая схема устройства ГДФ. Обработка зерновок проса в шелушителе заключается в многоциклическом (в процессе рециркуляции пробы) силовом нагружении их вальцами с отвеиванием после каждого цикла нагружения отделенных от ядра цветковых пленок. Рециркуляцию продукта ведут до максимального разделения классифицируемых продуктов шелушения.

Результаты экспериментальной оценки совокупного действия рабочих органов ГДФ, представленные в диссертации в виде табличных данных, а также графических зависимостей и технолог^{го}грамм, показали высокую степень приближения к номинальным действительных значений принятых критериев — суммарного дробления ($D_c, \%$) и образования мелкой фракции дробленого ядра ($D_m, \%$), недообрушивания ($H, \%$), содержания частиц ядра в отвеиванных цветковых пленках ($Y_n, \%$) и недоизвлеченных цветковых пленок в ядре ($P_n, \%$), общих потерь продуктов шелушения ($\chi_o, \%$) и испорченных зерновок ($\chi_u, \%$).

Продолжительность обработки (t_0, c) в устройстве ГДФ зависит от массы и шелушимости пробы. Время отделения цветковых пленок с зерновок проса, например, пробы сорта Саратовское 853 массой $5 \cdot 10^{-3}$ кг составляет 85 с.

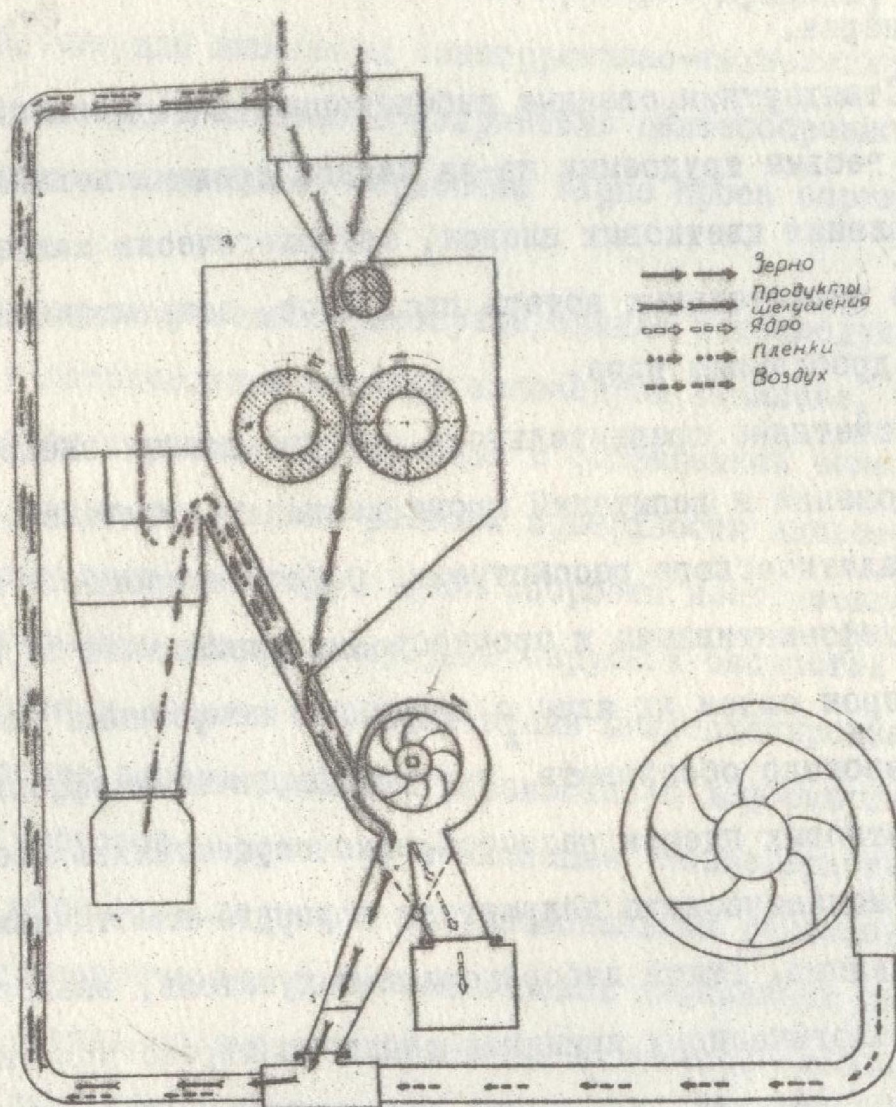


Рис. 7. Шелушитель ГДФ. Технологическая схема

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Достоверная оценка пленчатости проса (П,%) и содержания в нем испорченных зерновок (И,%), являясь важной предпосылкой рациональной организации и интенсивного ведения технологического процесса производства крупы, необходима для объективного технико-экономического обоснования возможного количественно-качественного уровня продовольственного использования природных ресурсов зерна.

2. Стандартизированные лабораторные методы оценки значений П и И весьма трудоемки из-за низкой степени механизации операций отделения цветковых пленок, технологически малоэффективны вследствие значительных потерь продуктов, сочетающихся со значительным дроблением ядра.

3. Сочетание сравнительного анализа данных экспериментальных исследований и испытаний промышленных шелушителей крупяного зерна и аналитического рассмотрения рабочего процесса шелушения в связи с деформативными и прочностными свойствами зерновок проса, характером связи их ядра с наружными покровными тканями — все это позволило обосновать, что технологически эффективное отделение цветковых пленок целесообразно осуществлять посредством приводного механического шелушителя с упруго-эластичными (резиновыми) вальцами. Такой лабораторный шелушитель, аналогичный по физико-технологическому принципу действия широко применяемому в крупяном производстве вальцовому станку модели ЗРД, позволяет при последовательно многократном (поточно-замкнутом, или "конвейерном") способе нагружения зерновок нормальными и касательными усилиями (сжатия и сдвига) рационально деформировать, разрушать и отделять цветковые пленки зерновок проса при минимальном нарушении целостности ядра.

4. Предложена и экспериментально обоснована методика количественно-качественной оценки "шелушимости" зерна проса, выбран однозначный критерий, объективно характеризующий эффективность отделения цветковых пленок от ядра, разработано механическое устройство для обработки зерна в этих целях. Произведенные комбинационные сопоставления статистически обработанных данных о шелушимости образцов двадцати сортов и смесей проса (используя, в частности, множественный ранговый критерий Дункана) позволили установить, что для изыскания конструктивно-технологически приемлемых параметров вальцового шелушителя целесообразно выбрать наиболее трудно поддающееся обработке зерно проса сорта Саратовское 853.

5. Путем скоростного фотографирования и последующего просмотрового и метрического анализа кинокадров выявлено, что преобладающим видом перемещения зерновок в сопряженной зоне пары вальцов по их упруго-податливой рабочей поверхности является качение с проскальзыванием при осредненной скорости поступательного движения, приближенно равной полусумме окружных скоростей вальцов. На этой основе и в связи с результатами микроскопирования рассмотрены физические основы процесса усталостного деформирования и разрушения зерновок в условиях реализации "конвейерного" способа путевой обработки зерновок при рациональных технологических значениях геометрических и кинематических параметров вальцов.

6. Опираясь на выборочные методы и критерии согласия, применяемые в прикладной статистике, а также на правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения по совокупности независимо полученных величин Π и И , установлено, что стандартизированная масса пробы для определений И и в ряде случаев Π не удовлетворяет требованиям репрезентативности; рекомендуемые же на базе проведенных исследований статис-

тические подходы для расчета или номографического нахождения минимальной массы пробы позволяют с достаточно высокой точностью и надежностью оценивать эти технологически важные показатели.

7. Поэтапно оптимизирован многофакторный процесс "конвейерного" шелушения зерна проса малогабаритными резиновыми вальцами. Использование на первом этапе методов экстремального планирования экспериментов позволило при значениях входных факторов $V_{\delta} = const$ и $n_{\mu}=5$ выявить характер и степень существенности влияния на выходные параметры недообрушивание (Н) и дробление (Д) таких факторов как начальный диаметр (D_0), межвальцовый рабочий зазор по линии центров (δ^*), отношение окружных скоростей (i_{δ}), удельная массовая подача зерна к приемному фронту вальцов (q). Графическим представлением и обсуждением полученных на первом этапе адекватных статистических моделей (в виде уравнений регрессии) с последующим экспериментальным выбором наиболее рационального сочетания входных факторов установлено, что возмущения, вносимые в процесс шелушения при установочных значениях $D_0=42,6 \cdot 10^{-3}$ м и $i_{\delta}=1,7$, наиболее целесообразно компенсируются воздействием оперативно-регулируемых факторов, принимая исходный уровень их $\delta^*=0,3 \cdot 10^{-3}$ м и $q=0,35$ кг/(с·м). На втором этапе по плану однофакторных экспериментов, с использованием дисперсионного анализа, исследовано влияние окружной скорости быстрого вальца (V_{δ}) на эффективность шелушения; установлено, что технологически рационально значение $V_{\delta}=3,65$ м/с.

8. Основываясь на результатах проведенного исследования, установлена возможность достижения достаточно высокой эффективности отделения цветковых пленок в процессе аэромеханической классификации продуктов шелушения зерна проса. В связи с этим выбран конструктивный вариант пневмосепаратора, встроеного в лаборатор-

ный шелушитель, экспериментально обоснована необходимость поддержания в незагруженном зерном поперечном сечении канала осредненной скорости воздушного потока $V_{п} \approx 4,5$ м/с.

9. Обоснованные исследованиями определяющие конструктивно-технологические параметры вальцового шелушителя и аэромеханического классификатора реализованы в устройстве модели ГДФ, разработка которого в порядке внедрения изобретения по авторскому свидетельству № 207707 "Устройство для шелушения зерна пленчатых культур и отделения пленок" при непосредственном участии автора диссертации осуществлена ЦКТБ ВНИИЗ. Результаты экспериментальных и производственно-технологических испытаний опытных образцов шелушителей модели ГДФ и их образцов из установочной серии показали при оценке значений Π и \mathcal{H} , что высока степень приближения к номинальным действительных значений суммарного дробления ($D_c, \%$) и образования мелкой фракции дробленого ядра ($D_m, \%$), недообрушивания ($\mathcal{H}, \%$), содержания ядра в аэромеханически отделенных цветковых пленках ($\mathcal{Y}_п, \%$) и недоизвлеченных цветковых пленок в ядре ($\mathcal{P}_я, \%$), общих потерь продуктов шелушения ($\mathcal{K}_o, \%$) и испорченных зерновок ($\mathcal{K}_и, \%$), а также продолжительности обработки пробы (t_o, c).

10. По данным производственных испытаний Бийской МИС Министерства заготовок СССР основные достоинства шелушителя ГДФ, в сравнении с ранее применявшимися для аналогичных целей техническими средствами, проявляются не только в более достоверной оценке Π и \mathcal{H} , но также в быстродействии, значительно сокращающем время шелушения и классификации продуктов обработки. По данным Ростовской машиноиспытательной станции Министерства заготовок СССР годовая экономия за счет повышения производительности труда при использовании шелушителей ГДФ составляет ~ 115 тыс. рублей.

В соответствии с приказами по Министерству заготовок СССР (№7, 1972г.; № 54, 1973г.; № 45, 1974 г.) организовано серийное изготовление лабораторных шелушителей ГДФ и они широко внедряются на крупозаводах страны, к концу 1974 года их будет выпущено свыше 500 экземпляров.

В 1972 году устройство ГДФ экспонировали на ВДНХ СССР, а автор, в числе других участников его создания и внедрения, удостоен серебряной медали Выставки.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в соавторстве в следующих статьях:

1. К оптимизации шелушения проса малогабаритными резиновыми вальцами. Известия высших учебных заведений СССР. Пищевая технология, 1973, № 5.

2. Оптимальная окружная скорость быстровращающегося резинового вальца в лабораторном шелушителе зерна проса. Сб. "Хранение и переработка зерна", серия "Мукомольно-крупяная промышленность". М., ЦНИИТЭИ Минзага СССР, 1974, № 2.

3. Обоснование массы пробы для оценки пленчатости и содержания испорченных зерновок проса. Известия высших учебных заведений СССР. Пищевая технология, 1974, № 4.

4. Лабораторный вальцовый шелушитель для проса. Журн. "Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность", 1974, № 9.

По теме диссертации в соавторстве получены свидетельства на изобретения:

1. Устройство для шелушения зерна пленчатых культур и отделения пленок. Авторское свидетельство № 207707. Бюллетень Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки", 1967, № 2.

2. Устройство для шлифования проб зерновых культур. Авторское свидетельство № 366879. Бюллетень "Открытия, изобретения, промышленные образцы и товарные знаки", 1973, № 8.

Результаты исследования доложены:

1. На XXXIII и XXXIV научных конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова (1972, 1974 гг.).

2. На расширенном (с участием представителей ЦКТБ ВНИИЗ и Миргородского крупозавода) заседании Технического совета Миргородской машиноиспытательной станции Министерства заготовок СССР (апрель 1974 года).