

Авторефер.
Д 81

Одесский технологический институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

ДУДАРЕВ Иван Романович

УДК 664.726.9.002.5

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССОВ И СОЗДАНИЕ МАШИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕРНА

Специальность 05.13.12 -
процессы, машины и агрегаты пищевой промышленности

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Одесса - 1989

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

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Е.М.Мельников;
доктор технических наук,
профессор Н.В.Остапчук;
доктор технических наук
А.Б.Демский

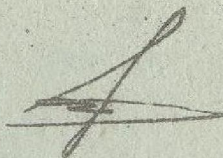
Ведущая организация - Республиканское производственное
объединение Латхлебопродуктов, г.Рига

Защита состоится "25" апреля 1990 г. в 10³⁰ часов
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при
Одесском технологическом институте пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова, 270039, г.Одесса, ул.Свердлова, 112

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности им.М.В.Ло-
моносова.

Автореферат разослан "14" марта 1990 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент



Е.Г.Кротов

с 016677

11

ОНАХТ 27.07.11
Научно-технические о



v016677

Авторы
ЛНА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Возрастающее производство зерна и его разноплановое применение для пищевых и кормовых целей определяют необходимость разработки новой высокоэффективной техники и технологии, направленных на рациональное использование сырья, совершенствование процессов выработки готовой продукции высокого качества, удовлетворяющих принципам ресурсо- и энергосберегающих подходов.

Неравномерность распределения питательных, биологически активных и минеральных веществ по анатомическим частям зерна пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы, значительные различия механико-технологических свойств определяют при существующей технологии трудности их четкого разделения.

Одной из важных задач, стоящих перед зерноперерабатывающими производствами, является разработка высокоэффективного оборудования для шелушения зерна, что позволит интенсифицировать производственный процесс подготовки его к переработке в муку, крупу и комбикорма и создаст необходимые предпосылки к повышению уровня рационального использования зерна для пищевых и кормовых целей.

Решение задач совершенствования этого процесса на основе применения нового оборудования приобретает народнохозяйственную значимость и является актуальным.

Цель работы - научное обоснование интенсификации процессов, совершенствование и разработка нового оборудования для подготовки и обработки поверхности зерна, направленных на повышение уровня его продовольственного и кормового использования.

Задачи работы:

выбор и обоснование критериальных показателей для оценки уровня продовольственного использования зерна и эффективности процесса шелушения;

анализ применяемой техники и технологии для отделения оболочек зерна пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы при подготовке к переработке в муку, крупу и комбикорма;

теоретическое обоснование кинетики процесса диффузионной влаготеплопроводности структурами оболочек зерна;

теоретическое исследование динамики зернового слоя в рабочей зоне лопастной шелушильной машины;

теоретическое обоснование производительности и затрат энергии на процесс шелушения в лопастной машине;

разработка методик и технических средств экспериментального ис-

следования процессов подготовки и шелушения увлажненного зерна злаковых культур и кукурузы;

установление количества межзерновых контактов и ориентации зерен пшеницы при свободной укладке и уплотнении;

определение технологических и физико-механических свойств зерна и оболочек при изменяемых режимах подготовки и обработки в рабочей зоне шелушительной машины;

выбор рациональных режимов подготовки зерна пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы к отделению оболочек и обоснование конструктивных и кинематических параметров шелушительных машин;

установление закономерностей контактного влагообмена смеси продуктов шелушения в процессе отволаживания;

разработка методических основ расчета роторно-лопастных фрикционных шелушительных машин непрерывного действия;

создание новых шелушительных машин, их производственные испытания и определение экономической эффективности;

исследование реологических свойств увлажняемых крупок ошелушенного зерна пшеницы при тестообразовании и разработка рекомендаций к построению технологического процесса производства хлеба повышенной биологической ценности;

разработка рекомендаций по рациональному использованию шелушительных машин на зерноперерабатывающих предприятиях.

Научная новизна работы. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена модель кинетики диффузионной влагопроводности тонкостенными структурами оболочек зерна.

Получены аналитические зависимости для расчета параметров траекторий и составляющих результирующей скорости движения зерна в рабочей зоне лопастной машины.

Обоснованы кинематика и динамика напряженного состояния зернового слоя и получена нелинейная математическая модель для расчета межзернового давления в рабочей зоне машины.

Установлены аналитические зависимости для расчета составляющих и результирующего расхода энергии на процесс шелушения в лопастной машине непрерывного действия.

Получены расчетные выражения для определения производительности шелушительной машины.

Разработаны частные и обобщенные критериальные показатели для оценки уровня продовольственного использования зерна.

Установлены закономерности изменения ориентации и числа контактов зерен пшеницы при нагружениях в пределах упругих деформаций.

Определены конструктивные и кинематические параметры лопаток ротора в связи с процессом фрикционной обработки зерна.

Установлены закономерности контактного влагообмена смеси отходов шелушения и ошелушенного зерна.

Определены закономерности процесса влагонабухания крупок различного гранулометрического состава из зерна ошелушенной пшеницы при гестообразовании.

Установлены закономерности изменения качества теста и хлеба от количества снятых оболочек, гранулометрического состава измельченного зерна и режимов гестообразования.

Разработаны параметры комплексного технологического процесса включающего шелушение, измельчение зерна и выработку хлеба улучшенного качества.

Практическая значимость работы. Получены исходные данные и разработаны конструкции высокоэффективных лопастных шелушильных машин непрерывного действия.

Установлены режимы, разработаны рекомендации и функциональные схемы включения машин в технологические процессы подготовки и шелушения увлажненного зерна пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы при переработке в муку, крупу, комбикорма.

Длительная эксплуатация разработанных шелушильных машин на мельзаводах привела к увеличению выхода и улучшению качества готовой продукции, что подтверждено актами.

Получены данные снижения содержания микрофлоры ошелушенного зерна и доказана целесообразность исключения процесса мойки зерна, требующего большого расхода воды питьевого назначения.

Для выработки хлеба улучшенного качества разработан новый комплексный технологический процесс, включающий шелушение зерна, измельчение и приготовление теста при экономном расходовании энергии.

Реализация работы. На основе научно-технических разработок и авторских свидетельств на изобретения под руководством автора ЦИТБ ВНИИЗ выполнило техническую документацию на двухроторные машины ШМД, ШМД-2Я (для ячменя) и однороторную машину УИ-БШР. Производственные испытания машин ШМД и УИ-БШР, проведенные Горьковской МЛЗ на Минском, Керченском и Молодеченском мельзаводах сортового и обойного помола пшеницы и ржи, подтвердили рациональность их применения в промышленности. По результатам испытаний машин ШМД-2Я в процессе шелушения ячменя на крупозаводе в г. Минске Миргородской МЛС сделаны рекомендации по их промышленному использованию. Министерствами хлебопродуктов СССР и УССР машина УИ-БШР рекомендована к

серийному производству и на четырех мельзаводах внедрена с высоким экономическим эффектом.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались ежегодно на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского технологического института пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова в период 1960...88 гг.; научно-технических советах Министерств заготовок СССР, УССР, БССР; Всесоюзных научных конференциях "Механика сыпучих материалов-IV", Одесса, 1984, "Проблемы индустриализации общественного питания страны", Харьков, 1984; Межотраслевом семинаре Южного центра Академии Наук СССР "Тонкие полимерные пленки и покрытия", Одесса, 1987; 8-м Международном конгрессе по зерну и хлебу, Лозанна, Швейцария, 1988.

На защиту выносятся научные положения:

теоретическое обоснование энергоэкономного процесса отделения оболочек от ядра зерна методом водномеханической обработки;

теоретическое и экспериментальное обоснование кинетики диффузионной влагонепроводности структурами зерна;

закономерности кинематики и динамики напряженно-деформируемого зернового слоя в рабочей зоне лопастной машины;

математическая модель изменения межзернового давления по длине рабочей зоны машины;

обоснование геометрических и кинематических параметров рабочих органов машины;

результаты экспериментальных и производственных исследований процесса шелушения увлажненного зерна злаковых культур и кукурузы.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, шести глав, выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений.

Работа изложена на 300 страницах машинописного текста, содержит 65 иллюстраций, 15 таблиц, 52 страницы приложений. Список литературы включает 273 наименования, в том числе 32 иностранных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обобщением результатов научно-исследовательских работ по строению, материальному балансу, химическому составу, пищевой и биологической ценности анатомических частей зерна пшеницы, ячменя и кукурузы в главе I обоснована необходимость отделения от ядра верхних слоев оболочек, состоящих, в основном, из балластных веществ.

Показано, что снижение прочности связи оболочек и ядра происходит в результате водномеханического кондиционирования, создающего предпосылки для их отделения при наименьших энергозатратах.

Результаты шелушения увлажненного и кратковременно отволоженного зерна с использованием различных видов машин, приспособленных для очистки воздушно-сухого зерна, приведены в работах Н.В.Роменского, В.Я.Гирсона, П.П.Тарутина, Я.Н.Куприца, Л.Н.Любарского, Е.Д.Казакова, Е.Т.Любушкина, И.А.Наумова, Г.А.Егорова, Б.М.Максимчука, Е.М.Мельникова, И.К.Кравченко, Г.А.Андреева и других. Однако, в применяемых машинах не обеспечивалось требуемое регулирование съема оболочек и процесс обработки происходил при значительных потерях эндосперма.

Для решения задачи безотходной технологии с наиболее полным сохранением пищевых достоинств зерна доказана целесообразность применения универсальной лопастной шелушильной машины непрерывного действия, обеспечивающей эффективную обработку его поверхности при создании в рабочей зоне межзернового давления и комплексном использовании факторов внутреннего и внешнего трения.

Теоретические исследования включали изучение основных закономерностей диффузионной влагопроводности структурами зерновки при увлажнении, кинематику и динамику зерновых слоев в ограниченной кольцевой рабочей зоне лопастной шелушильной машины, обоснование рациональных геометрических параметров ее рабочих органов, определение эффективности и расхода энергии на процесс обработки зерна.

Так как диффузия влаги в наружных покровах зерновки характеризуется скоротечностью и нестационарностью, необходимой являлась разработка адекватной математической модели для установления количественных закономерностей ее распределения и выбора оптимального времени отволаживания зерна, при котором достигается максимальное снижение прочности адгезии различных слоев оболочек при отделении от ядра.

Решив уравнение диффузии (глава 2) для частицы сферической формы с радиусом R , при эквивалентном радиусе ядра зерновки R_a , коэффициенте диффузии $D = \text{const}$, пористости оболочек C , а также начальных и граничных условиях

$$W|_{g=0} = W_a; \quad \frac{\partial W}{\partial g}|_{g=0} = 0; \quad W|_{t=0} = W_i, \quad (I)$$

получили выражение

$$W = \frac{g}{R} W_a + \frac{1}{g} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 W_a R}{\pi^2 n^2} \left(\left(1 - e^{-\frac{D \pi^2 n^2}{C R^2} t} \right) (1 - 1) + \frac{\pi^2 n^2}{2 W_a} \left((1 - W_a)(1 - 1) + (1 - 1) \right) e^{-\frac{D \pi^2 n^2}{C R^2} t} \right) \sin \frac{\pi n g}{R} \quad (2)$$

где g , W — текущие радиус и влажность; W_a и W_i — соответственно

влажность на поверхности зерновки и внутри ее в момент $t = 0$. Осредненную влажность $\bar{W}$ оболочек зерновки определяли интегрированием (2) в пределах $[R_a; R]$, пользуясь формулой Симпсона.

Для действующей машины установлено, что по ее длине можно условно выделить три переходные зоны: питающе-распределительную, переходную, интенсивного шелушения и выгрузки, характеризуемые возрастом межзернового давления $\sigma_{\text{ж}}$ и коэффициента заполнения ξ обуславливающих переход потока с дискретной структурой к плотноупакованному. При этом происходит направленное радиально-осевое перемещение зерен по винтовым траекториям уменьшающегося шага (рис. 1б), параметры которых зависят от линейной скорости лопаток ротора U_a , фрикционных свойств зерна, характеризуемых коэффициентами сопротивления внешнему μ и внутреннему f сдвигу, угла атаки α лопаток, геометрических размеров и коэффициента заполнения рабочей зоны в пределах увлекаемого лопаткой зернового объема на величину l_0 в осевом направлении.

Для определения количественной закономерности изменения напряжений в зерновом слое рабочей зоны машины и ее расчета, исходя из условий нагружения элементарного объема зерна, силовые взаимосвязи которого с окружающей средой определяются напряжениями на его наружных поверхностях (рис. 1а), были составлены уравнения динамического равновесия (глава 3) при допущениях, что на всех гранях выделенного объема возможен сдвиг слоев с некоторой скоростью при выполнении условия предельного равновесия; размеры частиц сыпучего зернового материала незначительны по сравнению с рассматриваемой областью и его можно представить как сплошное тело плотностью ρ_s ; при осредненном коэффициенте плотности укладки K зерновок коэффициент сопротивления внутреннему сдвигу слоев f является постоянным, которые имеют вид

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + f \left(\frac{\partial \sigma_\psi}{\partial \psi} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} (\sigma_r + \sigma_\psi) + \rho_s K (\omega^2 r - g \sin \psi) = \rho_s K \frac{dU_r}{dr}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial \sigma_\psi}{\partial \psi} + f \left(\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} (f \sigma_r + f \sigma_\psi + 2 \sigma_z) - \rho_s K (2 \omega U_r + g \cos \psi) = \rho_s K \frac{dU_\psi}{d\psi}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + f \left(\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_\psi}{\partial \psi} \right) + \frac{1}{r} (f \sigma_r + \sigma_z) = \rho_s K \frac{dU_z}{dz}, \quad (6)$$

где σ_r , σ_ψ , σ_z - радиальная, осевая и тангенциальная компоненты напряжения на гранях, перпендикулярных направлениям r , z , ψ ; U_r , U_ψ , U_z - соответствующие составляющие результирующей скорости зерен; $\sigma_{\text{ж}}$ - предельное касательное напряжение сдвига на элемен-

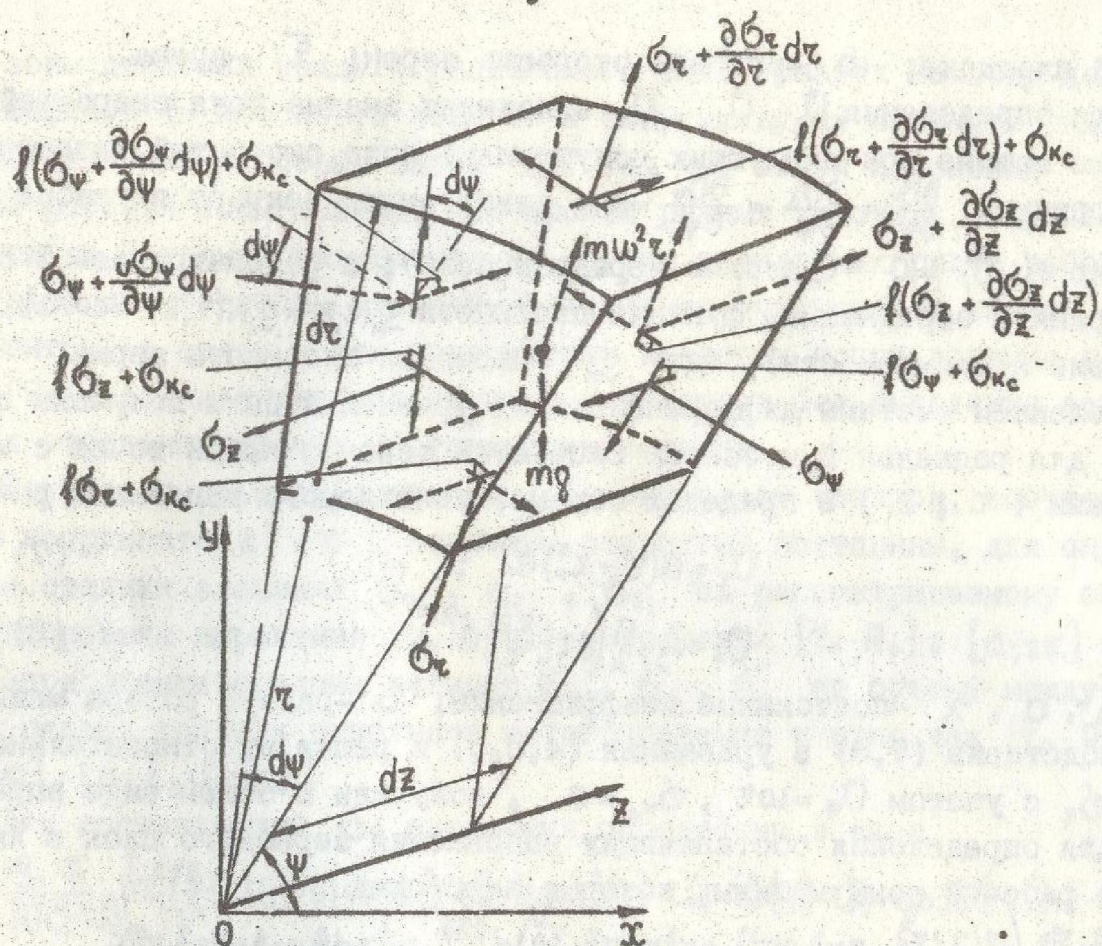


Рис. 1а. Схема к определению условий равновесия элементарного объема зерна, увлекаемого лопатками машины

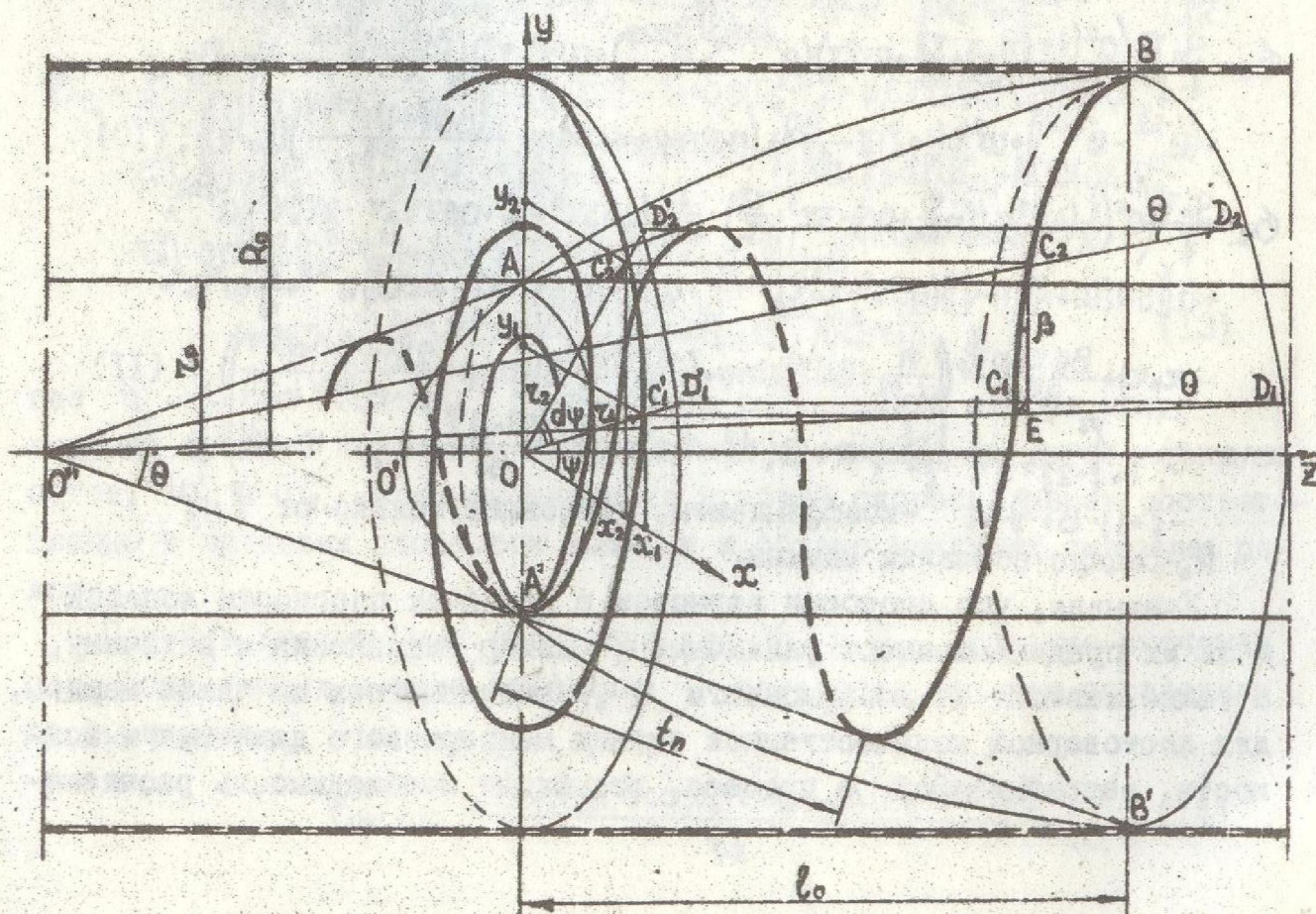


Рис. 1б. Траектории движения зерен в рабочей зоне лопастной машины

тарной площадке; ω — угловая скорость зерен; τ — время.

Для определения U_r , U_z , U_ψ выполняли анализ поля скоростей зерна в машине при следующих допущениях: поле скоростей является симметричным $\frac{\partial U_r}{\partial \psi} = \frac{\partial U_z}{\partial \psi} = \frac{\partial U_\psi}{\partial \psi} = 0$; дивергенция вектора переноса равна нулю $\nabla(\rho \vec{U}) = 0$ (условие неразрывности); в рассматриваемой области принята осредненная функция плотности $\rho_n(\tau, z) = \rho_k(\tau, z) = \text{const}$ (условие несжимаемости), где ρ_n — насыпная плотность зерна.

Решением системы дифференциальных уравнений были получены выражения для радиальной и осевой скоростей зерен в любой точке с координатами $(\tau; z)$ в пределах объема, увлекаемого лопатками ротора.

$$U_r = a(\tau^2 - \tau_0^2)e^{-\lambda z}; \quad (7)$$

$$U_z = A \frac{a}{\lambda} \left(3\tau - \frac{\tau_0^2}{\tau} \right) e^{-\lambda z}, \quad (8)$$

где A , a , λ — постоянные коэффициенты; τ_0 — радиус ротора машины.

Подставив (7, 8) в уравнения (4, 5, 6) и решив их относительно σ_ψ , σ_z , σ_r с учетом $U_\psi = \omega\tau$, $\sigma_{k_c} = 0$, получили в общем виде выражения для определения составляющих напряжения зернового слоя в любой точке рабочей зоны машины, которые имеют вид

$$\sigma_\psi = \frac{\rho_n \tau}{f} \left(a^2 \left(\frac{2}{\lambda} \left(\frac{\tau_0^4}{\tau^2} + 3\tau^2 - 2\tau_0^2 \right) - 2\tau_0^2 \tau + \tau^3 + \frac{\tau_0^4}{\tau} \right) e^{-2\lambda z} + a \left((3d\lambda\omega + A\lambda)(\tau^2 - \tau_0^2) + A(3\tau - \frac{\tau_0^2}{\tau}) e^{-\lambda z} + \omega^2 \tau + \frac{B\eta}{B^2 + 1} \left((Bd\lambda + 1) \left(\cos\psi - \frac{2e^{-B\psi}}{1 - e^{-B\psi}} \right) + (d\lambda - B) \sin\psi \right) \right) \right); \quad (9)$$

$$\sigma_z = \frac{\rho_n \tau}{1 - f^2} \left(\frac{a^2(1 + f)}{2\lambda} \left(\tau^3 + \frac{\tau_0^4}{\tau} + 2\tau_0^2 \tau \right) (e^{-2\lambda\tau_0} - e^{-2\lambda z}) + a(\tau^2 - \tau_0^2) \left(\frac{3d\lambda\omega}{\lambda} e^{-\lambda z} + A(1 + f) \right) \times \right. \\ \left. \times (e^{-\lambda z} - e^{-\lambda\tau_0}) + \omega^2 \tau (1 + f) z - \frac{B\eta}{B^2 + 1} \left(n \sin\psi + k \cos\psi - \frac{2(Bd\lambda + 1)e^{-B\psi}}{1 - e^{-B\psi}} \right) (\tau_0 - z) \right); \quad (10)$$

$$\sigma_r = \frac{\rho_n \tau}{f} \left(a^2 \left(\frac{1}{\lambda} (4\tau_0^2 \tau (\ln \frac{\tau}{\tau_0} + 0.5) - 3\tau^2 + \frac{\tau_0^4}{\tau}) - \frac{1}{1 - f} (0.33\tau^4 + \tau_0^4 + 0.67\tau_0^2 \tau - 2\tau_0^2 \tau^2) e^{-2\lambda z} + \right. \right. \\ \left. \left. + a \left((3d\lambda\omega + A\lambda(1 - f)) (0.5\tau^3 - \tau_0^2 \tau (f - \frac{\tau}{\tau_0} + 0.5)) - A(3\tau^2 + \tau_0^2 - 4\tau\tau_0) e^{-\lambda z} + \frac{f^2}{8} \omega^2 (\tau^2 - \tau_0^2) + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{B\eta \tau \ln \frac{\tau}{\tau_0}}{B^2 + 1} \left(\left(\frac{n}{1 - f^2} + Bd\lambda \right) \sin\psi + \left(\frac{k}{1 - f^2} - d\lambda - B \right) \cos\psi - \frac{2(Bd\lambda + 1)e^{-B\psi}}{(1 - e^{-B\psi})(1 - f^2)} \right) \right) \right); \quad (11)$$

где $B = \frac{f^2}{1 + f - 2f^2}$; $d = \frac{1 + f}{f^2}$; $n = B(d\lambda - d - 1) + d\lambda - \frac{(B^2 + 1)f}{B} + 1$; $k = d(B\lambda - f + 1) - B + \frac{B}{f} + 1$ — коэффициенты, зависящие только от f ;

R_0 — радиус обечайки машины.

Учитывая, что скорости зерновок в пределах плоскости лопаток и за их пределами имеют различные характер изменения и величину, а также зависят от коэффициента η , изменяющегося по длине машины, для достоверной количественной оценки межзернового давления и мощности, затрачиваемой на процесс, возникает необходимость расчлене-

ния зоны действия каждого радиального ряда лопаток на зону действия шириной b плоскости лопаток и зону между их смежными рядами, расположенными с осевым шагом t_z . Так как закон изменения ξ по длине рабочей зоны машины, при прочих равных условиях, определяется принятой схемой размещения на роторе радиальных рядов рабочих и отражающих лопаток, их взаимное влияние учитывается данным коэффициентом, в связи с чем правомерным является использование выражений (9, 10, 11) для расчета искомых параметров без выделения зон действия отдельно рабочих и отражающих лопаток.

Так как в объеме, ометаемом i -тым рядом лопаток, соответствующем координате $z = 0$, величины скоростей постоянны, для определения средних значений $\bar{b}'_{v_i}$, $\bar{b}'_{z_i}$, $\bar{b}'_{\tau_i}$ по рассматриваемому объему интегрировали выражения (9, 10, 11) в пределах $[r_0; R_0]$; $[0; 2\pi]$, а при определении средних величин $\bar{b}''_{v_i}$, $\bar{b}''_{z_i}$, $\bar{b}''_{\tau_i}$ по объему между смежными рядами лопаток выполняли интегрирование в пределах $[r_0; R_0]$; $[0; 2\pi]$; $[0; t_z - b \cos \alpha]$

Для составляющей $\bar{b}_v$ выражения определены в виде

$$\bar{b}'_{v_i} = \frac{g_i \xi_i}{\pi(R_0^2 - r_0^2)} \left(\alpha_i^2 \left(\frac{4}{\lambda} (r_0^4 (h + \delta) + 0,6(R_0^5 - r_0^5) - 0,67 r_0^2 (R_0^3 - r_0^3)) - r_0^2 (R_0^4 - r_0^4) + 0,33(R_0^6 - r_0^6) + r_0^4 (R_0^3 - r_0^3) + \alpha_i ((3d f \omega_i^2 + A_i \lambda)(0,4(R_0^5 - r_0^5) - 0,67 r_0^2 (R_0^3 - r_0^3)) + A_i (1,5(R_0^4 - r_0^4) - r_0^2 (R_0^3 - r_0^3))) + 0,25 \omega_{z_i}^2 (R_0^4 - r_0^4) - \frac{0,679(Bd f + 1)}{\pi(B^2 + 1)} (1 + e^{-B\pi})(R_0^3 - r_0^3) \right) \right); \quad (12)$$

$$\bar{b}''_{v_i} = \frac{g_i \xi_i}{\pi(R_0^2 - r_0^2)} \left(\frac{1}{\lambda(t_z - b \cos \alpha)} \left(0,5 \alpha_i^2 \left(\frac{4}{\lambda} (r_0^4 (h + \delta) + 0,6(R_0^5 - r_0^5) - 0,67 r_0^2 (R_0^3 - r_0^3)) - r_0^2 (R_0^4 - r_0^4) + 0,33(R_0^6 - r_0^6) + r_0^4 (R_0^3 - r_0^3) \right) (1 - e^{-2\lambda(t_z - b \cos \alpha)}) + \alpha_i ((3d f \bar{\omega}_{z_i}^2 + A_i \lambda)(0,4(R_0^5 - r_0^5) - 0,67 r_0^2 (R_0^3 - r_0^3)) + A_i (1,5(R_0^4 - r_0^4) - r_0^2 (R_0^3 - r_0^3))) (1 - e^{-\lambda(t_z - b \cos \alpha)}) + 0,25 \bar{\omega}_{z_i}^2 (R_0^4 - r_0^4) - \frac{0,679(Bd f + 1)}{\pi(B^2 + 1)} (1 + e^{-B\pi})(R_0^3 - r_0^3) \right) \right); \quad (13)$$

где h — высота лопатки; δ — величина радиального зазора между верхней кромкой лопаток и поверхностью обечайки; α — угол атаки лопаток; ω_{z_i} и $\bar{\omega}_{z_i}$ — средние значения угловой скорости зерен соответственно в пределах плоскости лопаток и объеме между их смежными рядами.

Получив аналогичные выражения для $\bar{b}_z$ и $\bar{b}_\tau$, средние значения для составляющих в зоне действия i -того ряда лопаток определяли по выражению

$$\bar{b}_{(v, z, \tau)_i} = \frac{\bar{b}'_{(v, z, \tau)_i} b \cos \alpha + \bar{b}''_{(v, z, \tau)_i} (t_z - b \cos \alpha)}{t_z}, \quad (14)$$

позволяющему рассчитать изменение средней величины межзернового давления по длине рабочей зоны машины.

Общую мощность N на процесс обработки зерна в лопастной машине определяти как сумму мощностей для преодоления сопротивлений сил внешнего трения зернового слоя о лопатки N_1 и элементы поверхности ситовой обечайки N_2 , сил внутреннего трения зерна в рабочей зоне машины N_4 и на опрокидывание зерновок из ячеек обечайки N_3 .

Рассмотренные составляющие в общем виде определены выражениями

$$N_1 = \sqrt{2} \mu_A h b \cos \alpha \sum_{i=1}^n (U_{\psi_{Ai}}^c + U_{z_{Ai}}^c) \int_0^{\psi_0} (\delta_{\psi_i} + \delta_{z_i}) d\psi; \quad (15)$$

$$N_2 = F_c R_o \mu_o K_c \sum_{i=1}^n \left(b \cos \alpha \sqrt{U_{\psi_{Ai}}^2 + U_{z_{Ai}}^2} \int_0^{2\pi} \delta_{\tau_{Ai}} d\psi + \sqrt{\bar{U}_{\psi_{Ai}}^2 + \bar{U}_{z_{Ai}}^2} \int_0^{\psi_0} \int_0^{2\pi} \delta_{\tau_{Ai}} dz d\psi \right); \quad (16)$$

$$N_3 = 0,5 F_o R_o P \sqrt{1 - \left(\frac{b_c}{d_s}\right)^2} \sum_{i=1}^n \left(b \cos \alpha \int_0^{2\pi} \delta_{\tau_{Ai}} d\psi + \bar{U}_{\psi_{Ai}} \int_0^{\psi_0} \int_0^{2\pi} \delta_{\tau_{Ai}} dz d\psi \right); \quad (17)$$

$$N_4 = \frac{\rho}{d_s} \sum_{i=1}^n \left(b \cos \alpha \left(\bar{U}_{\psi_i}^c \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \delta_{\psi_i} \tau d\tau d\psi + \bar{U}_{z_i}^c \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \delta_{z_i} \tau d\tau d\psi + \bar{U}_{\tau_i}^c \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \delta_{\tau_i} \tau d\tau d\psi \right) + \right. \\ \left. + \bar{U}_{\psi_i}^{nc} \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \delta_{\psi_i} \tau d\tau dz d\psi + \bar{U}_{z_i}^{nc} \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \delta_{z_i} \tau d\tau dz d\psi + \bar{U}_{\tau_i}^{nc} \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \int_0^{R_o 2\pi} \delta_{\tau_i} \tau d\tau dz d\psi \right), \quad (18)$$

где μ_A и μ_o — коэффициенты сопротивления внешнему сдвигу зерна по поверхностям лопаток и ситовой обечайки; $\psi_0 = \alpha \operatorname{ctg} \frac{b}{R + r_s}$ —

половина угла раскрытия лопатки, рад; R — радиус описываемый верхней кромкой лопаток; F_s и F_o — соответственно коэффициенты, учитывающие долю поверхности сита, занятую элементами и отверстиями;

K_c — коэффициент, определяющий площадь поверхности трения зерновок при их контакте с элементами ситовой обечайки; b_c — ширина щели между смежными элементами сита; d_s — эквивалентный диаметр зерновки;

P — вероятность попадания зерновок в отверстия ситовой обечайки;

n — число радиальных рядов лопаток на роторе машины; $U_{\psi_{Ai}}^c$ и $U_{z_{Ai}}^c$ — окружная и осевая относительные скорости сдвига зерен по поверхностям i -того ряда лопаток; $\bar{U}_{\psi_{Ai}}^c$, $\bar{U}_{z_{Ai}}^c$ и $\bar{U}_{\tau_{Ai}}^c$, $\bar{U}_{\tau_{Ai}}^{nc}$ — средние окружная и осевая скорости зерен на поверхности обечайки соответственно в пределах плоскости лопатки и в объеме между их смежными рядами; $\bar{U}_{\psi_i}^c$, $\bar{U}_{z_i}^c$, $\bar{U}_{\tau_i}^c$ и $\bar{U}_{\psi_i}^{nc}$, $\bar{U}_{z_i}^{nc}$, $\bar{U}_{\tau_i}^{nc}$ — средние по объему относительные скорости сдвига зерен; $\delta_{\tau_{Ai}}$ — радиальное напряжение в слое зерна у поверхности обечайки.

Так как $U_{\psi_{Ai}}^c$ равна разности ее средней окружной скорости $\bar{U}_{\psi_{Ai}}^c$ и средней окружной скорости зерен $\bar{U}_{\psi_i}^c$ в пределах лопатки, а $U_{z_{Ai}}^c = \bar{U}_{z_i}^c$, то подставив в (15) выражения (9,10) при $z = 0$ и

$$r = r_s = \frac{R + r_s}{2}, \text{ запишем}$$

$$\begin{aligned}
N_1 = 2\sqrt{2}\mu_h b \cos \alpha g_n \sum_{i=1}^n \xi_i (\bar{U}_{\psi_{Ai}} - \bar{U}_{\psi_i} + \bar{U}_{z_i}) & \left(\frac{\bar{r}}{f} \left(\psi_0 \left(a_i^2 \left(2 \left(\frac{\bar{r}_0^4}{\bar{r}^2} + 3\bar{r}^2 - 2\bar{r}_0^2 \right) - \right. \right. \right. \right. \\
& - 2\bar{r}_0^2 \bar{r} + \bar{r}^3 + \frac{\bar{r}_0^4}{\bar{r}} \right) + a_i \left((3d f \omega_{z_i} + A_i \lambda) (\bar{r}^2 - \bar{r}_0^2) + A_i (3\bar{r} - \frac{\bar{r}_0^2}{\bar{r}}) \right) + \omega_{z_i}^2 \bar{r} \right) + \\
& + \frac{B g (B d f + 1)}{B^2 + 1} \left(\sin \psi_0 + \frac{e^{-B \psi_0} (1 - e^{2B \psi_0})}{B (1 - e^{-B \kappa})} \right) - \frac{1}{1 - f^2} \left(\psi_0 \left(\frac{a_i^2 (1 + f)}{2 \lambda} (2\bar{r}_0^2 \bar{r} - \right. \right. \\
& - \bar{r}^3 - \frac{\bar{r}_0^4}{\bar{r}}) (1 - e^{-\lambda l_0}) + a_i (\bar{r}^2 - \bar{r}_0^2) \left(\frac{3d f \omega_{z_i}}{\lambda} + A_i (1 + f) (1 - e^{-\lambda l_0}) \right) - \\
& \left. \left. - \frac{B g}{B^2 + 1} \left(\kappa \sin \psi_0 + \frac{e^{-B \psi_0} (1 - e^{2B \psi_0})}{B (1 - e^{-B \kappa})} (B d f + 1) \right) \right) \right). \quad (19)
\end{aligned}$$

Произведя необходимые подстановки в (16, 17, 18) и преобразования, были получены аналогичные выражения для составляющих N_2 , N_3 , N_4 , которые позволили выполнить расчеты и оценить расход энергии в шелушильной машине.

Для определения транспортирующей способности Q_T ротора машины получено выражение

$$\begin{aligned}
Q_T = \frac{\pi b (z_T - z_0)}{B (z_T + z_0)} \omega_p g_n \xi K_z & \left(\left(\frac{2b \cos \alpha}{\eta} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \psi \right) + \delta \right)^2 - \right. \\
& \left. - \left(\frac{2b \cos \alpha}{\eta} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\psi}{2} \right) \right)^2 \right) \left(2 \frac{\sin \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\psi}{2} + \alpha \right) \cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\psi}{2} \right)}{\cos \psi} - \cos \alpha \right), \quad (20)
\end{aligned}$$

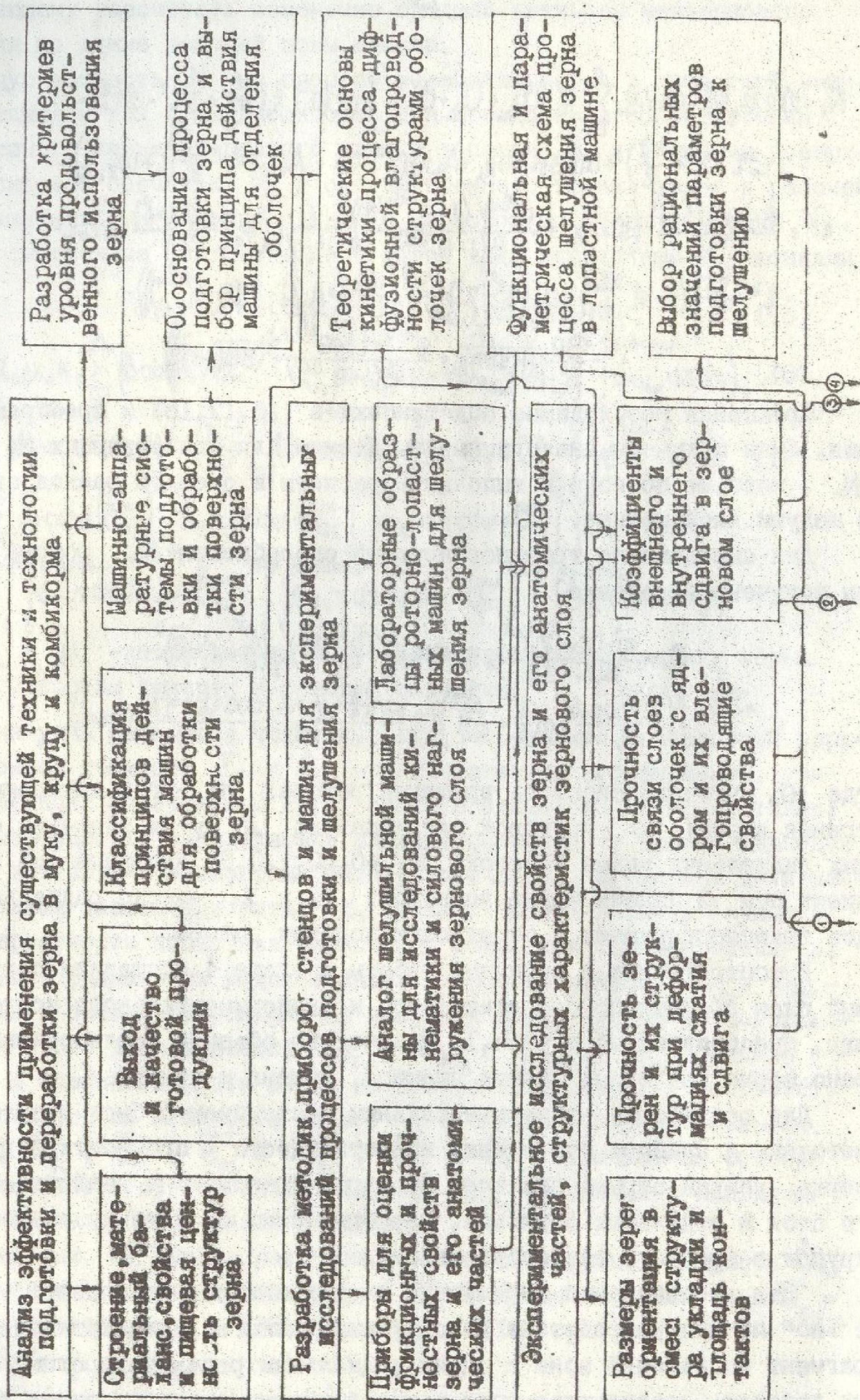
где ω_p — угловая скорость вращения ротора; ψ — угол внутреннего трения зерна; β — круговой шаг лопаток; η — угол смещения смежных радиальных рядов лопаток; $K_z = 0,80 \dots 0,85$ эмпирический коэффициент осевой подачи зерна лопаткой; z_T и z_0 — число радиальных рядов транспортирующих и отражающих лопаток ротора.

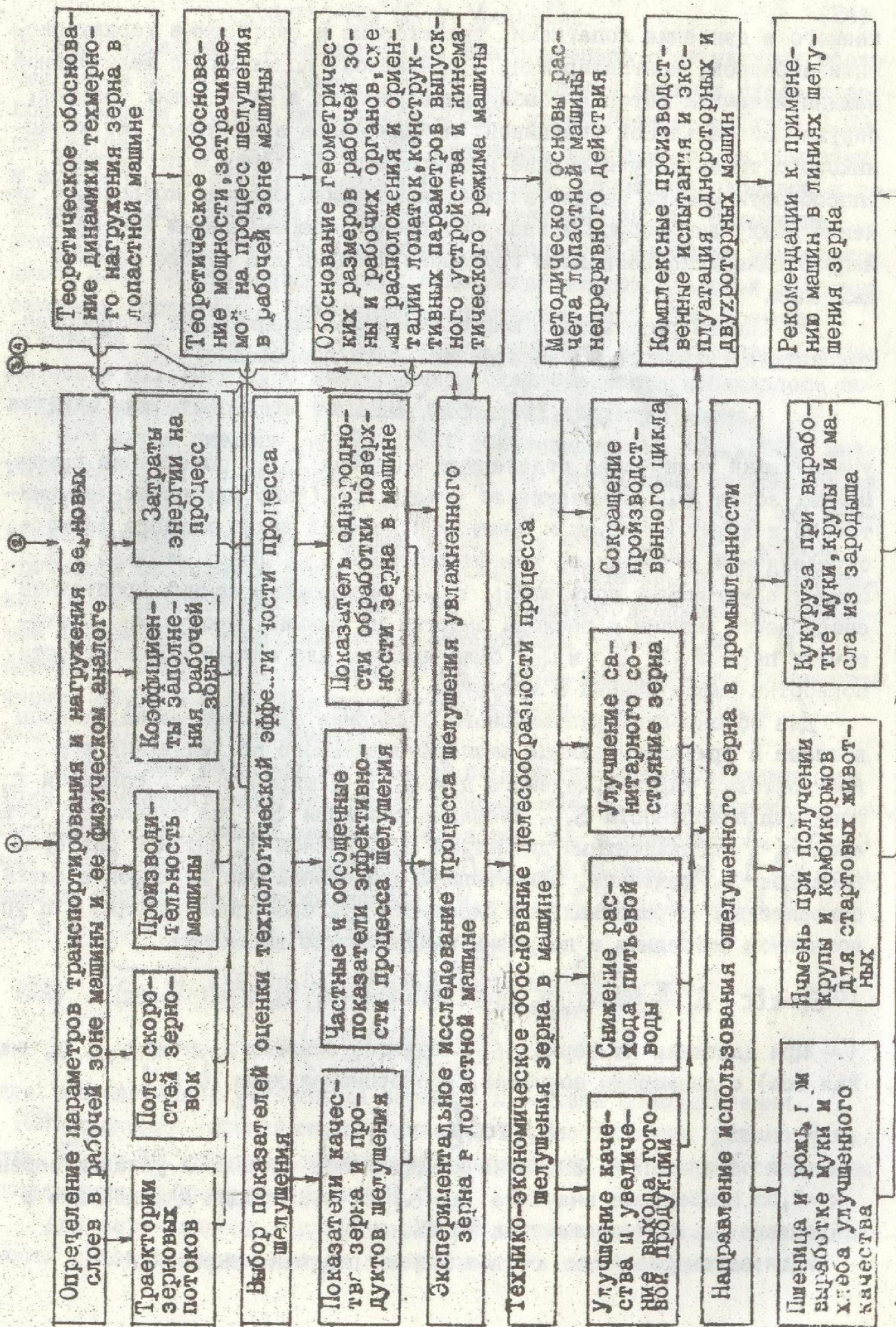
В соответствии с задачами работы в главе 4 составлен структурный план системного теоретического и экспериментального исследования, представленный в табл. I. В качестве объекта исследования выбрано зерно различных сортов пшеницы, ячменя и кукурузы.

Для реализации экспериментальных исследований были разработаны методики и приборы для оценки микротвердости и прочности структур зерна, усилий отрыва оболочек от ядра, фрикционных свойств зернового слоя и отдельных зерновок, реологических свойств увлажненных крупок в процессе тестообразования.

Для исследования кинематики и динамики зерновых слоев в шелушильной машине разработана конструкция аналога, представляющего фрагмент ее рабочей зоны с одним радиальным рядом поворотных сменных лопаток, позволяющая определить величины осевого усилия и межзернового давления, приведенный силу трения зерна, а также установить методом стробоскопической съемки длину подвижного слоя, уве-

Таблица I
Структурный план системного теоретического и экспериментального исследования процессов подготовки и шелушения увлажненного зерна злаковых культур и кукурузы





каемого в движение лопатками, траекторные и скоростные характеристики зерновок, контактирующих с обечайкой. Конструкция шелушительной машины включала ротор с комбинацией рабочих и отражающих лопаток, окруженный разъемной обечайкой, набранной из элементарных сит колосового типа. Регулирование межзернового давления и пропускной способности машины осуществлялось изменением площади кольцевого сечения между диффузором и запорным диском, перемещаемым в осевом направлении, использованием грузового клапана для сброса избытка давления.

Для оценки результатов шелушения зерна пшеницы был разработан показатель технологической эффективности процесса

$$E_1 = \frac{\gamma_1(E_1 + \gamma_2 E_2 + \gamma_3 E_3)}{\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3} \leq 1, \quad (21)$$

учитывающий количество отделенных оболочек E_1 , содержание разрушенных зерен E_2 , снижение эс-ности E_3 (либо клетчатки применительно к зерну кукурузы и ячменя) и долевой вклад каждого фактора, определяемый отношениями коэффициентов $\gamma_{1,2,3}$. Дополнительно к E_1 принят комплексный показатель E_2 , учитывающий данные пропускной способности машины и расхода энергии на единицу продукции. Аналогичные показатели E_3 и E_4 были приняты для оценки эффективности обработки зерна ячменя и кукурузы.

Для обоснования равномерного отделения оболочек зерна пшеницы в главе 5 приведены данные экспериментального исследования его грансостава, характеризуемого длиной l , шириной b , толщиной c , площадью поверхности S_2 , площадью проекции S'_2 на плоскость, объемом V_2 , эквивалентным диаметром d_2 , числом λ_n латен и размером площадок S_n контакта, ориентацией продольной оси зерновок в смеси относительно горизонтальной плоскости при свободной укладке и в уплотненном состоянии и получены эмпирические выражения

$$S_2 = \pi l c; S'_2 = \frac{\pi}{8} l(b+c); V_2 = 0,15 l(1,6b^2 + c(b+c)); d_2 = \sqrt{\frac{l}{\pi}}(1,3b + 1,5c). \quad (22)$$

При давлении на зерно S_n является близким к эллипсу (α_n — малая ось) с размерами полуосей, пропорциональными b и l

$$S_n = \pi \alpha_n^2 \frac{l}{c} \quad (23)$$

Для осредненного значения коэффициента плотности укладки зерен $K = 0,56$ наибольшее значение $\lambda_n = 7 \dots 8$, ориентация длинной оси в интервале $0 \dots 20^\circ$ составляла 70,6%.

Для зерен различных сортов ячменя получены выражения

$$S_3 = 0,10lc + 1,75^{\circ}(l+c); V_3 = 0,45lbc. \quad (24)$$

Экспериментальными исследованиями влагопереноса в структурах оболочек зерна пшеницы различных сортов при толщине верхних слоев плодовой оболочки 0,05мм, пористости - 0,8, коэффициенте диффузии 0,03 мм²/с, начальной влажности 14%, влажность влагонасыщения оболочек и алейронового слоя определена равной 55%, совместно плодовой и семенной 50,0%, семенной с поперечными клетками 48,5%. Повышение влажности зерна пшеницы и кукурузы приводило к снижению микротвердости всех периферийных слоев; наименьшей микротвердостью обладает семенная оболочка, - наибольшей - алейроновый слой. При повышении влажности от 10 до 50% относительное снижение микротвердости наблюдалось в 6...10 раз. С возрастанием стекловидности наблюдалось повышение микротвердости всех анатомических структур зерна.

Для зерна пшеницы $W = 9...12\%$, стекловидностью 40...100% микротвердость H , эндосперма и оболочек H_0 определены зависимостями $H_s = (1,1...2,5)H_0$, а для кукурузы $H_n = (1,5...7,5)H_0$, что позволяет выбирать режимы нагружения зерна в рабочей зоне с учетом прочности оболочек и ядра. Исследованиями предельного влагонасыщения W_n и равновесной влажности W_r определены следующие осредненные данные: для всех оболочек с алейроновым слоем 54,4% и 11,0, совместно плодовой и семенной 50,0% и 9,7%, плодовой без поперечных клеток 46,0% и 8,0%. Для параметров воздуха $\varphi = 65 \pm 5\%$ и $t = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ $W_n = 5,0^{+0,9}W_r$.

При отрыве оболочек от ядра на осциллограммах наблюдались три зоны деформаций: упругой, пластическо-вязкой и когезионного разрыва. Прочность адгезионной связи для плодовых A_n и семенных A_c оболочек зерна пшеницы стекловидностью 40,0...93,0% при $W = 12,0\%$, значениях поправочных коэффициентов $K_1 = 14,5 \pm 1,5$; $K_2 = 20 \pm 2$; $K_3 = 2,5 \pm 0,5$ определены выражениями

$$A_n = 10 \left(K_1 - 2\sqrt{\Delta W} - \frac{2\sqrt{\Delta W}(K_1 + 2\sqrt{\Delta W})}{\tau^2 + K_2\Delta W} \right); \quad (25)$$

$$A_c = 10 \left(14 - \frac{\Delta W}{K_3} \right) \left(\frac{30 + 2\Delta W\tau}{30 + \Delta W\tau} \right), \quad (26)$$

где ΔW - величина увлажнения зерна; τ - время отволаживания.

Наибольшая интенсивность снижения прочности связи установлена при τ до 10 мин, что объясняется набуханием оболочек и созданием повышенных локальных напряжений.

Для зерна ячменя и кукурузы общие закономерности изменения прочности связи оболочек и ядра при увлажнении и отволаживании были

✓ 16 677

аналогичными.

Так как в процессе шелушения оболочки зерна пшеницы претерпевают когезионное разрушение, применение разработанных приборов позволило установить (рис. 2) экспериментальные величины их продольного, поперечного и результирующего P_y^0 значений при упругих деформациях растяжения, разрушающего усилия P_p^0 , предела упругости σ_y^0 , предела прочности σ_p^0 , результирующего модуля упругости E_y^0 и k - коэффициента пластичности ΔP^n в функции влажности $W_{об}$ структур оболочек.

Для эффективного отделения оболочек в машине следует создавать условия, при которых число контактов должно быть наибольшим, что возможно при создании межзернового давления, не превышающего предела прочности зерен, под действием суммарных касательных и нормальных напряжений в процессе интенсивного перемешивания. Так как наименьшее значение пределов упругости и прочности оболочек соответствует максимальному влагонасыщению, наибольшая эффективность их отделения сопровождается наименьшими энергозатратами.

Предел прочности при деформации сдвига σ_c нешелузного и ошелушенного зерна пшеницы при K_c равном 90 и 80 определен эмпирической зависимостью

$$\sigma_c = \frac{K_c}{\sqrt{W}} - 12. \quad (27)$$

Установлено, что при одноосном сжатии зернового усилием в пределах 2,3...3,1 Н на плоскости с увеличением влажности от 12 до 24% площадь деформации изменялась в пределах 1,3...1,92 и 1,63...2,94 мм² и определена эмпирическим выражением

$$S_x = 0,2 W^{-0,24} P_{сж} \exp 0,05 W. \quad (28)$$

При относительной скорости сдвига $U^c = 3...12$ м/с, нормальной нагрузке на зерновки пшеницы $P = 0,03...0,12$ Н, давлении на стой $P = 1,5...6,0$ кН/м², влажности $W = 12...21\%$ для продолжительности отволаживания $\tau = 7...20$ мин коэффициенты сопротивления сдвигу зернового слоя μ и зерен μ' при значениях $\mu_0 = 0,18...0,12$ и $\mu'_0 = 0,14...0,10$ определены зависимостями

$$\mu = \mu_0 + \frac{0,8 + 5 \cdot 10^{-3} \Delta W^2 + 0,5 \left(\frac{(U^c - 4)^2}{1 + (U^c - 4)^2} \right)}{2 + P}; \quad (29)$$

$$\mu' = \mu'_0 + 1,6 \cdot 10^{-3} \Delta W^2 + \frac{U^c}{60 + 10 U^c} + 0,5 \left(1 - \frac{P}{100 P^2 - 0,09} \right). \quad (30)$$

Обработка результатов экспериментальных исследований траекторий и скоростей зерна в рабочей зоне аналога шелушительной машины поз-

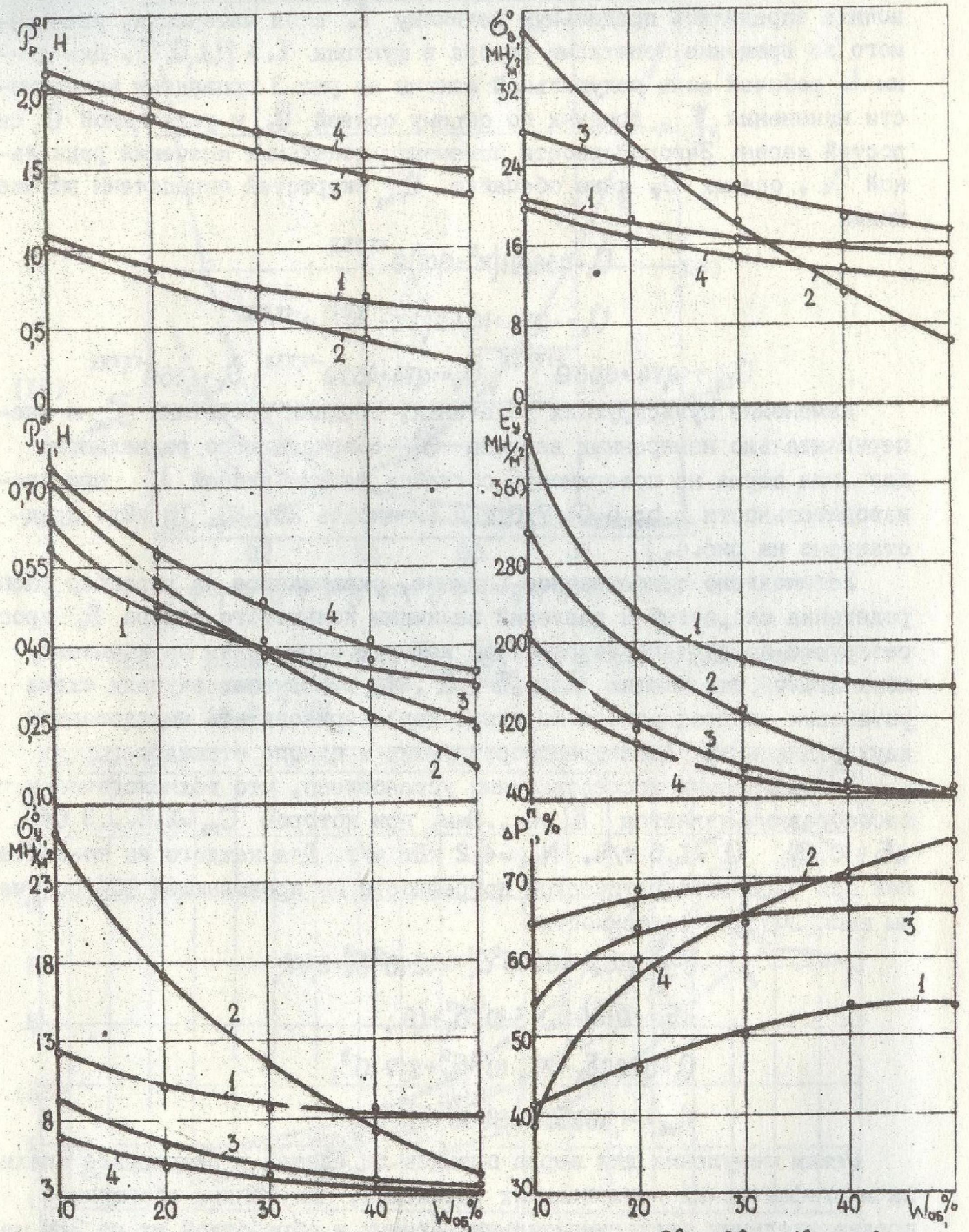


Рис. 2. Зависимость результирующих значений P° , P_y° , G° , G_o° , E_y° , ΔP^n оболочек зерна пшеницы от влажности:
 1-плодовая без поперечного слоя; 2-поперечный и семенная;
 3-плодовая и семенная; 4-плодовая, семенная и алейроновый
 слой

волила определить предельную величину l_0 слоя материала, увлекаемого во вращение лопатками ротора в функции $l_0 = f(L, U, \delta)$. Для длины L рабочей зоны шелушительной машины на рис. 3 приведены зависимости изменения ξ , средних по объему осевой $\bar{U}_z$ и радиальной $\bar{U}_r$ скоростей зерен. Закономерности изменения локальных значений радиальной U_r , осевых U_z и на обечайке $U_{z_{a_0}}$ скоростей определены выражениями

$$\begin{aligned} U_r &= 256,91(\tau^2 - 0,01)e^{-17,73\tau}; \\ U_z &= -0,74 + 14,49\left(3\tau - \frac{0,01}{\tau}\right)e^{-17,73\tau}; \\ U_{z_{a_0}} &= -0,74 + 6,03e^{-17,73\tau}; \bar{U}_z = -0,74 + 4,52e^{-17,73\tau}; \bar{U}_r = 1,85e^{-17,73\tau} \end{aligned} \quad (31)$$

Изменение пульсирующих локальных, средних расчетных $\bar{U}_{z_{a_0}}$ и экспериментально измеренных величин $\bar{U}_{z_{a_0}}^3$ возрастающего радиального давления зерна на поверхность обечайки машины длиной L при производительности 5,5; 6,0; 7,0 т/ч (мощность 26, 20, 16 кВт) представлено на рис. 4.

Установлено существенное влияние, оказываемое на характер распределения скоростей и давлений величины кольцевого зазора δ_k дроселирующе-выходящего устройства, которую определяли по комплексу показателей, включающих $C_{об}$, ΔB , Q , $N_{уд}$. Во всех случаях схема установки лопаток ротора по длине характеризовалась чередованием двух радиальных рядов транспортирующих и одного отражающего.

Лабораторными исследованиями установлено, что технологически целесообразным является $\delta_k = 6 \dots 8$ мм, при котором $C_{об} = 2,5 \dots 3,0\%$, $\Delta B = 0,8\%$, $Q = 1,5$ т/ч, $N_{уд} = 4,2$ кВт ч/т. Для каждого из показателей при среднеквадратической погрешности не превышающей 10% получены эмпирические зависимости

$$\begin{aligned} C_{об} &= 0,1\delta_k - 4,04 \cdot 10^{-2}\delta_k^2 + 142 \cdot 10^{-3}\delta_k^3 + 3,47; \\ \Delta B &= -0,184\delta_k + 5 \cdot 10^{-3}\delta_k^2 + 1,8; \\ Q &= 0,252\delta_k - 6,41 \cdot 10^{-3}\delta_k^2 + 217 \cdot 10^{-2}; \\ N_{уд} &= -1,368\delta_k + 4,38 \cdot 10^{-2}\delta_k^2 + 12,45. \end{aligned} \quad (32)$$

Режим шелушения для зерна пшеницы определен в результате анализа многофакторных эмпирических выражений, полученных обобщением предварительных экспериментальных данных и обработкой их на ЭВМ методом последовательных приближений, которые имеют вид:

$$\begin{aligned} C_{об} &= -3,24\Delta W - 0,41\Delta W^2 + 1,71 \cdot 10^{-2}\Delta W^3 - 3,1 \cdot 10^{-2}\tau + 4,3 \cdot 10^{-3}\tau^2 - 10^{-4}\tau^3 + 0,26U_r - 3,2 \cdot 10^{-3}U_r^2 - \\ &\quad - 7,22 \cdot 10^{-2}L + 2,44 \cdot 10^{-3}L^2 - 2 \cdot 10^{-5}L^3 - 4,8 \cdot 10^{-2}\delta - 4 \cdot 10^{-3}\delta^2 - 6,45; \end{aligned}$$

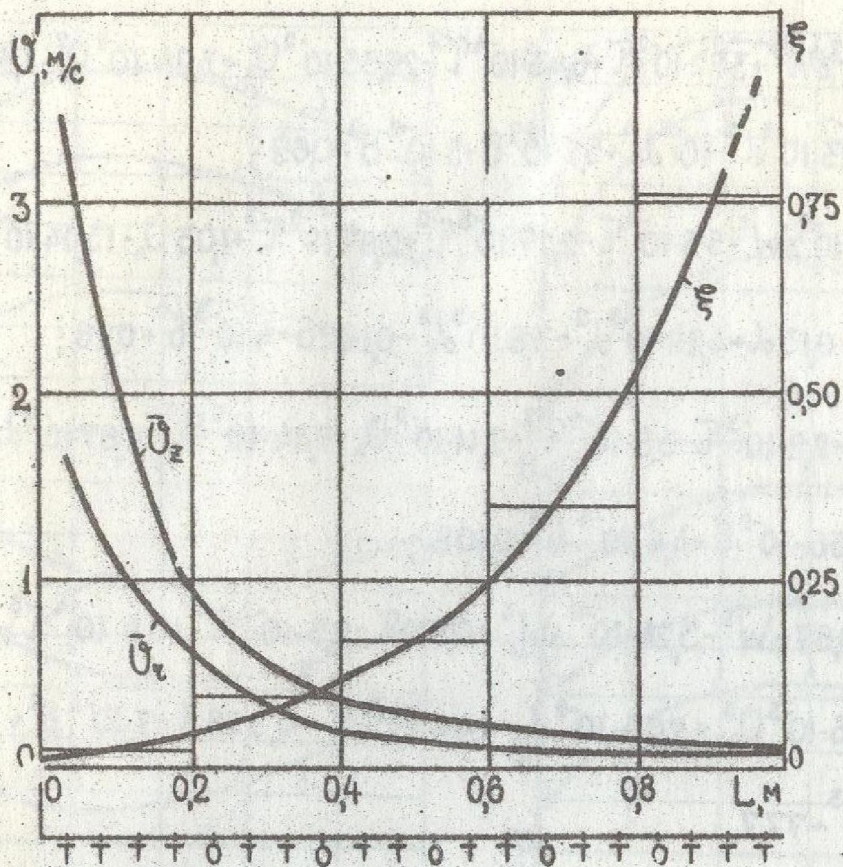


Рис.3. Изменение ϵ , $\bar{U}_z$, $\bar{U}_r$ по длине L рабочей зоны машины при $U_n = 16$ м/с, $\alpha = 45^\circ$, $U_k = 7$ мм

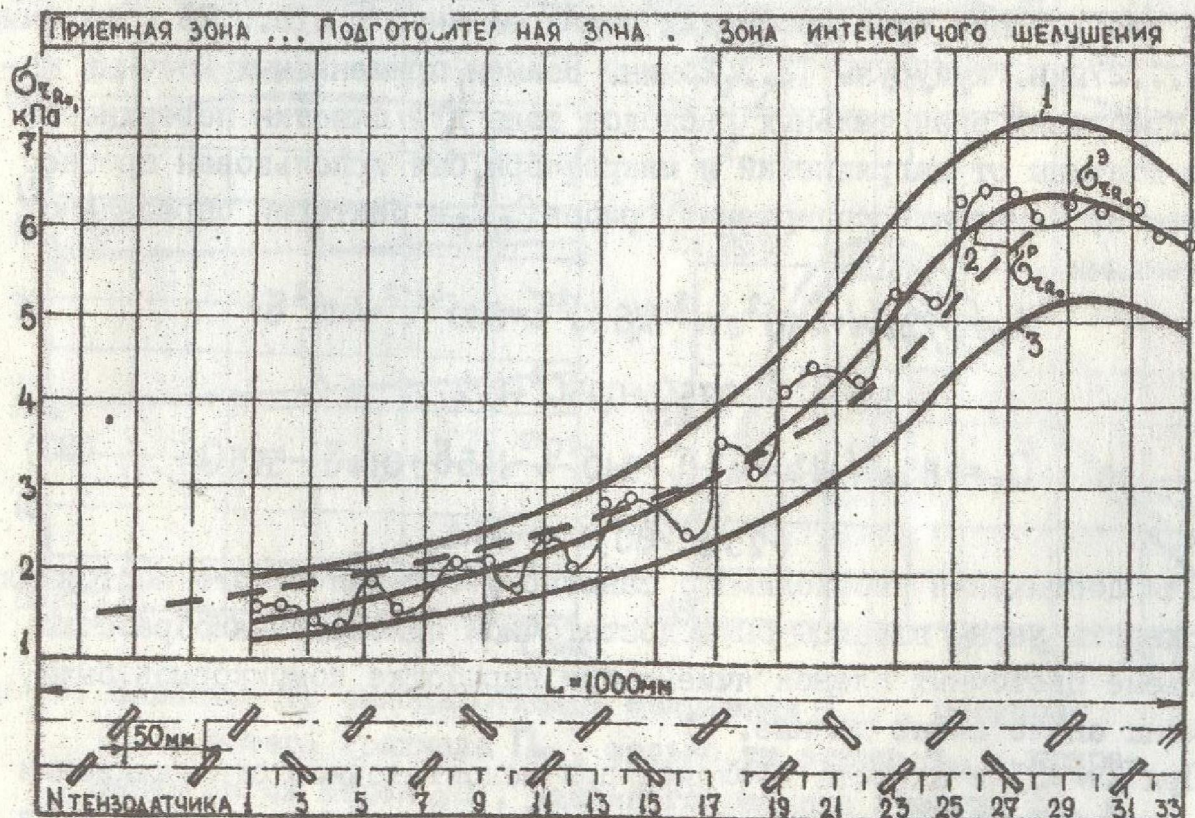


Рис.4. Изменение σ_{tr}^p и σ_{tr} по длине машины:
1- $Q=5,5$ т/ч ($N=26$ кВт); 2- $6,0$ т/ч (20 кВт); 3- $7,0$ т/ч (16 кВт)

$$\Pi_k = 0,33\Delta W - 1,9 \cdot 10^{-2} \Delta W^2 + 3,82 \cdot 10^{-2} \tau - 6,43 \cdot 10^{-4} \tau^2 - 26,65 \cdot 10^{-2} U_A + 3,94 \cdot 10^{-2} U_A^2 - 1,3 \cdot 10^{-3} U_A^3 - 3,23 \cdot 10^{-2} L + 1,23 \cdot 10^{-3} L^2 - 10^{-5} L^3 + 5,2 \cdot 10^{-2} \delta - 5 \cdot 10^{-3} \delta^2 - 0,69;$$

$$\Delta B = -0,25\Delta W + 1,07 \cdot 10^{-2} \Delta W^2 - 5,5 \cdot 10^{-2} \tau - 2,27 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 2,87 \cdot 10^{-5} \tau^3 + 1,05 U_A - 13,04 \cdot 10^{-2} U_A^2 + 5,43 \cdot 10^{-3} U_A^3 - 0,13 L + 4,29 \cdot 10^{-3} L^2 - 3,8 \cdot 10^{-5} L^3 - 0,1025 + 4 \cdot 10^{-3} \delta^2 + 0,26;$$

$$\Delta Z = 7,83 \cdot 10^{-3} \Delta W - 2,2 \cdot 10^{-3} \tau - 3,8 \cdot 10^{-5} \tau^2 + 2,11 \cdot 10^{-2} U_A - 7,84 \cdot 10^{-2} U_A^2 - 2,67 \cdot 10^{-4} L + 4,4 \cdot 10^{-5} L^2 - 1,66 \cdot 10^{-2} \delta + 4,4 \cdot 10^{-4} \delta^2 - 0,108;$$

$$N_{yA} = -5,016 \Delta W + 0,67 \Delta W^2 - 3,24 \cdot 10^{-2} \Delta W^3 + 0,312 \tau - 2,3 \cdot 10^{-2} \tau^2 + 5,9 \cdot 10^{-4} \tau^3 - 11,36 U_A + 0,51 U_A^2 + 4,25 \cdot 10^{-3} U_A^3 + 2,03 \cdot 10^{-2} L + 1,44 \cdot 10^{-3} L^2 - 0,376 \delta - 7 \cdot 10^{-4} \delta^2 + 1,54 \cdot 10^{-3} \delta^3 + 77,7.$$

Использование частных и комплексных технологических и энергетических критерияльных показателей установлены (рис. 5) зоны технологически приемлемых параметров подготовки и обработки зерна. Определено, что продолжительность отволаживания перед шелушением для зерна пшеницы при трех пропусках через машину $\tau = 15 \dots 23$ мин, ячменя 20...27 мин, кукурузы 13...25 мин. Взамен применяемых моечных машин, требующих значительных расходов воды для очистки поверхности зерна пшеницы от загрязнений и микрофлоры, был использован процесс шелушения; изменение содержания грибов C_r , C_b и бактерий определено выражениями

$$\begin{aligned} C_r &= -0,23\Delta W + 4 \cdot 10^{-2} \Delta W^2 - 2,6 \cdot 10^{-2} \tau + 8 \cdot 10^{-4} \tau^2 - 4 \cdot 10^{-2} \delta + \\ &+ 3,8 \cdot 10^{-3} \delta^2 - 0,75 Q + 0,25 Q^2 + 1,22; \\ C_b &= -8,5\Delta W + 1,3\Delta W^2 - \tau + 3 \cdot 10^{-2} \tau^2 - 1,45 \delta + 0,14 \delta^2 - 57,5 Q + \\ &+ 25 Q^2 + 60. \end{aligned} \quad (33)$$

Для достижения необходимого санитарно-гигиенического состояния поверхности зерна пшеницы была достаточной однократная обработка. При сьеме цветочных пленок ячменя при выработке комбикормов были получены аналогичные данные.

При $\Delta W = 3\%$ влажность оболочек при недостаточном отволаживании достигает 40%, поэтому была рекомендована массообменная сушка их в смеси с ошелушенным ядром. Изменение влажности $W_{об}$ отходов шелуше-

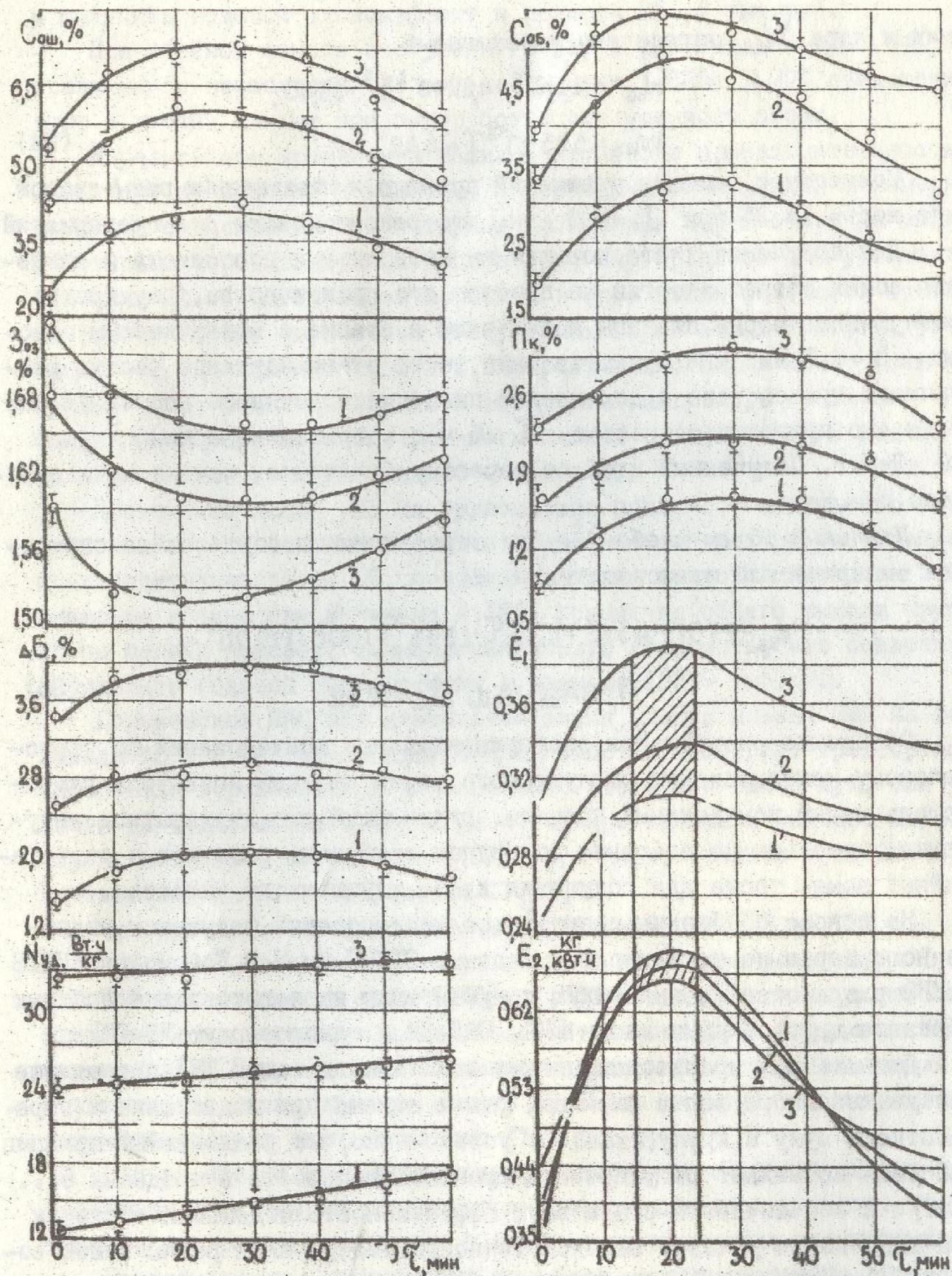


Рис. 5. Зависимость выхода отходов шелушения $C_{\text{ож}}$, оболочек $C_{\text{об}}$, потерь крахмала $П_{\text{к}}$, зольности зерна $Z_{\text{ож}}$, приращения битых зерен ΔB , удельного расхода энергии $N_{\text{уд}}$ и показателей E_1 и E_2 от продолжительности отволаживания зерна

ния и ядра $W_{шз}$ определено выражениями

$$\begin{aligned} W_{ос} &= -0,212T + 4,62 \cdot 10^{-4}T^2 + 39,43; \\ W_{шз} &= 5,25 \cdot 10^{-3}T + 14,42. \end{aligned} \quad (34)$$

Совместное решение уравнений привело к определению равновесной влажности 15,3% при $T = 240$ мин, что рекомендовано для предприятий.

Для получения хлеба повышенных питательных достоинств и снижения общих затрат энергии на процесс его производства, двухкратно ошелушенное зерно пшеницы измельчали в станке с межвальцевым зазором $\delta = 0,7$ мм. При приготовлении теста влагонабухание частиц различного грансостава и достижение пластическо-вязкого состояния определено продолжительностью $\tau = 6$ ч с затратами энергии $A_{чд}$ до 30 кДж/кг. Полученный хлеб по качеству был лучше, чем из муки обойного помола.

Удельный объем хлеба $V_{чд}$ из зерна пшеницы сорта Чайка определен эмпирической зависимостью

$$\begin{aligned} V_{чд} &= 27,5n - 4,5n^2 + 10,25\tau - 1,38\tau^2 + 180\delta - 122,2\delta^2 + \\ &+ 1,06A_{чд} - 19 \cdot 10^{-2}A_{чд}^2 + 183,2. \end{aligned} \quad (35)$$

Обобщение результатов экспериментальных исследований по рациональному использованию ошелушенного зерна пшеницы позволило разработать новый комплексный процесс, включающий его двухкратное шелушение, измельчение в станке до крупок требуемых размеров и двухстадийный замес теста для получения хлеба улучшенного качества.

На основе обобщения результатов исследований шелушения увлажненного зерна по техническому заданию ОТИП им. М. В. Ломоносова ЦКТБ ВНИИЗ разработало техническую документацию на изготовление опытных образцов двухроторных машин ШМД, ШМД-2Н и однороторную УИ-БШР.

Длительными производственными испытаниями машин ШМД при шелушении увлажненного зерна пшеницы, ржи и ячменя при подготовке к переработке в муку и крупу (глава 6) установлено, что реализуемый принцип действия позволяет регулировать производительность в пределах 6...12 т/ч и обеспечивать стабильную эффективность отделения оболочек при выполнении условий высокой точности дозирования распыляемой воды для увлажнения и соблюдения постоянства продолжительности отволаживания.

По данным испытаний Горьковской МИС, помол ошелушенного зерна ржи позволил повысить производительность мельзавода 200 т/сут на 10%, увеличить общий выход муки на 2,29%, выход сеяной муки на 6,3%

и получить годовой экономэффект в размере 221,3 тыс.руб.

При обойном помоле ошелушенного зерна ржи выходом 93...94%, по сравнению с неошелушенным, зольность муки 1,62% и 1,70% свидетельствует о лучших данных при переработке ошелушенного зерна.

В результате применения машин в крупощехе производительностью 120 т/сут на Минском комбинате, перерабатывающем ячмень в номерную крупу, в сопоставлении с четырьмя пропусками через обоечные машины и четырьмя через воздушные сепараторы, Миргородской МИС установлено, что при $Q = 6,0$ т/ч после первой и второй машин зольность составляла 1,98% и 1,90%, количество ошелушенных зерен 48,0% и 60,5%, увеличение ΔB составляло 1,5% и 1,9%; разрушение зерна после всех пропусков через обоечные машины и воздушные сепараторы достигало 32%. Последующая обработка ошелушенного ячменя в машине ЗШН-3 обеспечивала получение пенсака лишенного оболочек.

Применение машин ШМД на крупозаводе привело к сокращению восьми проходов через обоечные машины и воздушные сепараторы, повышению производительности на 5%, повышению выхода перловой крупы на 7,92%, снижению количества мучки на 4,15%, повышению общего выхода крупной крупы первых номеров, имеющих наибольшую стоимость, что позволило определить годовой экономэффект в размере 182,9 тыс.руб.

Горьковской МИС при длительной эксплуатации машины ШМД на мельзаводе №8 в г.Молодечно производительностью 140 т/сут трехсортного 78% помола зерна пшеницы установлено, что общий выход муки был увеличен на 1,5%, высшего сорта на 4,74% при снижении выходов первого сорта на 1,41% и второго на 2,32% и при норме белизны муки 24,43,73 фактическая белизна составляла 17,39,70.

Сравнительные обойные помолы зерна пшеницы с $Z = 1,78\%$ при выходе 93...94%, зольности ошелушенного и неошелушенного зерна 1,65% и 1,74% при зольности муки 1,63% и 1,70% подтверждают рациональность применения процесса шелушения. Годовой экономэффект определен МИС в размере 113,18 тыс.руб. Применение шелушительной машины позволило исключить из схемы моечную машину Ж9-Б'А и экономия от непроизводительного расхода воды составила 11,7 тыс.руб.

Для повышения износостойкости, надежности и эффективности процесса шелушения зерна было использовано рационализаторское предложение автора на применение в машинах колосниковых элементных сит.

Рекомендована к применению конструкция регулируемого грузового клапана, обеспечивающего без участия оператора поддержание постоянной величины необходимого межзернового давления в ее рабочей зоне.

Машину УІ-БШР представилось возможным применить для интенсивного смешивания и равномерного увлажнения зерна перед шелушением на мельзаводе 85% помола зерна пшеницы в Клевеве.

Приемочными испытаниями с участием Горьковской МИС, ЦКТБ ВНИИЗ, ОТИП им. М. В. Ломоносова, Житомирского механического завода трех машин УІ-БШР, установленных на мельзаводе производительностью 310 т/сут помола пшеницы Керченского КХП, средняя $Q = 7$ т/ч при $C_{об}$ до 2,0% и $N_{уд} = 3,05$ кВт ч/т зерна. По заключению комиссии, машины головной серии удовлетворяют требованиям к новой технике и рекомендованы к широкому внедрению.

Постоянная эксплуатация шелушительной и увлажняющей машин УІ-БШР в условиях Кировоградского КХП на мельзаводе сортового помола пшеницы производительностью 120 т/сут в период 1986...87 гг. позволила увеличить общий выход муки на 1,45%, увеличить выход I сорта на 2,27% при снижении выхода муки II сорта на 0,82%, снизить себестоимость на 29,3 тыс.руб., повысить производительность труда на 0,6% и получить годовой экономэффект 207,2 тыс.руб.

На Запорожском КХП производительностью 660 т/сут с внедрением машин по образцу УІ-БШР на мельзаводе 75% помола зерна пшеницы достигнуто повышение общего выхода муки на 1,78%, увеличен выход муки высшего сорта на 4,1%, первого сорта на 1,8% при снижении выхода муки II сорта на 4,4%, снижена себестоимость продукции на 220 тыс.руб., повышена производительность труда на 0,7% и за 1986 год получен экономэффект в размере 449,9 тыс.руб.

В результате внедрения в производство двух машин УІ-БШР на мельнице сортового 78% помола пшеницы на Кировоградском КХП в период с 1986...87 гг. общий выход муки повысился на 1,6%, увеличен выход муки высшего и I сортов на 2,5% при снижении выхода муки II сорта на 0,9% и получен годовой экономэффект 283 тыс.руб.

В течение 1987...88 гг. в Брилевке Херсонского управления хлебопродуктов на мельзаводе производительностью 100 т/сут трехсортного помола зерна пшеницы в результате внедрения машин УІ-БШР повышен общий выход муки на 1,55% с общим увеличением выхода муки высоких сортов на 2,4% при снижении выхода муки II сорта на 0,85% и годовой экономэффект по предприятию составил 112,0 тыс.руб.

Обобщение результатов длительной эксплуатации разработанных машин для шелушения увлажненного зерна пшеницы, ржи, ячменя при подготовке к переработке в муку, крупу и комбикорма позволило рекомендовать к реализации на зерноперерабатывающих предприятиях универсальную поточно-матинно-аппаратурную систему высокоэффективной обработ-

ки поверхности зерна без применения моечного процесса, требующего большого расхода дефицитной воды питьевых кондиций. Общий годовой экономэффект от внедрения машин составил 1054 тыс.руб.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Научно-исследовательскими работами по анализу строения, свойствам и рациональному использованию анатомических частей зерна пшеницы, ржи, ячменя и кукурузы, на основе разработанных частных и обобщенных критериев уровня его продовольственного использования, доказана целесообразность отделения верхних слоев оболочек при выработке муки, крупы и комбикормов.

2. Установлена недостаточная технологическая эффективность существующей техники и технологии отделения оболочек и доказана рациональность применения лопастных машин непрерывного действия при обработке увлажненного и кратковременно отволоженного зерна с использованием факторов межзернового давления, внешнего и внутреннего трения, создаваемых в рабочей зоне машины при его интенсивном перемешивании.

3. Для обоснования параметров подготовки зерна различных свойств к процессу шелушения разработаны, испытаны и рекомендованы к применению приборы, позволяющие по комплексу результатов прогнозировать эффективность отделения оболочек в машине при наименьших затратах энергии.

4. Для объективной оценки результатов шелушения зерна разработаны обобщенные технологические и энергетические критериальные показатели.

5. Получена математическая модель кинетики диффузионной влагопроводности оболочек зерна для оперативного расчета на ЭИМ параметров увлажнения и отволаживания перед шелушением.

6. Разработаны математические модели процессов движения и силового нагружения зерна под действием вращающихся лопаток ротора машины и установлена связь геометрических и кинематических параметров с учетом фрикционных свойств зерна.

7. Обоснованы рациональные значения геометрических и кинематических параметров: скорость лопаток $U_d = 16$ м/с, углы атаки $\alpha_p = \alpha_o = 45...50^\circ$, радиальный зазор лопаток $\delta = 6$ мм, осевой шаг $t_z = 0,045...0,050$ м и их расположение; определены траектория движения, радиальная, осевая и окружные компоненты скорости зерна пшеницы в пределах слоев, увлекаемых в движение, что было использовано при разработке конструкций производственных образцов машин.

8. Установлены закономерности процесса шелушения увлажненного зерна пшеницы, характеризуемые $\Delta W = 3\%$, $\tau = 15 \dots 20$ мин, $N_{уд} = 4,2$ кВт/ч, $C_{ов} = 3,0\%$, ΔB до $0,9\%$, $Q = 6 \dots 7$ т/ч, достигаемых при $\delta_k = 7$ мм и межзерновом давлении в пределах 100 кПа.

9. Определены условия обработки зерна кукурузы: $\Delta W = 5\%$, $\tau = 20 \pm 5$ мин, $\delta = 20 \dots 26$ мм, г. и массообменной сушке обо зчек с ошелушен н зерном при продолжительности $3 \dots 4$ ч влажность оболочек изменялась от 35% до $18 \pm 0,5\%$, а зерна от 13% до $15 \pm 0,5\%$. В результате двукратного шелушения зерна кукурузы ВМР-42 достигнут съем оболочек 92% , снижение содержания клетчатки $2 \dots 2,5$ раза, $\Delta B = 2 \dots 3\%$, что позволило уменьшить образование мучки, увеличить выход крупы № 1, 2, 3 на 10% и достигнуть выхода зародышевого продукта 12% масличностью до 31% при содержании его в зерне $12,5\%$ масличностью $33,1\%$.

10. Рациональные параметры подготовки к шелушению зерна ячменя характеризовались значениями $\Delta W = 4 \dots 5\%$, $\tau = 20 \dots 25$ мин, $U_n = 15 \dots 18$ м/с; при контактном влагообмене с ядром зерна при продолжительности $3 \dots 4$ ч влажность отходов шелушения снижалась с 40% до 20% , а увлажнение ядра происходило в пределах $2 \dots 4\%$, что приемлемо для его термической обработки.

11. Применение процесса шелушения с использованием машин ИМД и УИ-БШР пригело к улучшению санитарно-гигиенического состояния ошелушенного зерна пшеницы за счет снижения содержания грибов на $76 \dots 78\%$, бактерий на 99% , соответственно для ржи на 80% и 98% , ячменя на 90% и 95% , зерна кукурузы на 70% и 92% , что позволило рекомендовать к использованию на мельницах шелушительные машины вместо молотковых.

12. Разработана, испытана и рекомендована к применению поточная технологическая схема процессов подготовки и шелушения увлажненного зерна пшеницы, ржи и ячменя при переработке их в муку, крупу и комбикорма.

13. Предложен и экспериментально проверен новый комплексный процесс, включающий увлажнение, отвлаживание, двукратное шелушение, измельчение в вальцовом станке до крупок требуемых размеров и двухстадийный замес теста для получения хлеба, который по основным показателям лучше, чем из муки обойного помола нешелушенного зерна.

14. В результате внедрения машин УИ-БШР увеличен выход и улучшено качество муки и на четырех мельзаводах получен годовой экономический эффект 1054 тыс. руб.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. А.с. 161619 СССР. Кл. 50а, 4. Машина для непрерывного шелушения зерен /И.Р. Дударев, Л.И. Котляр, И.К. Кравченко и др. (СССР). - № 757312/28-13; Заявл. 26.12.61; Оpubл. 19.03.64, Бюл. №7.
2. А.с. 195232 СССР. Кл. 42. Гидродинамический излучатель ультразвука /И.Р. Дударев, Н.В. Георги, Л.И. Котляр, (СССР). - №902502/28-13; Заявл. 26.05.64; Не подлежит опубликованию в открытой печати.
3. А.с. 395773 СССР, М. Кл. ³01 п 33/02. Прибор для определения механических характеристик зерновок и их анатомических частей /С.Я. Поляков, И.Р. Дударев, В.Н. Поляков и др. (СССР). - №1253256/28-13; Заявл. 05.07.68; Оpubл. 28.08.73, Бюл. №35.
4. А.с. 420332 СССР. М. Кл. В. Машина для непрерывного шелушения зерна /И.Р. Дударев, Л.И. Котляр, И.К. Кравченко, А.И. Меньшенин и др. (СССР). - №1716038/28-13; Заявл. 19.11.71; Оpubл. 25.03.74, Бюл. №11.
5. А.с. 467608 СССР. М. Кл. ³В 028 3/08. Машина для непрерывного шелушения зерна. /И.Р. Дударев, П.П. Тарутин, Л.И. Котляр и др. (СССР). - №1908279/28-13; Заявл. 16.04.73; Оpubл. 05.03.75, Бюл. №9.
6. А.с. 596279 СССР. М. Кл. ² Машина для непрерывного шелушения зерна /И.Р. Дударев, Л.И. Котляр, И.К. Кравченко и др. (СССР). - №2189511/13; Заявл. 1.11.75; Оpubл. 09.02.78, Бюл. №9.
7. А.с. 601849 СССР. М. Кл. ² Устройство для замеса теста /И.Р. Дударев, В.Ф. Петько, А.А. Мищенко и др. (СССР). - №2414350/28-13; заявл. 25.10.76; Не подлежит опубликованию в открытой печати.
8. А.с. 748175 СССР. М. Кл. ² Устройство для определения сопротивления материалов сдвигу /И.Р. Дударев, В.Н. Петров, А.А. Соловьев и др. (СССР). - №2600926/25-28; Заявл. 05.04.78; Оpubл. 20.07.80, Бюл. №26.
9. А.с. 800823 СССР. М. Кл. ³ Устройство для определения сыпучести материалов /И.Р. Дударев, В.Н. Петров, В.Ф. Петько и др. (СССР). - №2665992/18-25; Заявл. 25.09.78; Оpubл. 03.02.81, Бюл. №4.
10. А.с. 908380 СССР. Кл. ³В 028 3/08. Машина для непрерывного шелушения зерна /И.Р. Дударев, А.И. Меньшенин, В.П. Зайцев и др. (СССР). - №296011/28-13; Заявл. 18.07.80; Оpubл. 28.02.82, Бюл. №8.
11. А.с. 918819 СССР. М. Кл. ³ Устройство для определения сыпучести материалов /И.Р. Дударев, В.Н. Петров, В.Ф. Петько и др. (СССР). - №2963587/18-25; Заявл. 21.07.80; Оpubл. 07.04.82, Бюл. №13.
12. А.с. 947689 СССР. М. Кл. ³ Устройство для испытания сыпучих материалов /И.Р. Дударев, В.Ф. Петько, В.Н. Петров и др. (СССР). - № 2974438/25-28; Заявл. 18.08.80; Оpubл. 30.07.82, Бюл. №28.
13. А.с. 974266 СССР. М. Кл. ³ Прибор для определения механических ха-

- рактистик зерновок /А.А.Соловьев, И.Р.Дударев, В.Н.Петров и др. (СССР). - №2962715/28-13; Заявл. 18.07.80; Оpubл. 15.11.82, Бюл. №42.
- 14.А.с. 1285641 СССР. М.Кл.² Тестовой гластификатор /В.Ф.Петько, И.Р.Дударев, Г.Ф.Козлов и др. (СССР). - №3583023/17-14; Заявл. 20.04.83; Оpubл. 22.09.86, Бюл. №25.
- 15.А.с. 1308503 СССР, А2. Лопастной смеситель непрерывного действия для сыпучих материалов /И.Р.Дударев, П.К.Попченков, В.Я.Гамолитч и др. (СССР). - №3775686/29-33; Заявл. 25.07.84; Оpubл. 07.05.87, Бюл. №17.
- 16.А.с. 1412803 СССР, А1. Устройство для шелушения, шлифования и полирования зерна /Л.И.Гросул, И.Р.Дударев, В.Ф.Петько и др. (СССР). - №4186235/30-13; Заявл. 26.01.87; Оpubл. 20.07.88, Бюл. №28.
- 17.Шелушительная машина для зерна /И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, М.В.Рыбников и др. (СССР). - №4223836/13/057420; Заявл. 14.09.87. Положительное решение ВНИИГПЭ от 24.06.88.
- 18.Машина для шелушения зерна /И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, В.Ф.Петько и др. (СССР). - №4154060/30-13/165580/. Заявл. 23.12.87. Положительное решение ВНИИГПЭ от 23.03.88.
- 19.Шелушительная машина для зерна /И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, М.В.Рыбников и др. (СССР). - №3261223/31-13/095088. Положительное решение ВНИИГПЭ от 29.11.88.
- 20.Гросул Л.И., Дударев И.Р., Котляр Л.И. Форма поверхности и объем зерновки пшеницы. - Изв.вузов. Пищ.технология, 1972, №4, с.17-20.
- 21.Гросул Л.И., Дударев И.Р., Котляр Л.И. Прочность связи между оболочками зерна пшеницы. - Изв.вузов. Пищ.технология, 1973, №2, с.9-13.
- 22.Гросул Л.И., Дударев И.Р., Котляр Л.И. Исследование фрикционных свойств зерна пшеницы в связи с его шелушением. - Изв.вузов. Пищ.технология, 1974, №3, с.131-135.
- 23.Гросул Л.И., Дударев И.Р., Котляр Л.И. К оценке технологической эффективности шелушения зерна. - Изв.вузов. Пищ.технология, 1977, №5, с.61-65.
- 24.Дударев И.Р., Котляр Л.И. Производственные испытания винтопрессовой шелушительной машины //Хранение и перераб.зерна/ЦБТИ Минхлебопродуктов СССР. Сер.Мухом.-круп.пром-сть. -1959.-№9. С.25-27.
- 25.Дударев И.Р., Георги Н.В., Котляр Л.И. влияние ультразвука на ударную прочность зерновок пшеницы при мойке водой. - Изв.вузов, Пищ.технология, 1963, №2, с.55-63.
- 26.Дударев И.Р., Калишевич И.В., Котляр Л.И. Технологические исследования шелушителя увлажненной пшеницы. - Изв.вузов. Пищ.технология, 1961, №1. -с.71-79.

27. Дударев И.Р. Лабораторное исследование винтопрессового способа шелушения увлажненной пшеницы. -Тр./Одес.технолог. ин-т, -II, 1961, с.127-137.
28. Дударев И.Р., Настагунин И.В., Котляр Л.И. Интенсификация процесса шелушения зерна кукурузы //Материалы Всесоюзной научн.конференции по актуальным вопросам технологии современного мукомольного и крупяного производства ВНИИЗерна и продуктов его переработки. -1966. -С.333-345.
29. Дударев И.Р., Настагунин И.В., Гросул Л.И. Аналитическое исследование процессов обработки поверхности зерна в роторно-лопастных шелушительных машинах//Тезисы докл.Всесоюз.конф."Научн.-технич. прогресс в зерноперераб.пром-сти". Одесса, 1977. -С.39-40.
30. Дударев И.Р. Сборно-элементные сита повышенной износостойкости для оборудования мельничных, крупяных и комбикормовых производств. //Рационализаторское предложение №431. Заявл. 12.04.77. Принято Министерством хлебопродуктов СССР.
31. Дударев И.Р. Поле напряжений зерновой смеси в роторно-лопастной шелушительной машине //Тезисы докл. на IV Всесоюз.конф. "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1980. -С.187.
32. Дударев И.Р., Настагунин И.В. Влияние плотности укладки зерна на эффективность шелушения//Тезисы докл. на IV Всесоюз.конф. "Механика сыпучих материалов". Одесса. -С.205-206.
33. Дударев И.Р. Кинетика дискретного зернового потока в лопастной шелушительной машине//Изв.вузов. Пищ.технология. -1988. -№3, -С.107.
34. Дударев И.Р. Динамика трехмерного нарушения зерна в лопастной шелушительной машине. -В кн:Сборник статей "Интенсификация процессов и новые технологии переработки, хранения и транспортирования в АПК" "Наукова думка", Киев, 1989. с.10-22.
35. Дударев И.Р. Кинетика влагопроводности оболочек зерна. Тр./Одесский сельскохозяйств.ин-т. Одесса, 1988. С.121-126.
36. Дударев И.Р. Диффузия влаги оболочек зерен в начальной фазе увлажнения, Тез.докл.(англ.) VIII Международный конгресс по зерну и хлебу, Лозанна, Швейцария, 1988.
37. Некоторые структурно-механические свойства зерен кукурузы. И.В.Настагунин, И.Р.Дударев, Л.И.Котляр, Н.Я.Кестельман//Изв.вузов. Пищ.технология.- 1965. -№5. -С.22-28.
38. Настагунин И.В., Дударев И.Р., Котляр Л.И. Влияние степени увлажнения и длительности отволаживания зерна кукурузы на эффективность шелушения. -Изв.вузов.Пищ.технология, 1966, №4.-С.5-64.
39. Настагунин И.В., Дударев И.Р., Котляр Л.И. Влияние кинематических

- и установочных параметров шелушителя на отделение оболочек зерна кукурузы//Изв.вузов. Пищ.технология. -1967. -№2. -С.50-56.
- 40.Настагунин И.В.,Дударев И.Р.,Котляр Л.И. Влияние предварительного шелушения на эффективность переработки зерна кукурузы в крупу с отделением зародыша//Изв.вузов.Пищ.технология.-1969.-№1.С.72-76.
- 41.Настагунин И.В.,Дударев И.Р.,Котляр Л.И.Определение прочности зерна кукурузы методом испытания на микротвердость //Изв.вузов. Пищ.технология. -1969. -№5. -С.162-164.
- 42.Настагунин И.В.,Дударев И.Р.,Котляр Л.И. Эффективность шелушения зерна кукурузы в зависимости от способа его подготовки. -Хранение и перераб.зерна/ЦИНТИ Госкомзага, 1969, вып.4. -С.3-7.
- 43.Настагунин И.В.,Дударев И.Р.,Котляр Л.И.Технологические предпосылки к моделированию фрикционного шелушителя для зерна кукурузы //Республ.межведомств.научн.-техн.сб. Пищевая пром-сть. -1970. -№11. С.127-133 (на укр.языке).
- 44.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."Механика сыпучих материалов",Одесса,1980, с.207.
- 45.Трубов В.В.,Дударев И.Р.,Санчес Ф.В. Обработка поверхности зерна без применения моечного процесса. -В кн:Тез.докл.X Всесоюз. конф. "Пути совершенствования технологических процессов для производства, хранения и транспортирования продуктов питания". М.: 1984. -С.17.
- 46.Шелушение увлажненной пшеницы/И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, А.Н.Киселев, И.К.Кравченко//Хранение и перераб.зерна/ ЦНИИТЭИ Минзага. Сер.Муком.-круп.пром-сть. -1973. -Вып.2. -С.34-35.
- 47.Шелушение увлажненной пшеницы на винтопрессовой установке. /Н.В.Роменский, И.Р.Дударев, И.К.Кравченко, И.В.Настагунин//Хранение и перераб.зерна/ЦИНТИ Госкомзага. -1965. -Вып.5. -С.17-21.
- 48.Энергетическая оценка роторно-лопастного смесителя непрерывного действия /В.Я.Гамолич, В.В.Трубов, И.Р.Дударев.-Одесса, 1984. -9с. -Деп. в ВИНТИ 01.06.84. №468 зг-Д 84.
- 49.Дударев И.Р.Кинетика проводимости влаги оболочками зерна пшеницы. -В кн: Тез.докл.областной межвузовской конф. Одесса, 1989. -С.169-170.

