

Автор ер.  
Н-32

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени М.В. Ломоносова

---

На правах рукописи

Аспирант И. В. НАСТАГУНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ  
ЗЕРНА КУКУРУЗЫ  
В РОТОРНОМ ФРИКЦИОННОМ ШЕЛУШИТЕЛЕ

Переведено 1984

А в т о р е ф е р а т  
диссертационной работы, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Научные руководители -  
профессор Л.И.КОТЛЯР,  
доцент И.Р.ДУДАРЕВ

Одесса - 1967

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени М.В. Ломоносова

На правах рукописи

Аспирант И. В. НАСТАГУНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ  
ЗЕРНА КУКУРУЗЫ  
В РОТОРНОМ ФРИКЦИОННОМ ШЕЛУШИТЕЛЕ

А в т о р е ф е р а т  
диссертационной работы, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Научные руководители –  
профессор Л.И.КОТЛЯР,  
доцент И.Р.ДУДАРЕВ

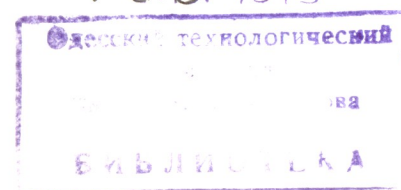
Автор ✓ 001519  
И-32 НАСТАГУНИН И. В.  
Иссл. проц. обр. зерна  
1967 0/4  
23.12 Бунин Е. В. м.г.г.в.


12

ОБНАХІ 20.06.12  
Исследование процесс



v001519



Одесса - 1967

Одесский технологический институт имени М.В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертационной работы аспиранта И.В. НАСТАГУНИНА „Исследование процесса обработки зерна кукурузы в роторном фрикционном шелушителе“, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита состоится „ 30 „ ИЮНЯ 1967 г.

Ваши отзывы (в двух экземплярах) просим направлять по адресу: г. Одесса, А-39, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт имени М.В.Ломоносова.

Ученый секретарь Совета (Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ)

Экспериментальная часть работы выполнена в лабораториях кафедр „Технологическое оборудование“ и „Технология переработки зерна“ Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова.

В Программе КПСС указано, что одной из важных народнохозяйственных задач является ускорение научно-технического прогресса, совершенствование техники и технологии производства на основе современных достижений науки, которая в полной мере становится непосредственной производительной силой. Поэтому в Директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966-1970 годы предусмотрена необходимость всемерного использования их результатов, обобщенных в виде прогрессивных и экономичных решений актуальных производственных задач.

Перед мукомольно-крупяной промышленностью также поставлен комплекс актуальных задач, связанных с совершенствованием техники и технологии производства и направленных на повышение уровня продовольственного использования зерна, улучшение качества и расширение ассортимента вырабатываемых продуктов.

Для выработки продовольственных продуктов широко используют зерно кукурузы; при относительно высоком содержании эндосперма - 80 ÷ 85% - оно по пищевой ценности не уступает зерну злаковых культур - пшенице и ржи. Однако низкая пищевая ценность оболочек и высокая маслячность зародыша кукурузы обуславливают необходимость предварительного отделения их при подготовке зерна к переработке. Помимо этого, отделение зародыша целесообразно и для обеспечения возможности длительного хранения крупы и муки. Следовательно, получение оптимального количества высококачественных продовольственных продуктов из зерна кукурузы тесно связано с решением технологически-комплексной задачи наиболее полного разделения зерновок на анатомически составные части.

Успешному решению указанных задач в значительной мере должно способствовать предварительное эффективное шелушение зерна кукурузы при подготовке его к переработке. Технологически эта операция, направленная на достаточно полное отделение оболочек от зерновок, должна значительно

интенсифицировать извлечение глубоко залегающего зародыша в процессе последующего измельчения ошелушенного зерна при выработке пятиномерной шлифованной крупы.

Применяемые средства шелушения кукурузы и переработки последней недостаточно эффективны. Об этом, в частности, свидетельствуют нормативно низкий относительный выход крупы - 68%-и извлечение зародыша в пределах 30 ± 60%. Поэтому для круяных заводов весьма актуальным является создание высокоэффективного шелушителя, оперативно настраиваемого на оптимальный режим исходя из физико-технологических свойств обрабатываемого зерна и конечных задач производства.

Реферируемая работа состоит из введения и семи глав, в которых рассмотрены следующие вопросы:

1. Анатомо-морфологические особенности и химический состав зерна кукурузы в связи с промышленным использованием его и приемами переработки в продовольственные продукты.

2. Обзор принципов действия шелушительных машин, конструктивно-технологические особенности и оценка эффективности их действия при обработке зерна злаковых культур.

3. Механико-технологические предпосылки к созданию модели непрерывно-действующего роторного фрикционного шелушителя.

4. Экспериментальная оценка структурно-механических свойств зерна кукурузы в связи с водно-тепловой обработкой и реализуемыми воздействиями на него в рабочей зоне шелушителя.

5. Технологические исследования эффективности отделения оболочек от зерна кукурузы в зависимости от способа подготовки его, кинематических и конструктивно-установочных параметров шелушителя.

6. Комплексные технологические исследования и оценка технико-экономической эффективности выработки пятиномерной крупы из зерна кукурузы с попутным отделением зародыша.

7. Аналитическое обоснование (на базе теории подобия и размерности) предпосылок к конструированию опытно-промышленного образца роторного фрикционного шелушителя и условий поддержания в нем оптимального тепло-влажностного режима.

Статистические зависимости представлены графически; в необходимых случаях они аппроксимированы аналитическими выражениями, полученными выравниванием рядов распределений методом средних. Для оценки рассеяния и колеблемости вариантов произведены вычисления основных статистических характеристик и важнейших ошибок измерений.

Значительный вклад в совершенствование техники и технологии выработки крупы и муки из зерна кукурузы внесены исследованиями, проведенными работниками промышленности (Л.И.Шехтман, С.И.Щербаков), ВНИИЗа (А.М.Братухин, П.П.Тарутин), МТИППа (Я.Н.Куприц, В.Т.Любушкин) ОТИ имени М.В.Ломоносова (П.Г.Демидов, С.М.Золотарев, Н.В.Ромеянский, А.П.Скляренок), ВНИЭКИПродмаша (Я.М. Жислин, А.Я.Соколов).

Исследования в области шелушения, выполненные в лабораторных и производственных условиях, были основаны, главным образом, на использовании технических средств, применяемых для воздушно-сухой обработки покровов зерна. Поэтому, судя по обзору технологических приемов промышленной переработки зерна кукурузы в крупу и в муку, наиболее широкое применение нашли машины ударного и измельчающего действия, в которых отделение оболочек достигается в результате дробления зерна. При этом образуются продуктовые смеси, весьма сложно классифицируемые по аэромеханическим, геометрическим и фрикционным признакам.

Проведенная нами оценка эффективности действия производственного дежерминатора на Днепропетровском заводе пищевых концентратов показала, что несмотря на сравнительно высокий съем оболочек - 90% - и попутное отделение зародыша в количестве 5,5 - 6,7% масличностью 28%, образуется до 25% смеси мучки и крупок, представляющей практически неклассифицируемый продукт с высокой масличностью, достигающей 4-5%, и со значительным содержанием клет-

чатки - 5-6%.

Нерационально применение ударно-бичевых машин и в качестве средств предварительного шелушения. Так, за один пропуск увлажненного зерна кукурузы через обочную машину относительный съем оболочек достигает 25-40%; при этом приращение поврежденных зерновок составляет 5-6%. Повторная обработка такого зерна становится неприемлемой из-за интенсивного измельчения его.

Следует учесть, что зерно кукурузы должно быть отнесено к группе злаковых культур с весьма прочными природными связями оболочек с эндоспермом. Вследствие этого процесс шелушения таких зерновок, отличающихся к тому же сравнительно неправильной формой, достаточно сложен.

Несоответствие принципов действия применяемых машин структурно-механическим свойствам перерабатываемой кукурузы является существенной причиной, предопределяющей недостаточную эффективность реализуемых технологических приемов переработки зерна. Значительны потери эндосперма в виде кормовой мучки: выход ее по европейскому способу переработки составляет до 25% (содержание жира 4%), по способу итальянской фирмы „Окрим“ - 22-38% (содержание жира 3-7%), по американскому способу 30-35% (содержание жира 3,5-5%); в результате суммарные потери эндосперма достигают 1/5 - 1/3 от массы зерна.

Общим конструктивно-технологическим недостатком большинства рассмотренных машин является невозможность рационального изменения динамического режима шелушения подлине рабочей зоны при достаточно равномерном протекании этого процесса на отдельных участках последней. Существенно снижает эффективность действия шелушителей сравнительно низкая степень заполнения рабочей зоны и отсутствие устройства для варьирования динамических условий воздействия рабочих органов.

Различие физико-технологических свойств зерна кукурузы, являющегося биологическим объектом, обуславливает два подхода к созданию высокоэффективного шелушителя: первый - образование серии машин, различных по принципу действия и конструкции, второй - создание универсального

шелушителя, действие которого базируется на обработке зерна с рационально преобразованными структурно-механическими свойствами и на реальном учете механики машины, т. е. кинематики и динамики ее.

Разумеется, что второй подход является технически и экономически более рациональным при условии создания возможности установочной и оперативной настройки машины на технологически оптимальный режим.

Важнейшими условиями повышения эффективности процесса шелушения являются:

варьируемое межзерновое давление в рабочей зоне, модуль которого предопределяют регулируемые степень заполнения и выпускная способность машины;

интенсивное перемешивание обрабатываемого зерна, достигаемое применением конструктивно различных подвижных и неподвижных элементов.

Сопоставление технологической эффективности различных шелушителей приводит к выводу, что одним из наиболее рациональных является фрикционный принцип действия.

В основу проектирования экспериментальной модели шелушителя была положена конструктивно-технологическая идея, заключающаяся в том, что различная интенсивность обработки может достигаться путем изменения модулей нормальных и касательных сил, приложенных к зерновкам. При этом полезную работу  $W$ , потребную для обработки зерна в машине в течение времени  $\tau_0$ , определяет совокупность механических и геометрических параметров:

$$W = S_{p3} L_{p3} \bar{q}_{oc} \bar{v}_{oc}^2 \left( \frac{A}{\Delta R} + 2\varphi \right) \tau_0 \quad [дж],$$
 где  $S_{p3}$ ,  $L_{p3}$ ,  $\varphi$  - соответственно площадь, длина и степень заполнения зерном рабочей зоны машины;

$\Delta R$  - радиальный зазор, образуемый ротором и обечайкой;

$\bar{q}_{oc}$  и  $\bar{v}_{oc}$  - осредненные по длине рабочей зоны соответственно скорость продольного перемещения зерна и удельное осевое давление;

$A$  и  $\mathcal{D}$  - коэффициенты, численные значения которых определяют физико-технологические свойства зерна и условия его обработки.

Анализируя выражение при  $S_{ps} = Const$  и  $L_{ps} = Const$ , можно прийти к выводу, что значение  $W$  обуславливает группа факториальных параметров:  $\Delta R$ ,  $\varphi$ ,  $\bar{q}_{oc}$  и  $\bar{v}_{oc}$ .

Радиальный зазор  $\Delta R$  - параметр, реализуемый установочно; значение  $\varphi$  обусловлено, главным образом, загрузочными и кинематическими режимами; модули  $\bar{q}_{oc}$  и  $\bar{v}_{oc}$ , являясь взаимосвязанными, находятся в зависимости от совокупности геометрических, кинематических и загрузочных параметров.

В процессе опытного конструирования создана модель шелушителя, включающая нижеследующие устройства (рис.1).

Гравитационный питатель 1 с бункером для приема зерна и поворотным клапаном для равномерно-дозированной подачи его в питающе-распределительную зону машины.

Рабочий орган образуют:

цилиндрический ротор 2 с установочно-поворотными и радиально-перемещаемыми транспортирующими 11 и отражающими 4 лопатками, расположенными с круговым шагом  $90^\circ$  и продольным шагом соответственно равным 0,35 и 1,05 начального диаметра ротора  $R_0$ ;

комбинированная обечайка, верхняя половина 3 которой - многозубчатая, нижняя 8 - перфорированная;

дросселирующе-выпускное устройство 6, позволяющее посредством шести ограниченно-поворотных лопаток 5 варьировать расходную скорость зерна и тем самым изменять модуль межзерновых давлений;

оперативная установка дросселирующих лопаток и фиксирование их в заданном положении достигается упорно-винтовым механизмом.

Трансмиссионно-передаточный механизм образует асинхронный электродвигатель с набором сменных

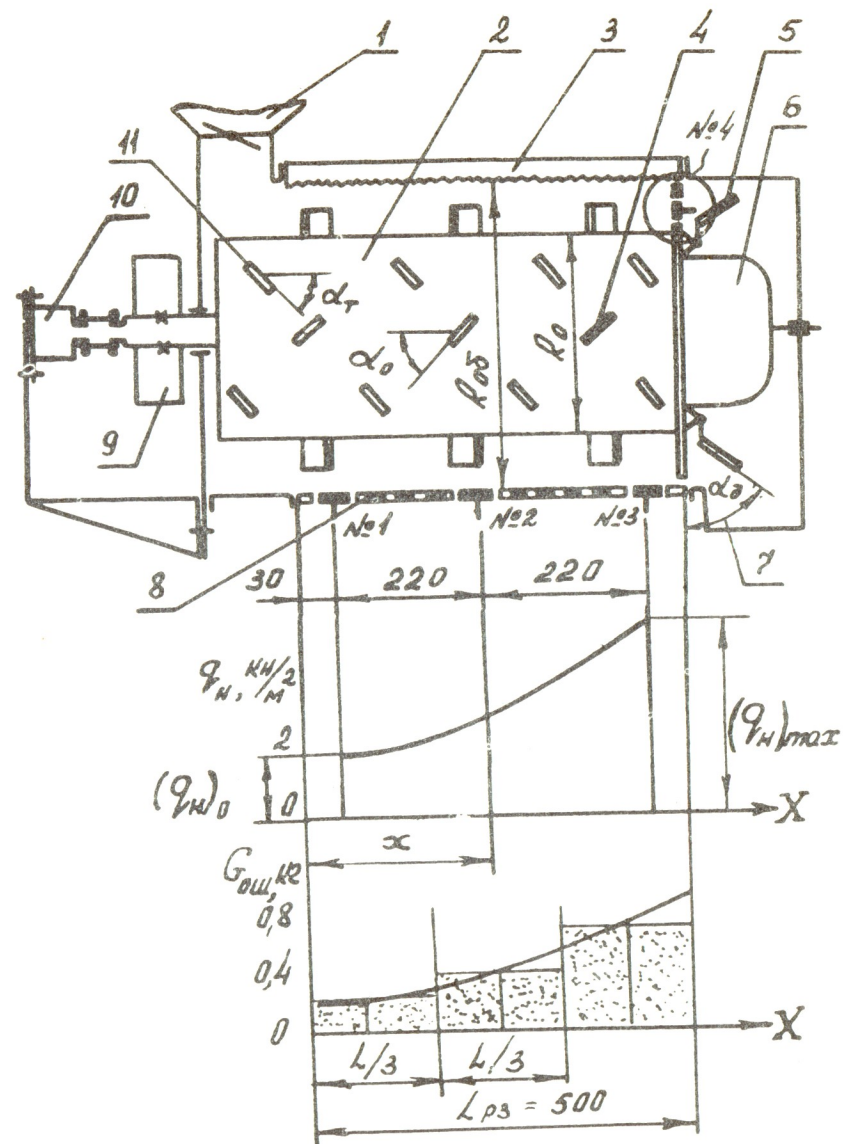


Рис. 1.

шківов 9, сочлененный с ротором машины гибкой передачей.

Сборно-выводящее устройство 7 для передачи в специальные емкости ошелушенного зерна и выводимых через перфорированную обечайку отходов шелушения.

Аспирационная система для поддержания тепло-влажностного режима, предотвращающего конденсацию влаги в связи с трансформированием значительной части подводимой механической энергии в тепловую.

Конструктивное решение модели таково, что создана возможность изменять факториальные параметры в таких интервалах: а) расход обрабатываемого зерна (по первому пропуску) -  $Q = 50 \div 350$  кг/час; б) угол отклонения лопаток дросселирующе-выпускного устройства -  $\alpha_g = 0 \div 90^\circ$ ; в) углы атаки транспортирующих и отражающих лопаток ротора -  $\alpha_r = \alpha_o = 15 \div 75^\circ$ ; г) радиальный зазор -  $\Delta R = 0 \div 30$  мм; д) угловую скорость лопаточного ротора -  $n_p = 415 \div 1060$  об/мин ( $\omega_p = 44 \div 113$  1/сек).

Избирая определенный порядок чередования транспортирующих и отражающих лопаток, ориентацию их относительно оси вращения ротора, получаем возможность осуществлять циркуляционное движение зерна с различным расходом его; при этом изменяется интенсивность и продолжительность обработки зерна. Задаваемый динамический режим можно реализовать путем варьирования угловой скорости вращения лопаточного ротора и радиального зазора между обечайкой и внешними кромками лопаток. Следовательно, геометрия элементов рабочего органа шелушителя в сочетании с кинематическими условиями его действия должна способствовать рациональному согласованию как транспортных и технологических движений обрабатываемых зерновок, так и целесообразному приложению к ним внешних сил.

Для оценки механического режима шелушитель оснащен следующими измерительными средствами:

системой двигатель-весы для измерения крутящего момента на валу двигателя;

тахометром для измерения угловой скорости лопаточного ротора;

блок-схемой для измерения удельных давлений зерновой массы по длине рабочей зоны, включающей систему тензодатчиков № 1, 2, 3 - для измерения нормального и № 4 - осевого давления (рис. 1), стабилизатор напряжения типа С-0,5, выпрямитель тока, четырехканальный тензометрический усилитель типа ТУ-4 и милливольтметры; схема соединения тензодатчиков - равноплечая мостовая. Для измерения удельного осевого давления на торце вращающегося дросселя смонтирована ртутный токосъемник 10 конструкции ЦОКБ МСХ СССР.

Рациональное управление процессами промышленной переработки кукурузы требует всестороннего изучения и достоверной оценки структурно-механических, точнее, реологических свойств зерна как объекта воздействия рабочих органов шелушительных и измельчающих машин.

Из работ Александра В.Г., Алявдиной А.Л., Гирсона В.Я., Ильвицкого Н.А., Калишевича И.В., Кравченко И.К., Куприца Я.Н., Наумова И.А., Ребиндера А.П., Роменского Н.В., Таругина П.П., Шалла и других следует, что водно-тепловая обработка кукурузы, способствующая возникновению и развитию релаксационных процессов, является фактором технологически целесообразного и направленного изменения структурно-механических свойств зерновок. При этом кинетику поглощения влаги и ее распределение в массе вещества предопределяют продолжительность контакта с водой, температура и физико-химические особенности последней, а также продолжительность отволаживания зерна.

Статистическая обработка результатов исследований позволила получить эмпирическую зависимость степени увлажнения  $\Delta B$  подопытного зерна от продолжительности контакта его с водой  $t_k$  и температуры  $t_B$  последней в таком виде:

$$\Delta B = \frac{100}{24 - 0,2 t_B} \lg 0,9 t_k.$$

При варьируемых значениях  $t_k$  и  $t_B$  соответственно в интервалах  $10 \div 60$  мин и  $20 \div 80^\circ\text{C}$  приведенная зависимость дает абсолютные отклонения вычисленных значений

$\Delta B$  от экспериментальных в пределах  $0,2 \div 0,5\%$ . Задаваемая степень увлажнения  $\Delta B$  может быть достигнута чис-

ленным сопряжением аргументов: увеличением  $t_p$  при уменьшении  $t_k$  либо наоборот.

Фазовые превращения проникающей влаги не только понижают прочность соединения оболочек с эндоспермом, но и приводят к „предразрушению“ зерновок. Поскольку механические свойства последних существенно зависят от крупности и массы, а также от соотношения площадей, занимаемых в продольном сечении мучнистой и роговидной частями эндосперма, технологически важным является экспериментальное обоснование интенсивности водной обработки зерна, при которой эти различия для данного сорта становятся менее существенными и достигается оптимальный режим шелушения.

Реологические свойства с различным развитием роговидности эндосперма исследовали на восьми сортах кукурузы. При этом статистически изучали микротвердость эндосперма и оболочек, сопротивляемость зерновки раскалыванию при одноосном сжатии их клиновидными инденторами и ударную прочность зерновок как комплексных конструкций.

Микромеханические испытания твердости эндосперма и оболочек зерновок естественной влажности и увлажненных водой производили на приборе ПМТ-3. В результате испытаний установлено, что по сравнению с эндоспермом микротвердость оболочек сухого зерна в 1,5 ÷ 7,5 раза больше; причем это различие более существенно для сортов зубовидной кукурузы, так как превалирование в ней мучнистой части эндосперма над роговидной обуславливает по сравнению с кремнистыми сортами микротвердость эндосперма в 1,5 ÷ 2 раза меньшую.

Статистически выявлено, что микротвердость эндосперма находится в прямой зависимости от объема зерновок:

$$\bar{H}_3 = \bar{H}_{min} + k V_3^m,$$

где  $\bar{H}_{min}$  — осредненная микротвердость эндосперма мелкого зерна;

$V_3$  — объем зерновки;

$k$  и  $m$  — коэффициенты, численные значения которых обусловлены структурно-механическими особенностями зерна кукурузы.

Установлено, что с увеличением влажности зерна от 12% до 18% микротвердость эндосперма и оболочек последовательно снижается. Процесс набухания зерновок при влажности 23 ÷ 26% значительно усиливается, в результате чего микротвердость анатомических частей зерна различных сортов становится почти одинаковой.

Напряжение  $\sigma_3$ , возникающее при выдавливании материала индентором, находится в прямой зависимости от микротвердости и в обратной зависимости от коэффициента трения слоев, перемещающихся относительно стенок лунки. Исходя из этого, аналитически получена зависимость

$$\sigma_3 \approx 0,4 H_3.$$

Таким образом, микротвердость косвенно определяет прочность зерновок.

Учитывая характер деформации зерновок кукурузы в рабочей зоне шелушильной машины при контактировании их с зубчатой обечайкой, исследовали сопротивляемость их раскалыванию клиновидными стальными инденторами при одноосном сжатии. Опыты производили на рычажно-маятниковом приборе и машине модели МР-0,05. Усилия разрушения зерновок плоским индентором и с углами заострения 60°, 90°, 120° измеряли динамометром сжатия типа ДС-0,5, снабженным индикатором часового типа второго класса точности.

Измерения показали, что с увеличением влажности нешелушенных зерновок разрушающие их усилия уменьшаются, причем для ошелушенных зерновок они соответственно меньше (примерно в 1,8 раз). По мере уменьшения угла заострения индентора и массы зерновок усилия, необходимые для раскалывания последних, резко уменьшаются. Замечено, что большей сопротивляемостью раскалыванию обладают зерновки кремнистых сортов кукурузы.

При обработке зерна в машинах ударного действия механическую прочность предопределяет сопротивляемость упругому и пластическому деформированию, которая оценивается работой внешних сил, действующих на зерновки. Последние в рабочей зоне подвержены ударному нагружению вращающимися элементами рабочего органа.

Для косвенной оценки сопротивляемости зерновок ударному разрушению был применен копер со свободно падающим бойком. Исследованиями установлено, что ударная прочность зерновок кукурузы с увеличением их влажности от 10% до 15% возрастает примерно в  $1,2 \div 1,5$  раза. Независимо от влажности с увеличением массы отдельных зерновок работа, необходимая для ударного разрушения, увеличивается; работа же, необходимая для разрушения совокупности зерновок, масса которой постоянная, с увеличением крупности отдельных зерновок существенно уменьшается.

Рассматривая зерновки как упруго-вязкие тела, общую деформацию сжатия их, складывающуюся из упругой и пластической деформаций, можно связать с напряжением, пользуясь уравнением Максвелла. В связи с этим выбор кинематических и динамических условий действия рабочего органа шелушителя должен быть ограничен условиями, при которых не наступают вслед за пластическими деформациями локальные и общие разрушения зерновок.

В рабочей зоне шелушительной машины преобладают деформации сжатия и сдвига (скалывания). С этих позиций наименьшей сопротивляемостью обладают зубовидные сорта кукурузы. Особенностью последних является периферийное расположение легкоразрушаемого мучнистого эндосперма и плоская форма зерновок. Обработка такого зерна сопровождается образованием большого количества поврежденных зерновок и, следовательно, потери эндосперма с отходами шелушения могут быть значительными. Поэтому зубовидные сорта кукурузы следует отнести к группе культур, наиболее трудно поддающихся шелушению. В этой связи важно исследовать технологические возможности машины по достаточному отделению оболочек при обработке именно такого зерна кукурузы.

Исходя из изложенного, в качестве объекта исследования было избрано желтое зубовидное зерно кукурузы ВИР 42.

Технологически оптимальный режим увлажнения зерновок при подготовке их к шелушению должен быть сообразован со значением модуля усилия, необходимого для отрыва и среза оболочек. Используя прибор для тензометрических

измерений этих усилий, определили, что для ВИР 42 увеличение влажности с 14% до 19% приводит к тому, что усилие отрыва оболочек снижается в 1,6 раза. Максимальное ослабление связей оболочек с эндоспермом практически достигается при доведении влажности зерновок до  $18 \pm 0,5\%$  и продолжительности отволаживания  $20 \div 30$  мин.

Кратковременное отволаживание зерна обуславливает проникновение влаги лишь в оболочки. При этом различие механических свойств последних и эндосперма становится менее существенным, т.е. при неизменной прочности эндосперма снижается прочность оболочек. Повышение влажности оболочек, кроме того, приводит к увеличению сил трения скольжения зерновок по опорным поверхностям с различной шероховатостью, что должно интенсифицировать процесс шелушения. Поскольку интенсивность среза оболочек в результате обработки их зубьями комбинированной обечайки возрастает с увеличением нормального нагружения зерновок, оптимальный режим воздействия острошероховатой поверхности обечайки на обрабатываемое зерно может быть достигнут рациональным сочетанием двух факториальных параметров: величины межзернового давления и продолжительности обработки, т.е. числа контактов.

Условия водно-тепловой подготовки зерна к шелушению должны оказывать существенное влияние на технико-экономические результаты этого процесса. Согласно программе экспериментальных исследований избраны три способа водно-тепловой обработки: а) увлажнение зерна водой (температура  $20^\circ\text{C}$ ) на  $2 \div 7\%$  при продолжительности последующего отволаживания в интервале  $\tau_{отв} = 10 \div 50$  мин; б) обработка паром (давление  $15 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ ) в течение  $\tau_{пр} = 3 \div 15$  мин при общей продолжительности отволаживания 20 мин; в) озвучивание в водной среде (частота ультразвука 22 кгц и интенсивность  $1,5 \text{ вт/см}^2$ ) при продолжительности облучения  $\tau_{уз} = 20 \div 100$  сек и отволаживании 20 мин. Избранные параметры обработки зерна паром и ультразвуком обусловлены имеющимися рекомендациями.

В качестве технических средств для проведения исследования были применены кубовой смеситель, автоклав марки АВ-1 с кассетой для зерна, ультразвуковой генератор

марки УЗГМ-1,5 с магнитоотриктором.

Для оценки эффективности процесса шелушения при указанных способах подготовки зерна избраны критерии:

частные, относительно характеризующие съем оболочек, потери крахмала с отходами шелушения, приращение числа поврежденных зерновок кукурузы и удельную энергоёмкость процесса;

обобщенные, количественно и качественно характеризующие выход обработанного зерна и энергоёмкость съема оболочек -

$$E_1 = \left(1 - \frac{K_{03}}{K_{нз}}\right) \left(1 - \frac{B_{ош}}{100}\right) \text{ и } E_2 = \frac{36 G_{нз} \cdot C_{об}}{\sum_{i=1}^{n_{оп}} (N_{оп})_i (\tau_0)_i} \left(1 - \frac{B_{ош}}{100}\right) \frac{\text{кг (оболочек)}}{1 \text{ квт.ч}}$$

где  $K_{нз}$  и  $K_{03}$  - содержание клетчатки в исходном и обработанном зерне в процентах;

$\frac{K_{нз} - K_{03}}{K_{нз}} = \frac{\Delta K}{K_{нз}}$  - выраженная в долях единицы степень шелушения зерна;

$\left(1 - \frac{B_{ош}}{100}\right)$  - выраженный в долях единицы выход ошелушенного зерна с учетом потерь эндосперма с отходами шелушения;

$B_{ош}$  - относительный выход отходов шелушения на абсолютно сухое вещество в процентах;

$G_{нз}$  - масса исходного образца зерна в кг;

$C_{об}$  - абсолютный съем оболочек в процентах;

$(N_{оп})_i$  - осредненная мощность, потребная для выполнения обработочной операции, в квт;

$(\tau_0)_i$  - продолжительность обработочной операции в сек;

$n_{оп}$  - число последовательных обработочных операций.

Обработка зерна кукурузы паром, из-за интенсивного теплового воздействия (температура ~119°C) в течение 3 ÷ 15 мин, обуславливает клейстеризацию крахмала с образова-

нием клеящих веществ. Вследствие этого наблюдается своеобразная „спайка“ оболочек с эндоспермом и шелушение кукурузы при такой подготовке затрудняется, а эффект практически остается на уровне шелушения воздушно-сухого зерна.

По сравнению с обработкой зерна в неозвученной воде ультразвуковое воздействие, не приводя к улучшению процесса шелушения, вызывает суммарное повышение энергоёмкости (за два пропуска) с 39 вт.ч до 41 вт.ч.

Критериальная оценка результатов исследования позволила определить оптимальные параметры водной обработки зерна кукурузы: степень увлажнения -  $\Delta \beta_{опт} = 6 \pm 0,5\%$  и продолжительность отволаживания -  $(\tau_{отв})_{опт} = 20 \pm 2$  мин. Шелушение зерна с влажностью, отклоняющейся от оптимальной, ухудшает технологические и энергетические показатели процесса. Аналогично, при  $\Delta \beta = 2 \div 4\%$  превышение  $(\tau_{отв})_{опт}$  приводит к проникновению влаги в эндосперм, следствием чего является релаксация в нем напряжений и упрочение связей с подсыхающими оболочками. Обработка такого зерна в условиях значительных межзерновых давлений сопровождается частичным разрушением зерновок, а эффективность шелушения снижается. При  $\Delta \beta = 6 \div 7\%$  резко проявляются отрицательные последствия увеличения  $\Delta \beta$ , значительно возрастают количество поврежденных зерновок и потери крахмала.

Учитывая многофакторность рассматриваемого процесса, в целях оптимизации его, в качестве варьируемых были приняты следующие параметры, определяющие режим работы машины:  $\Delta R = 14 \div 30$  мм,  $v_p = 5,5 \div 12,6$  м/сек,  $\alpha_r = \alpha_o = 15 \div 75^\circ$ ,  $\alpha_g = 5 \div 15^\circ$ .

Исследование влияния указанных параметров на эффективность процесса шелушения проводили при оптимальных условиях подготовки зерна. В отдельных опытах тензометрически измеряли удельное нормальное давление  $q_n$  в трех точках по длине рабочей зоны машины и удельное осевое давление  $q_{ос}$  на торце дросселирующе-выпускного устройства (рис. 1).

Результаты измерений показали, что нормальное удельное давление  $q_n$  и, следовательно, осевое ( $q_{ос} = \frac{2q_n}{f}$ ) воз-

1980. 8. 1

V O. 0. 15 19

растают по длине рабочей зоны машины. Аналитически и экспериментально установлено, что характер изменения удельного межзернового давления может быть с достаточной для практических целей точностью описан экспоненциальной зависимостью  $q_x = q_0 e^{\nu x}$ , где  $q_0$  и  $q_x$  — соответственно значения удельного давления в начале рабочей зоны и в точке, расположенной на расстоянии  $x$  от него;  $e$  — основание натуральных логарифмов;  $\nu$  — коэффициент, численное значение которого обуславливает сопротивление шероховатой обечайки движению зернового потока.

С увеличением межзернового давления повышается интенсивность отделения оболочек: об этом косвенно свидетельствует распределение отходов шелушения по длине рабочей зоны машины, приведенное в нижней части рис. 1. Величина давления находится в прямой зависимости от окружной скорости лопаточного ротора  $v_p^e$ , в обратной — от величины радиального зазора  $\Delta R$  и угла открытия лопаток дросселирующе-выпускного устройства  $\alpha_g$ .

Исследованиями эффективности шелушения при различных значениях  $\Delta R$  установлено, что с уменьшением зазора в указанном выше интервале, а следовательно, с возрастанием  $q_m$  и  $q_{oc}$  повышается интенсивность обработки зерна: значительно увеличивается выход отходов шелушения

$\delta_{ощ}$  (~ на 6%) и съем оболочек  $C_{ос}$  (~ на 0,3 ÷ 0,45%), снижается содержание клетчатки в обработанном зерне  $K_{ос}$  (~ на 0,04%). Однако при чрезмерном уменьшении  $\Delta R$  резко возрастают потери крахмала  $\Pi_{кр}$  (~ на 4 ÷ 5%) с отходами шелушения и содержание поврежденных зерновок  $\Delta \Pi_{пз}$  (~ на 4 ÷ 8%). Отсюда следует, что для предотвращения чрезмерного деформирования и разрушения зерновок зазор  $\Delta R$  должен быть избран таким, чтобы между внешними кромками лопаток и обечайкой был образован достаточный слой зерна в виде своеобразной упругой подушки.

Исходя из экспериментальных зависимостей  $E_1 = \varphi_1(\Delta R)$  и  $E_2 = \varphi_2(\Delta R)$  заключаем, что оптимальным является значение  $\Delta R = 26$  мм, при котором достигаются осредненные значения  $\bar{q}_m$  и  $\bar{q}_{oc}$  соответственно 0,30 н/см<sup>2</sup> и ~ 0,65 н/см<sup>2</sup>.

К факторам, существенно влияющим на эффективность

процесса шелушения, следует отнести продолжительность и частоту контактирования зерновок между собой и шероховатой обечайкой. Возможность варьирования интенсивности обработки обуславливает избранная ориентация лопаток дросселирующе-выпускного устройства  $\alpha_g$ . Изучение влияния этого параметра показало, что при уменьшении  $\alpha_g$  резко повышается интенсивность обработки зерна. Однако при этом существенно возрастает величина удельного давления  $q_{oc}$ , а это приводит к частичному разрушению зерновок и к потерям эндосперма с отходами шелушения. Оптимальному значению  $\bar{q}_{oc} \approx 0,65$  н/см<sup>2</sup> соответствует значение  $\alpha_g = 10^\circ$ .

Исследование влияния окружной скорости лопаточного ротора показало, что увеличение ее приводит к возрастанию эффективности шелушения лишь до значения  $v_p^e = 8,4$  м/сек, а далее оно вызывает значительные потери эндосперма.

Влияние углов атаки транспортирующих и отражающих лопаток ротора —  $\alpha_r$  и  $\alpha_o$  — на технологические показатели несущественно; оптимальные значения  $\alpha_r = \alpha_o = 45^\circ$ .

При экспериментально установленных технологически оптимальных условиях подготовки и параметрах машины при двух пропусках достигнут высокий эффект шелушения, который характеризуется абсолютным съемом оболочек  $C_{ос} = 6,3\%$ , что составляет ~ 92% от исходного содержания их в зерне; при снижении клетчатки в обработанном зерне с 2,25% до 1,03% потери крахмала с отходами шелушения и прирост поврежденных зерновок не превышают 3%.

Проведенные сравнительные исследования шелушимости полузубовидной кукурузы „Днепровский 56“ и белой кремнистой „Скороспелая“ показали, что обработка кукурузы различных сортов в шелушильной машине рассматриваемого принципа действия позволяет технологически оптимально обеспечить достаточно полное отделение оболочек в процессе шелушения увлажненного зерна. При этом найденные оптимальные режимы подготовки и обработки вполне приемлемы и для шелушения зерна кремнистых и полузубовидных сортов кукурузы. Учитывая повышенную прочность эндосперма зерна указанных типов, целесообразно применять более высокие окружные скорости лопаточного ротора при минимальной ве-

личине радиального зазора.

Изучение влияния предварительного шелушения на эффективность отделения зародыша кукурузы производили при сравнительном дроблении ошелушенного и нешелушенного зерна. Для этих целей был использован центробежный измельчитель конструкции Г.Д.Гальперина и А. Бобеева, позволяющий осуществлять варьирование окружной скорости метательного ротора и подачи зерна соответственно в интервалах  $30 \div 50$  м/сек и  $300 \div 1200$  кг/час.

Исследование эффективности отделения зародыша производили на двухкратно ошелушенном зерне, первоначально подвергнутом технологически оптимальным увлажнению и отволаживанию. В качестве базы сравнения избрано нешелушенное зерно, подготовленное в соответствии с рекомендациями действующих правил организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях ( $\beta_{\text{уз}} = 15 \pm 0,5\%$ ,  $\tau_{\text{отг}} = 2$  часа).

Косвенную, но достаточно достоверную оценку эффективности процесса осуществляли исходя из баланса жиров по коэффициенту отделения зародыша. В качестве критерия, характеризующего энергоемкость процесса, был принят расход энергии на измельчение 1 кг зерна.

Сопоставление результатов исследования приводит к выводу, что эффективность отделения зародыша значительно выше при дроблении ошелушенного зерна. При оптимальных значениях окружной скорости метательного ротора — 40 м/сек и подаче зерна 800 кг/час коэффициент отделения зародыша достигает  $0,85 \div 0,90$ , выход крупных фракций продуктов переработки возрастает, а мелких, наоборот, снижается.

Рациональность применения предварительного шелушения в роторном фрикционном шелушителе определяли также сопоставлением результатов выработки пятиномерной кукурузной крупы из ошелушенного и нешелушенного кремнистого зерна кукурузы сорта „Скороспелая“.

Подготовку нешелушенного зерна осуществляли путем его двухкратного увлажнения до  $15 \pm 0,5\%$  и общей продолжительности отволаживания  $2 \div 3$  часа. Зерно в порядке под-

готовки подвергали увлажнению до  $\beta_{\text{уз}} = 18 \pm 0,5\%$  и отволаживанию в течение  $\tau_{\text{отг}} = 20$  мин, а затем двухкратному шелушению в экспериментальной модели машины. Чтобы довести влажность ошелушенного зерна до оптимальной ( $\beta_{\text{уз}} = 15 \pm 0,5\%$ ), смесь отходов шелушения двух пропусков ( $\beta_{\text{о}} = 36,6\%$ ) объединяли с ошелушенным зерном ( $\beta_{\text{уз}} = 13,2\%$ ), перемешивали и отволаживали в течение четырех часов. Затем производили аэромеханическое разделение продуктов шелушения. Влажность подготовленного таким образом ошелушенного зерна достигает примерно 14,8%, а влажность отходов шелушения — 18,6%.

Эффективность переработки кукурузы в крупу оценивали по комплексу показателей: количественных — по выходу крупы, муки, мучки, зародыша, отходов — и качественных — по содержанию жиров, клетчатки и золы в этих продуктах.

Осредненные результаты экспериментальной переработки кукурузы представлены в таблице 1, из которой следует, что предварительное шелушение зерна существенно интенсифицирует процесс выработки крупы из кукурузы. При этом значительно увеличивается общий выход ее за счет первых номеров примерно на 10%, а качество продуктов переработки существенно улучшается. Эффективнее проходит процесс отделения и выделения (на ситах) зародыша. Зародыш получается крупный и „чистый“. Содержание жиров в нем близко к исходному (30,7%), в то время как при переработке нешелушенной кукурузы он представляет собой „зародышевый“ продукт с содержанием жиров не более 18,5%.

Таким образом, предварительное шелушение зерна кукурузы в роторном фрикционном шелушителе является рациональным средством интенсификации процесса переработки кукурузы, значительно повышающим уровень ее продовольственного использования.

Произведенный расчет (по данным лабораторных исследований) показал, что внедрение предварительного шелушения даже в масштабе одного крупозавода с суточной переработкой 120 т зерна целесообразно: предлагаемый экономический эффект внедрения такого способа составляет около 300 тыс.руб. в год при сравнительно незначительных перво-

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

эффективности переработки нешелушеного и ошелушенного

Наименование продуктов	Общий выход продуктов (в процентах)		
	номиналь- ный	действительный при пере- работке зерна	
		нешелуше- ного	ошелушен- ного
Крупа:			
№ 1	2,2	2,5	6,0
№ 2	8,4	8,6	13,4
№ 3	11,4	12,0	13,0
№ 4	10,0	10,5	11,4
№ 5	8,0	8,2	7,8
<b>ВСЕГО:</b>	<b>40,0</b>	<b>41,8</b>	<b>51,6</b>
Мука:	15,0	8,5	12,5
Мучка	34,0	25,0	12,3
Зародыш	7,0	14,0	12,2
Отруби	-	6,3	9,0
Кормовые отходы	3,0	3,0	1,5
Некормовые отходы	0,5	0,9	0,9
Усушка	0,5	-	-

Таблица 1

### ПОКАЗАТЕЛИ

зерна кукурузы в пятиномерную шлифованную крупу

Содержание (в процентах на абсолютно сухое вещество) в продуктах переработки зерна кукурузы					
нешелушеного			ошелушенного		
жиров	клетчатки	золы	жиров	клетчатки	золы
0,48	0,31	-	0,43	0,28	-
0,65	0,37	-	0,49	0,29	-
0,68	0,45	-	0,53	0,34	-
1,25	0,46	-	0,70	0,36	-
1,61	0,92	-	2,20	0,67	-
1,18	0,52	-	0,79	0,37	-
4,68	1,58	1,20	2,28	1,12	0,88
2,61	1,60	0,99	2,50	1,08	0,77
18,50	7,55	-	30,65	5,20	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

начальных затратах и эксплуатационных расходах.

На базе аналитического рассмотрения процесса шелушения зерна и экспериментального исследования его на модели в лабораторных условиях нами сформулированы технологические предпосылки к конструированию опытно-промышленного образца роторного фрикционного шелушителя.

В этой связи была дана комплексная оценка параметров, влияющих на транспортирующее действие шелушителя, а также рассмотрены факторы, обуславливающие мощность, необходимую для осуществления шелушения зерна кукурузы.

Транспортирующую способность шелушителя, представляющего элемент винтового конвейера непрерывного действия, предопределяет совокупность геометрических, кинематических и загрузочных параметров с учетом фрикционного взаимодействия перемещаемого зерна с поверхностями рабочего органа.

К числу геометрических параметров следует отнести круговой и продольный шаг лопаток, площадь, ометаемую ими, а также пространственную ориентацию транспортируемых, отражающих и выпускных лопаток ротора.

Кинематический, а следовательно, динамический режим машины обуславливает угловая скорость вращения ротора во взаимосвязи с плотностью укладки зерновок при избранной степени заполнения ими рабочей зоны.

Фрикционные свойства перемещаемого продукта зависят как от межзернового давления, скорости перемещения, так и от влажности зерновок. Для упрощения последние считаем твердыми недеформируемыми телами и пренебрегаем воздействием сил, которые возникают в условиях относительного упругого смещения этих тел при нагружении их. Кроме того, принимаем, что рабочая зона, образованная барабаном ротора и обечайкой, полностью заполнена плотно контактирующими между собой зерновками.

С учетом принятых допущений, аналитически получена зависимость

$$Q_p = \frac{10 \rho \gamma i b_1^2 \omega_p z_g \alpha_g (\Delta R_n - R) (b_0 h_0 + h_0^2)}{\Delta R_n \pi (R_1 + R_0) \operatorname{tg} \epsilon} \times \\ \times [z_T (\sin \alpha_T - \mu \cos \alpha_T) \sin \alpha_T \cos^2 \alpha_T - z_0 (\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0) \sin \alpha_0 \cos^2 \alpha_0] \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} \right],$$

где  $\gamma$  – объемная масса зерна кукурузы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\mu$  – коэффициент трения скольжения зерновок по поверхности стальной лопатки ротора;

$b_1$  – ширина лопатки ротора, м;

$z_g$  и  $\alpha_g$  – соответственно число лопаток дросселирующе-выпускного устройства и угол их отклонения, град;

$b_0$  и  $h_0$  – соответственно ширина и высота выпускного окна дросселирующе-выпускного устройства, м;

$R_0$  и  $R_1$  – соответственно радиусы начальной окружности и окружности, ометаемой внешними кромками лопаток ротора, м;

$\epsilon$  – угол подъема прерывистой винтовой линии, образованной лопатками ротора, град;

$i$  – число заходов винтовой линии.

Проверка сходимости расчетных и экспериментальных значений, оценивающих транспортирующее действие шелушителя, показала, что относительное отклонение последних находится в интервале  $5 \div 20\%$ .

Мощность электропривода машины может быть непосредственно получена при рассмотрении энергетического баланса системы двигатель – рабочий орган шелушителя.

При установившемся режиме машины существенным является определение расхода энергии непосредственно на технологические цели (для реализации обработочной операции). В общем случае энергия затрачивается: а) на преодоление сопротивлений, вызванных внутренним и внешним трением зерновок при их относительном перемещении в рабочей зоне; б) на упругое и пластическое деформирование зерновок и изнашивание рабочих органов; в) на преодоление сил молекулярного сцепления покровных тканей с ядром; г) на образование и смыкание микротрещин в обрабатываемом зерне; д) на образование новых поверхностей и увеличение в связи с этим свободной поверхностной энергии на границах раздела; е) на обусловленное движением зерновок и разрушением их оболочек сопутствующее преобразование части механической энергии в тепловую.

Базируясь на визуальных наблюдениях, можно считать превалирующей упругую деформацию в рабочей зоне шелушителя; она протекает от момента приложения внешних сил к зерновкам и до момента появления первых микротрещин.

Мощность, необходимая для перемещения зерна, преодоления сопротивлений и создания межзернового давления, в результате которого происходит упругое деформирование и отделение оболочек, может быть определена как

$$(N_{on})_p = N_1 + N_2 + N_3 + N_4,$$

где  $N_1$  — мощность, необходимая для относительного перемещения зерна и создания межзернового давления в рабочей зоне шелушителя;

$N_2, N_3, N_4$  — мощности, необходимые для преодоления сопротивлений, обусловленных соответственно трением зерновок о поверхность лопаток, полой межзерновым трением и трением о лопатки дросселирующе-выпускного устройства.

Определение указанных слагаемых потребной мощности производили, исходя из силового нагружения лопатки ротора при работе шелушителя. Поскольку эффективность шелушения определяют значения радиального и осевого межзерновых давлений, получаемые опытным путем, последние избраны в качестве аргументов.

Таким образом,

$$N_1 [Вт] = \frac{1}{2 \sqrt{L_{p3}}} (q_{oc})_0 e^{\sqrt{L_{p3}}} i B_A \omega_p (R_A^2 - R_0^2) \{ z_T [( \sin \alpha_T - \mu \cos \alpha_T ) \times \\ \times \sin \alpha_T \cos \alpha_T + \cos \alpha_T \cdot \operatorname{ctg}(\alpha_T + \rho) + z_0 (\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0) \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 \times \\ \times \operatorname{ctg}(\alpha_0 + \rho) ] \},$$

$$N_2 [Вт] = \frac{1}{2 \sqrt{L_{p3}}} \mu (q_{oc})_0 e^{\sqrt{L_{p3}}} i B_A \omega_p (R_A^2 - R_0^2) [ z_T (\sin \alpha_T - \mu \cos \alpha_T) + \\ + z_0 (\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0) ],$$

$$N_3 [Вт] = \frac{1}{2 \pi \sqrt{R_A} \operatorname{tg} \epsilon} \mu_{cp} \int (q_{oc})_0 e^{\sqrt{L_{p3}}} (z_T \sin \alpha_T \cos^2 \alpha_T - \\ - z_0 \sin \alpha_0 \cos^2 \alpha_0) \frac{1}{\cos \rho} \sum_{i=0}^n (R_{08} - n d) q_i^n,$$

$$N_4 [Вт] = \frac{1}{4 \pi (R_A + R_0) \operatorname{tg} \epsilon} \mu (q_{oc})_0 e^{\sqrt{L_{p3}}} i B_A \omega_p (R_{08} + R_0) \times \\ \times [ z_T (\sin \alpha_T - \mu \cos \alpha_T) \sin \alpha_T \cos^2 \alpha_T - z_0 (\sin \alpha_0 - \mu \cos \alpha_0) \times \\ \times \sin \alpha_0 \cos^2 \alpha_0 ] \cdot \cos \alpha_g,$$

где  $\rho$  — угол трения скольжения зерновок по поверхности стальной лопатки ротора, град;

$n$  — число трущихся слоев зерновок в зоне, образованной радиальным зазором;

$q < 1$  — коэффициент, характеризующий степень затухания движения при послойном трении зерновой массы;

$R_{08}$  — радиус окружности обечайки, м;

$\mu_{cp}$  — осредненный коэффициент трения скольжения зерновок о поверхность комбинированной обечайки различной шероховатости.

Выборочная проверка сходимости расчетных и экспериментальных значений мощности, потребной для реализации обработочной операции (первого пропуска зерна через машину), при варьируемых значениях  $\omega_p$ ,  $\Delta R$ ,  $\alpha_g$  и оптимальных условиях подготовки зерна  $B_{y3} = 18\%$  и  $\tau_{0T3} = 20$  мин показала достаточную точность приведенных формул для практического их использования.

Следовательно, можно утверждать, что факториальными параметрами процесса шелушения являются:

геометрические параметры —  $L_{p3}$ ,  $S_{p3}$ ,  $\frac{1}{\Delta R}$ ;

кинематический параметр —  $\bar{v}_{oc}$ ;

временной параметр —  $\bar{\tau}_0$ ;

энергосиловые параметры —  $\bar{q}_{oc}$ ,  $W$ .

на от степени его увлажнения и продолжительности отволаживания, совокупно преопределяющих характер распределения влаги между анатомическими частями зерновок.

Повышение влажности последних при относительно кратковременном отволаживании их обуславливает значительное ослабление связей оболочек с эндоспермом; в результате этого усилие отрыва оболочек снижается примерно в  $1,5 \div 3$  раза. Одновременно уменьшается модуль разрушающего усилия при сжатии, микротвердость оболочек и эндосперма, возрастает ударная прочность и коэффициент трения скольжения зерновок по опорным поверхностям различной шероховатости.

В условиях одинаковой влажности усилие разрушения при сжатии ошелушенных зерновок по сравнению с нешелушенными примерно в два раза меньше.

3. Сопоставление различных физических способов увлажнения зерна путем орошения водой температурой  $20^{\circ}\text{C}$ , обработки в автоклаве паром давлением  $15 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$  и контактирования с озвучиваемой водой (при промышленной частоте ультразвука 22 кгц и интенсивности  $1,5 \text{ вт/см}^2$ ) позволяет заключить, что первый способ при оптимальной продолжительности естественного отволаживания зерна  $20 \pm 2$  мин, будучи технически простым, позволяет получить достаточно высокую степень шелушения зерновок при меньших энергетических затратах.

4. В связи с постановкой задачи оптимального управления процессом шелушения кукурузы целесообразно избрать количественно однозначные и материально балансируемые критерии эффективности, технологически оценивающие результаты обработочной операции.

Аргументами таких частных и обобщенных критериев должны являться объективные оценки относительного съема оболочек с зерна и остаточного содержания в нем клетчатки, выход отходов шелушения и содержание в них крахмала, характеризующие потери последнего, количество поврежденных зерновок, а также различные показатели энергоемкости процесса.

Поскольку структурно-механические свойства зерна кукурузы различных сортов существенно зависят от степени увлажнения, крупности и соотношения площадей, занимаемых в продольном сечении роговидной и мучнистой частями эндосперма, для оптимизирующего управления рабочим процессом шелушения зерна технологически полезным является оперативное варьирование межзернового давления. Следовательно, такой процесс целесообразно осуществлять в рабочей зоне машины (с высокой степенью заполнения) под действием многократно прилагаемых к зерновкам нормальных и касательных усилий, возникающих в результате относительного и циркуляционного их перемещения, при оптимальном межзерновом давлении.

6. Учитывая экспоненциальный характер возрастания радиального и осевого давлений от приемного к дросселирующе-выпускному устройству машины, а также постепенное уменьшение прочности ошелушаемых зерновок, возникает необходимость снижения макрошероховатости обечайки по длине рабочей зоны машины и разбиения последней на участки с различными скоростями циркуляционного движения. Последнее должно достигаться путем соответствующей ориентации транспортирующих и отражающих лопаток ротора.

7. В роторном фрикционном шелушителе непрерывного действия реализованы условия, способствующие эффективному шелушению кукурузы путем оперативного и установочного варьирования степени заполнения рабочей зоны, скорости и характера циркуляционного движения зерна, а также динамического режима машины.

8. Обсуждение результатов экспериментальных исследований эффективности процесса шелушения различных сортов кукурузы в модели роторного фрикционного шелушителя при оптимальных степени увлажнения и продолжительности отволаживания зерна в естественных условиях и варьируемых загрузочных, кинематических, геометрических параметрах (углов атаки транспортирующих, отражающих и дросселирующих лопаток, радиального зазора между неподвижной обечайкой и лопаточным ротором) позволило определить оптимальные условия высокоэффективной реализации процесса шелушения.

При потерях крахмала с отходами шелушения и приращении количества поврежденных зерновок, не превышающих трех процентов, относительный съём оболочек в результате двухкратного шелушения находится в интервале  $90 \div 92\%$ , а содержание клетчатки в ошелушенном зерне по сравнению с исходным в  $2 \div 2,25$  раза *снижается*.

9. Технологическая целесообразность шелушения зерна кукурузы как способа подготовки зерна в крупяном производстве обосновывается результатами сравнительной выработки в лабораторных условиях пятиномерной шлифованной крупы из нешелушенного и ошелушенного зерна.

Во втором случае достигается повышение общего выхода круп № 1, 2 и 3 на 10% за счет меньшего образования побочных продуктов в виде мучки. Интенсифицируется и процесс отделения зародыша: при относительном содержании его в подопытном зерне в количестве 12,5% и масличности 33% образуется 12% зародышевого продукта с масличностью  $30 \div 31\%$ .

Применительно к крупозаводу с суточной переработкой 120 т зерна кукурузы исчислен предполагаемый экономический эффект переработки ошелушенного зерна при машинно-аппаратурной системе, предусматриваемой Правилами организации и ведения технологического процесса на крупяных предприятиях: снижение себестоимости годовой продукции, выпускаемой в условиях применения подготовительного шелушения, составляет примерно 390 тыс. рублей. При этом произведенные капиталовложения могут окупиться в том же году.

10. При реализации технологической задачи отделения зародыша целесообразно процесс базировать на ударном измельчении ошелушенного зерна, при котором, с учетом выхода и масличности продукта, достигается коэффициент извлечения зародыша  $0,8 \div 0,9$ .

11. Вполне удовлетворительна сходимость экспериментальных данных и полученных из аналитических предпосылок, связанных с определением технологически полезной работы для отделения оболочек, транспортирующего действия модели роторного фрикционного шелушителя и мощности, по-

требной для реализации обработочной операции.

При полном пространственно-временном физическом моделировании создаются реальные условия для последующего применения основных положений теории подобия и размерности в целях формулирования исходных технологических параметров для конструирования опытно-промышленного образца шелушителя.

Пользуясь второй теоремой подобия, возможен переход к безразмерным соотношениям

$$\frac{L_{P3}}{\Delta R} \sim \frac{c_1 N_{оп}}{\bar{q}_{oc} S_{P3} \bar{v}_{oc}} \quad \text{и} \quad \frac{L_{P3}}{\Delta R} = c \frac{c_1 N_{оп}}{\bar{q}_{oc} S_{P3} \bar{v}_{oc}},$$

который позволяет распространить на опытно-промышленный образец машины с задаваемым транспортирующим действием 5 т/час совокупные результаты аналитического и экспериментального изучения модели.

Применяя *I-d* диаграмму, критерии теплового и гидродинамического подобия, определили расход воздуха в осенне-зимний период для поддержания технологически оптимального тепло-влажностного режима, при котором предотвращается возможность конденсации влаги.

12. В условиях оптимального увлажнения зерна кукурузы на 6% и продолжительности отволаживания  $20 \pm 2$  мин влажность отходов шелушения примерно равна 35%. При смешении их с низковлажным ошелушенным зерном (порядка 13%) влажность отходов через  $3 \div 4$  часа достигает  $18 \pm 0,5\%$ , а зерно  $15 \pm 0,5\%$ . Следовательно, практически целесообразен сорбционный метод подсушивания отходов в виде оболочек, которые в последующем могут быть сравнительно легко отделены при аэромеханическом сепарировании смеси.

Основное содержание диссертации опубликовано  
в следующих статьях автора и в соавторстве

1. Экспериментальное определение некоторых прочностных характеристик зерновок кукурузы. Тезисы докладов XXVII научной конференции ОТИ имени М.В. Ломоносова, Одесса, 1965.
2. Технологические исследования эффективности шелушения зерна кукурузы. Тезисы докладов XXVII научной конференции ОТИ имени М.В. Ломоносова, Одесса, 1965.
3. Некоторые структурно-механические свойства зерна кукурузы. Известия вузов СССР. „Пищевая технология“, № 5, 1965.
4. Шелушимость зерна кукурузы ВИР 42 в зависимости от условий его подготовки. Тезисы докладов XXVIII научной конференции ОТИ имени М.В. Ломоносова, Одесса, 1966.
5. Влияние степени увлажнения и длительности отволаживания зерна кукурузы на эффективность шелушения. Известия вузов СССР. „Пищевая технология“ № 4, 1966.
6. Интенсификация процесса шелушения зерна кукурузы. Тезисы докладов на научной конференции по актуальным вопросам технологии современного мукомольного и крупяного производства. ВНИИЗ, октябрь 1966.
7. Влияние кинематических и установочных параметров шелушителя на отделение оболочек зерна кукурузы. Известия вузов СССР. „Пищевая технология“, № 2, 1967.

БР 07268 Подписано к печати 23/У-67 г. Объем 1,7 печ.л.  
Уч.изд.л. 2,0 Заказ № 96 Тираж 200 экз. 1967 г.

Печатная лаборатория ОТИ имени М.В. Ломоносова  
Одесса, ул. Свердлова, 112