

Авторефер.
Б 19

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМ. М.В.ДОМОНОСОВА

На правах рукописи

БАКУРИДЗЕ Теймураз Асланович

УДК 664.748:664.58

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
ВЫСОКОБЕЛКОВОЙ МУКИ

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

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

Одесса - 1986

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

Научный руководитель

-- доктор технических наук,
профессор И.Т.Мерко

Официальные оппоненты:

-- доктор технических наук,
профессор А.Д.Чмырь
-- кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
И.А.Шведова

Ведущая организация

-- Кулиндровский комбинат
хлебопродуктов Министерства
хлебопродуктов УССР

Защита состоится "13" июня 1986 г. в 10³⁰ час.

на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одес-
ском 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.Ломо-
носова.

Автореферат разослан "13" мая 1986 г.

Ученый секретарь

специализированного совета
кандидат технических наук.

доцент

Е.Г.Кротов

ОНАХТ 29.03.11
Разработка технологии



V015351

Актуальность работы. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986...1990 годы и на период до 2000 года, утвержденных XXVII съездом КПСС, поставлена задача широко использовать в народном хозяйстве комплексную переработку сырья, малоотходную и безотходную технологии, намечено увеличить производство основных продуктов питания. В мукомольной промышленности предусматривается повысить технический уровень предприятий, увеличить за предстоящие пятьлетие производство муки высшего сорта в 1,8...2 раза.

Особые требования предъявляются к качеству пищевых продуктов. Намечено расширить ассортимент, увеличить производство продуктов, обогащенных витаминами, белковыми и другими компонентами повышенной биологической ценности. Количество и качество белка является одним из основных показателей качества муки. В связи с этим важную народнохозяйственную проблему приобретает рациональное и эффективное использование белков зернового сырья. Одним из решений этой проблемы может быть организация выработки высокобелковой муки из зерна и побочных продуктов зерноперерабатывающей промышленности.

Данная работа выполнена в соответствии с целевой комплексной научно-технической программой О.Ц. 030, которая предусматривает развитие производства биологически полноценных пищевых продуктов на основе комплексного использования сырья и снижения его потерь. Разработка технологии производства высокобелковой муки позволит полнее использовать зерновые ресурсы мукомольных заводов, расширить ассортимент вырабатываемой муки, повысить пищевую ценность хлеба.

Цель работы. Целью настоящей работы является разработка и обоснование методов, способствующих повышению эффективности выделения высокобелковой фракции муки из зернового сырья. Для достиже-

ВЫРАБОТКА
ЛЕННОСТУ КМ
В. ИВАНОВ

с.б. 45351

V 015351

Перечисл 1988

ния указанной цели были поставлены следующие задачи:

- определить и обосновать источники зернового сырья для получения высокобелковой муки;
- обосновать целесообразные методы подготовки и обработки зернового сырья с целью получения высокобелковой муки и провести их сравнительные исследования;
- выявить и обосновать оптимальные параметры эффективного метода выделения высокобелковой муки и разработать исходные данные для проектирования опытного образца классификатора;
- изучить биохимические и хлебопекарные свойства высокобелковой муки из зерна различного качества;
- провести технико-экономическое обоснование получения высокобелковой муки.

Научная новизна работы. Определены источники зернового сырья для получения высокобелковой муки; выявлен наиболее эффективный метод выделения высокобелковой фракции муки, основанный на применении пневмокласификатора центробежного типа; получены аналитические выражения, описывающие динамику процесса сепарации муки в пневмокласификаторе центробежного типа; обоснованы методы подготовки зернового сырья к выделению высокобелковой фракции муки; изучены биохимические и хлебопекарные свойства высокобелковой муки из различного зернового сырья.

Практическая ценность работы. Установлена целесообразность использования в качестве сырья для получения высокобелковой муки мелкой фракции зерна пшеницы (проход 2, 2х20 мм, сход 1, 7х20 мм), высокоурожайных соргов мягкой кормовой пшеницы и тритикале; определены параметры и режимы подготовки зернового сырья и выделения из него высокобелковой фракции муки; разработаны исходные данные для проектирования опытного образца пневмокласификатора; установлена высокая технико-экономическая эффективность получения и

использования высокобелковой фракции муки.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на Республиканской научной конференции молодых ученых по вопросам пищевой промышленности, посвященной 110-летию со дня рождения В.И. Ленина (г. Тбилиси, 1980 г.), на IV Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов" (г. Одесса, 1980 г.), на научных конференциях профессорско-преподавательского состава СТИП им. М.В. Ломоносова (г. Одесса, 1981...1985 гг.).

Публикация результатов. По материалам диссертационной работы опубликовано 7 статей, получено положительное решение ВНИИПЗ на выдачу авторского свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и предложений, списка литературы, включающего 157 наименований, в том числе 66 иностранных и приложений. Работа изложена на 205 страницах машинописного текста, содержит 34 рисунка и 31 таблицу.

На защиту выносятся:

- результаты изучения различного зернового сырья для выделение из него высокобелковой фракции муки;
- результаты исследования различных методов выделения высокобелковой муки и обоснование эффективного метода и устройства для его осуществления;
- обоснование методов подготовки исходного зернового сырья для эффективного выделения высокобелковой муки;
- результаты исследований биохимических и хлебопекарных свойств высокобелковой фракции муки и эффективность ее использования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен обзор литературных источников, отно-

сящихся к вопросу выделения высокобелковой муки из продуктов переработки зерна. Изучению технологических свойств и химического состава муки в связи с возможностью выделения из нее высокобелковой фракции посвящены работы Н. П. Козьминой, Л. Е. Айзиковича, О. И. Максимчук, Б. М. Максимчука, И. А. Швецовой, Н. С. Байбулатовой, К. Гесса, Е. Гансена, Я. Каминского, П. Пельсенке, В. Сейбела и др. Исследованиями было установлено повышенное содержание белка в тонкодисперсной фракции муки, обусловленное попаданием в нее частиц белковой прослойки при измельчении зерна. Показана возможность выделения высокобелковой фракции путем пневмосепарирования муки.

Анализ результатов рассмотренных работ позволил установить, что недостаточно изучены некоторые методы и приемы выделения высокобелковой фракции муки. Следует также уделить внимание вопросам поиска новых источников зернового сырья и методам его подготовки к выделению высокобелковой фракции муки. В заключении сформулированы цель и задачи исследования.

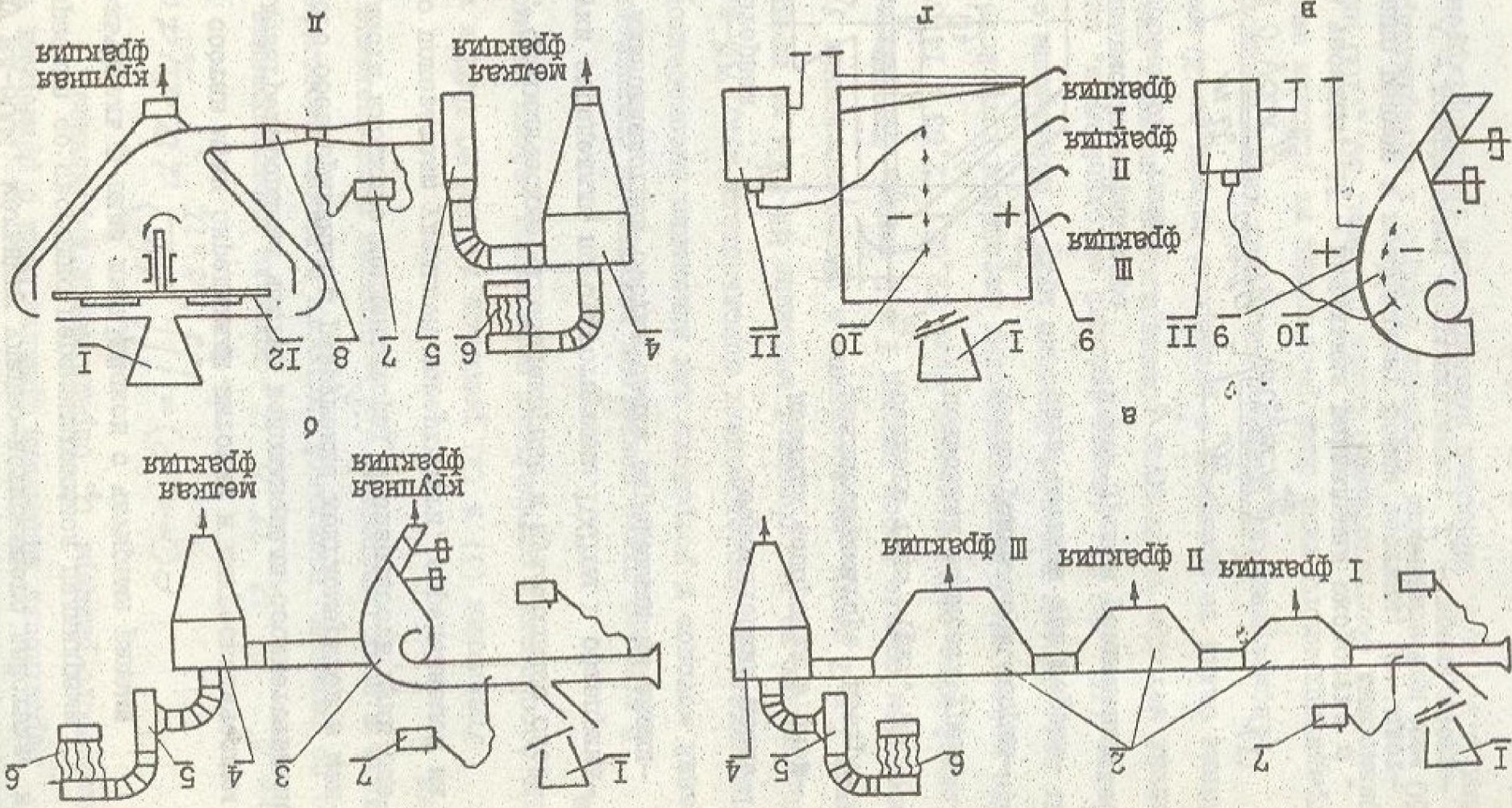
Глава вторая посвящена разработке экспериментальной базы для получения высокобелковой муки и подготовки зернового сырья. Изложены методики определения режимных параметров классификаторов, дисперсного состава муки. Приведены теоретические предпосылки сепарации в пневмокласификаторе центробежного типа, методика исследования с применением математической теории планирования эксперимента.

Экспериментальные исследования были выполнены на лабораторных установках, схемы которых приведены на рис. 1. В классификаторах использовали сепарацию дисперсного материала воздушным потоком, в электрическом поле коронного разряда, комбинированный метод. Воздушные классификаторы применяли трех типов: гравитационный, центробежно-гравитационный, центробежный.

Для подготовки зернового сырья к сепарации использовали из-

а - пневмоклассификатор гравитационного типа; б - пневмоклассификатор с полем коронного разряда; в - пневмоклассификатор центробежного типа; г - пневмоклассификатор ММН; д - труба; 3 - камера разделения; 4 - циклон; 5 - вентиль; 6 - фильтр; 7 - микроманометр ММН; 8 - труба; 9 - заземленный электрод; 10 - коронный электрод; 11 - источник высокого напряжения постоянного тока ПРС-60; 12 - вращающийся диск.

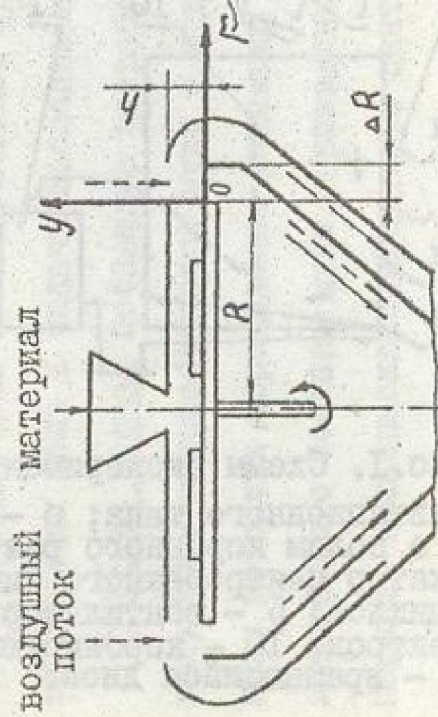
Рис. 1. Схема экспериментальных классификаторов:



мельчащее оборудование: мельничную установку "Нагема", автоматическую мельницу МЛ-8004, мельницу ударно-истирающего действия в виде полого барабана со свободно перемещающимися цилиндрами, штифтовый измельчитель в виде двух дисков с четырьмя рядами штифтов.

Дисперсный состав муки определяли ситовым и микроскопическим методами. Для дезагрегирования частиц использовали соответственно способ частичного обезжиривания и разрушение конгломератов в межэлектродной области плоского конденсатора. Дисперсность муки оценивали также по показателю удельной поверхности, определяемой на приборе ПСХ-4.

Физические, биохимические, хлебопекарные и мукомольные свойства зерна и муки определяли по существующим ГОСТам и общепринятым методикам. Аминокислотный состав белка определяли на анализаторе ААА-88I.



Теоретические исследования сепарации в пневмоклассификаторе центростремительного типа (рис. 2) позволили записать уравнение радиальной координаты частицы при пересечении уровня разделения

$$y_0 = 0:$$

$$r = \sqrt{\frac{m u_0}{\delta \sqrt{\alpha \kappa \rho}}} \arctg \sqrt{\frac{m}{\delta u_0 \sqrt{\alpha \kappa \rho}}} t_p. \quad (1)$$

Рис. 2. Схема пневмоклассификатора центростремительного типа

где m — масса частицы; u_0 — начальная радиальная скорость; δ , α — соответственно размер и коэффициент формы частицы; ρ — плотность воздуха; κ — коэффициент сопротивления; t_p — время дости-

жения частицы уровня разделения.

Вероятность выделения фракции муки с размерами частиц меньше некоторого размера δ_p определяется выражением:

$$P(r < \Delta R) = \iiint_{\delta_{min} \nu_0 \nu_1 \nu_2}^{\delta_p \nu_0 \nu_1 \nu_2} \frac{f_1(\delta)}{k \Delta \nu_0} d\nu_0 d\nu_1 d\nu_2 \quad (2)$$

где δ_{min} , δ_p , ν_0 , ν_1 , ν_2 - пределы интегрирования соответственно по размеру, начальной скорости и высоте расположения частиц на входе в зону сепарации; $f_1(\delta)$ - функция распределения размера частиц.

Уравнения (1) и (2) решались на ЭВМ ЕС 1022 и использовались при обосновании оптимальных параметров работы пневмоклассификатора.

В третьей главе приведены результаты сравнительных исследований методов и устройств для выделения высокобелковой муки. В сравнительных исследованиях использовали муку 70%-ного выхода, полученную на лабораторной мельнице МЛ-8004 из пшеницы IV типа и муку I и 2 сорта, выработанные в производственных условиях при сортовом помоле смеси пшениц I и II типов. Содержание белка в исходной муке соответственно было 12,05; 12,63 и 14,37 %. Сравнение исследуемых технологических методов и устройств проводили по их способности выделять фракцию муки с повышенным содержанием белка (18...22 %). Анализ фракций исходной муки, выделенных на ситах методом частичного обезжиривания, показал увеличение содержания белка во фракциях с размерами частиц до 20 мкм (25...29 %).

Геометрические размеры, осадочных камер пневмоклассификатора гравитационного типа были рассчитаны из условия осаждения частиц размерами соответственно более 100 мкм, 50...100 мкм и менее 50 мкм при изменении скорости воздуха в материалопроводе в пределах 2...7 м/с. Массовая концентрация транспортируемой муки была равна 0,50; 0,75 и 1,00 кг/кг.

Скорость потока воздуха в материалопроводе пневмоклассификатора центробежно-гравитационного типа регулировали в пределах 6...14 м/с, массовая концентрация муки была равна I и 2 кг/кг. Границы скоростей обусловливались соответственно началом осадения частиц в материалопроводе и относом крупных частиц муки в мелкую фракцию. При организации в камере разделения электрического поля коронного разряда, с целью интенсификации сепарации, напряжение на электродах изменяли в пределах 10...18 кВ.

Регулируемыми параметрами электроклассификатора являлись межэлектродное расстояние (150...300 мм), расстояние между подающей кромкой питателя и заземленным электродом (50...150 мм), напряжение на электродах (15...30 кВ). Граничные значения электроклассификации определяли в предварительных экспериментах при стабилизированной производительности установки.

В пневмоклассификаторе центробежного типа изменяли скорости вращения диска n_1 (1000...4000 об/мин) и крыльчатки вентилятора n_2 (1500...3000 об/мин), которые определяли скорость воздуха в зоне сепарации U_2 (2...6 м/с). Ширина ΔR и высота h зоны сепарации - кольцевого пространства между кромками диска, крышки и отводящих приспособлений, - были постоянными и равны соответственно 5 и 15 мм. Производительность установки была стабилизирована (0,013 кг/с).

Важным элементом в конструкции рабочего органа пневмоклассификатора является наличие на поверхности диска криволинейных лопастей. На рис.3 приведены результаты экспериментов, позволившие выбрать соотношение диаметров расположения внешних кромок лопастей D_1 и диска D_2 равным 2/3. При других значениях этого соотношения снижалась дисперсность выделенной мелкой фракции муки по причине недостаточной приобретаемой скорости частицами или неравномерного их распределения на входе в зону сепарации.

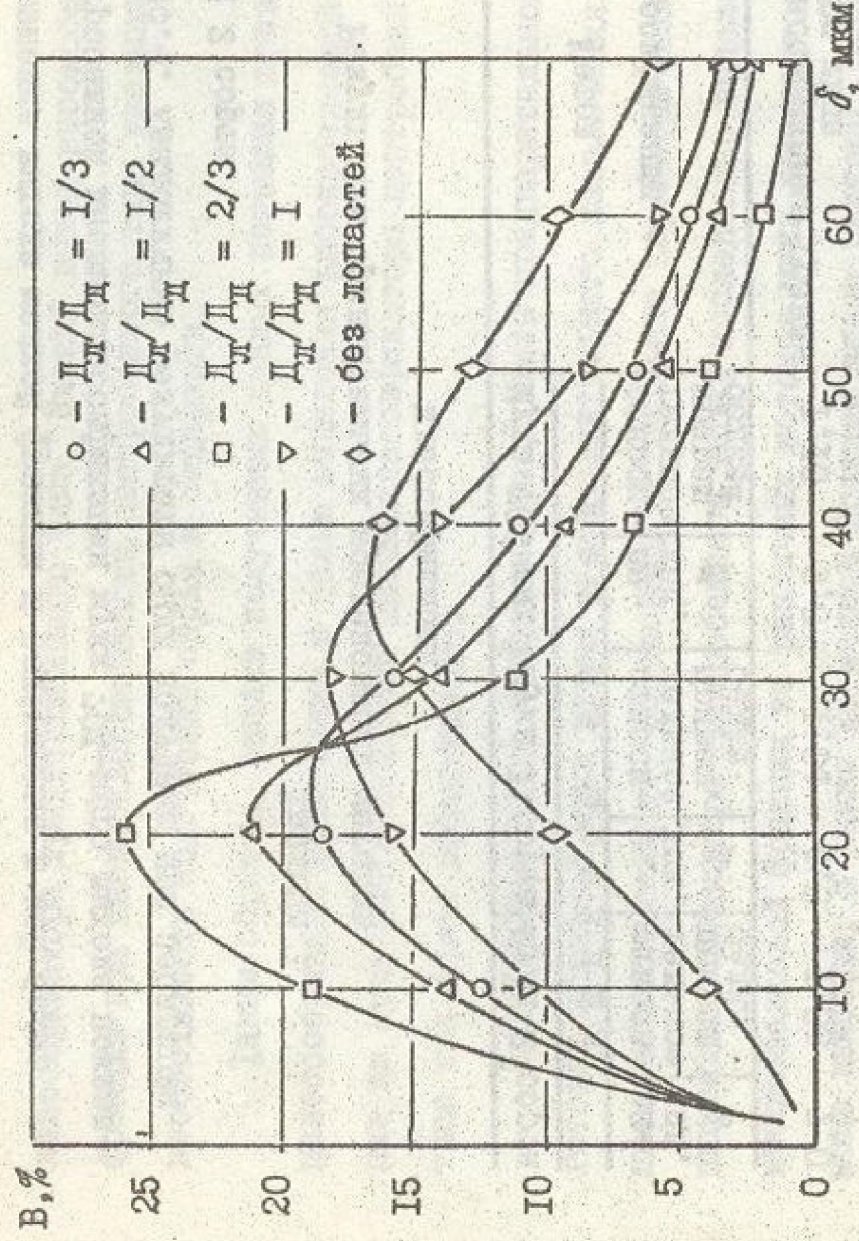


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения частиц мелкой фракции по размерам в зависимости от наличия лопастей на диске и соотношения $D_{т}/D_{д}$ при пневмокласификации муки 70%-ного выхода

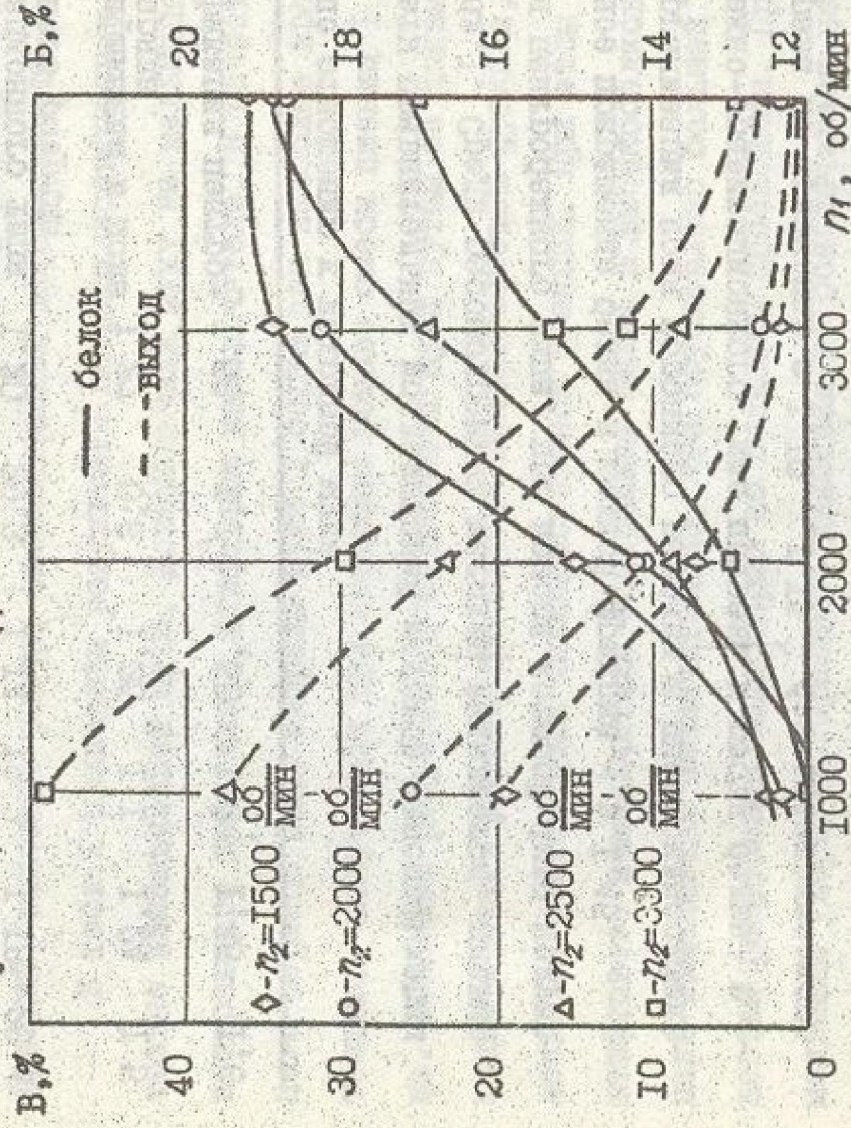


Рис. 4. Изменение выхода мелкой фракции В и содержания белка Б в зависимости от скорости вращения диска n_1 и крыльчатки вентилятора n_2 при пневмокласификации муки 70%-ного выхода.

Изменение выхода мелкой фракции и содержания в ней белка при центробежной пневмоклассификации муки 70%-ного выхода показаны на рис.4. Аналогичные результаты были получены при сепарации муки I и 2 сорта.

Таблица I

Результаты сравнительных исследований методов

классификации

Метод классификации	Мука 70% вых.		Мука I сорта		Мука 2 сорта	
	М е л к а я ф р а к ц и я					
	относи- тельное приращ. белка*	вы- ход, %	относи- тельное приращ. белка	вы- ход, %	относи- тельное приращ. белка	вы- ход, %
Пневмоклассификация гравитационного типа	I,10	9,0	I,04	6,0	I,06	7,0
Пневмоклассификация центробежно-гравитационного типа	I,14	31,1	I,10	32,2	I,15	31,1
Пневмоклассификация центробежно-гравитационного типа в поле коронного разряда	I,20	29,3	I,14	19,3	I,18	20,4
Электроклассификация в поле коронного разряда	I,27	0;8	I,25	I,1	I,24	I,5
Пневмоклассификация центробежного типа	I,58	I,1	I,50	I,3	I,45	I,6

* приращение по отношению к исходной муке

Результаты сравнительных исследований методов классификации сведены в табл. I. Среди рассмотренных методов выделяется пневмоклассификация центробежного типа, при помощи которой было получено максимальное приращение белка в мелкой фракции - в I,45... I,58 раза. Организация поля коронного разряда в пневмоклассификаторе центробежно-гравитационного типа привело к росту белка в I,14...I,20 раза по сравнению с I,10...I,15 - без электрического поля. При помощи электроклассификации получен рост в I,24...I,27 раза. Минимальное приращение белка было с использованием пневмо-

классификатора гравитационного типа. Низкий выход высокобелковой фракции при пневмокласификации центробежного типа указывает на необходимость подготовки сырья к сепарации.

Таким образом, анализ полученных данных позволил признать целесообразным применение с целью выделения высокобелковой фракции из муки разработанного пневмокласификатора центробежного типа как более эффективного.

В четвертой главе приведены результаты предварительной подготовки исходной муки путем ее дополнительного измельчения перед пневмокласификацией, обоснованы оптимальные параметры работы пневмокласификатора центробежного типа, исследовано выделение высокобелковой фракции из различных потоков муки при сортовом помоле пшеницы, а также из мелкой фракции зерна пшеницы, мягкой кормовой пшеницы и зерна гречихале, изучены химический состав, хлебопекарные свойства и смешительная способность высокобелковых фракций, выполнен расчет экономической эффективности.

В табл. 2 приведены результаты пневмокласификации дополнительно измельченной муки. Доизмельчали муку на мельнице ударно-истирающего действия и штифтовым измельчителе. В качестве исходного образца была выбрана мука I сорта как наиболее представленная, полученная при сортовом помоле смеси пшениц I и IV типа. Основным результатом подготовки муки путем ее доизмельчения можно считать увеличение выхода высокобелковой фракции, что объясняется ростом доли тонкодисперсной фракции. При этом после штифтового измельчителя содержание белка в высокобелковых фракциях изменяется незначительно, что обусловлено большей вероятностью разрушения эндосперма по белковым прослойкам. Применение мельницы ударно-истирающего действия не обеспечивает необходимой избирательности измельчения, что привело к ухудшению показателей муки: значительно увеличивается количество поврежденных

Выход и качество высокобелковых фракций при пневмокласификации

дополнительно измельченной муки

Таблица 2

Средний услов- ный раз- мер час- ти, мм	Удель- ная поверх- ность, см ² /г	Клейковина		Вн- ход, %	Золь- ность, %	Белок, %	Выход, %	Время и кратность измельче- ния	Измельчающее оборудование
		типа- тичная спосо- б- ность, %	пока- зания ИПК-1, усл. ед.						
4109	4109	192,3	71	40,4	0,95	19,86	3,3	-	Холодная мука
17,8	4870	194,7	70	40,4	0,89	19,80	9,7	1 час	Мельница
14,9	5847	198,1	70	38,1	0,84	17,10	15,4	2 часа	Ударно-истиратель- ная
14,0	6221	197,7	68	38,0	0,85	16,80	21,4	3 часа	Ударно-истиратель- ная
13,3	6318	197,0	68	36,4	0,82	16,36	25,6	4 часа	Ударно-истиратель- ная
20,7	4200	194,5	71	40,6	0,93	20,46	8,5	1 пропуск	Шифровый
20,4	4260	196,3	72	42,0	0,91	21,06	10,6	2 пропуска	Шифровый
20,2	4313	193,8	70	41,3	0,90	20,97	11,3	3 пропуска	Шифровый
19,9	4357	193,7	71	42,4	0,92	20,67	11,8	4 пропуска	Шифровый

крахмальных гранул, снижается качество клейковины, мука чрезмерно диспергирована. Выявлено, что одно-двукратный пропуск муки через штифтовый измельчитель является достаточным, так как последующее измельчение не приводило к существенным изменениям качественных характеристик муки. Таким образом, полученные результаты дают основание считать целесообразным одно-двукратное доизмельчение муки в штифтовом измельчителе, что позволяет увеличить выход высокобелковой фракции при ее пневмоклассификации до 8... 10 %.

С целью определения оптимальных параметров работы пневмоклассификатора центробежно-гравитационного типа проводили эксперимент согласно рототабельному плану второго порядка. В связи с тем, что различные сорта муки имеют одинаковую физическую структуру в виде дисперсного материала, опыты реализовали только на муке I сорта, предварительно доизмельчив двукратно в штифтовом измельчителе. Значения уровней факторов и интервалы их варьирования принимали на основании предварительных исследований (табл. 3).

Таблица 3

Уровни и интервалы варьирования факторов

Показатели	Скорость вращения диска	Скорость вращения крыльчатки вентилятора	Ширина зоны сепарации при ΔR , мм
	N_1 , об/мин	N_2 , об/мин	
Верхний уровень	4000	2800	15
Основной уровень	3000	2400	10
Нижний уровень	2000	2000	5
Интервал варьирования	1000	400	5
Кодовое обозначение	X_1	X_2	X_3

В результате реализации матрицы планирования получили уравнения регрессии: для содержания белка в мелкой фракции

$$y_1 = 18,46 + 2,40x_1 - 1,26x_2 - 1,19x_3 - 1,01x_1^2 - 0,56x_2^2 - 0,59x_3^2, \quad (3)$$

для выхода мелкой фракции

$$y_2 = 15,20 - 7,86x_1 + 4,93x_2 + 4,84x_3 - 3,28x_1x_2 - 1,13x_1x_3 + 1,32x_1^2 - 1,48x_3^2. \quad (4)$$

Расчет на ЭВМ показал, что максимум содержания белка соответствует минимальному выходу фракции при значениях $N_1 = 4000$ об/мин, $N_2 = 2000$ об/мин, $\Delta R = 5$ мм.

Для проверки полученных теоретических предположек, описанных уравнениями (1) и (2) (глава вторая), было разработано алгоритмическое и программное обеспечение расчета и цифрового моделирования процесса сепарации. С помощью ЭВМ ЕС 1022 рассчитали значения радиальных координат r пересечения уровня разделения (I) частицами размером 30 мкм. Вычислена вероятность $P(r)$ попадания их в мелкую фракцию (2). Среднее значение r было равно 9,38 мм, вероятность $P(r)$ при $\Delta R = 5, 10, 15$ мм соответственно равнялась 13,7; 64,4; 87,3 %.

По результатам теоретических исследований и с учетом реального дисперсного состава муки была также составлена и реализована имитационная цифровая модель центробежной пневмокласификации, учитывающая детерминированные и случайные свойства процесса. Сравнительный анализ результатов, рассчитанных на ЭВМ и полученных экспериментальным путем, показал достаточную для практических целей адекватность модели.

Таким образом, реализация матрицы планирования эксперимента и расчет полученных теоретических моделей позволили определить оптимальные параметры режимов работ пневмокласификатора центробежного типа ($N_1 = 4000$ об/мин, $N_2 = 2,5 \dots 3,0$ м/с, $\Delta R = 10$ мм).

Для выделения высокобелковой фракции из различных потоков муки отбирали образцы на мельзаводе Одесского комбината хлебопро-

дуктов, работающего по схеме 75%-ного помола и включала 6 драных, 4 шифовочных и 8 размольных систем. Перерабатываемая помольная партия состояла из пшениц I и IV типа, смешанных в равных долях. Перед пневмокласификацией образцы муки подвергались двукратному доизмельчению в штифтовом измельчителе. Анализ полученных высокобелковых фракций показал наибольший прирост белка в муке из драных и размольных систем первого качества - 1,52...1,60 раза. Это можно объяснить повышенным образованием свободного промежуточного белка в муке из этих систем после измельчения. Наименьший прирост белка наблюдался во фракциях муки шифовочных систем - 1,47...1,51 раза. Абсолютное содержание белка было выше во фракциях из муки вымольных систем - 20,99...23,31 %. Зольность белковых фракций была выше, чем у исходной муки на 0,08...0,31 %. Качество клейковины обнаруживало усиление ее упругих свойств на 2...7 усл. ед., что связано также с повышением дисперсности муки после дополнительного измельчения. Выход клейковины составил 37,1...45,7 %. Дисперсность фракций изменялась в пределах 4134...4462 см²/г.

Полученные результаты пневмокласификации показывают возможность выделения высокобелковых фракций из любых потоков муки технологического процесса переработки зерна пшеницы. Однако, целесообразнее выделять ее из муки систем второго качества и вымольных, так как фракции имели большее абсолютное содержание белка и улучшались другие показатели качества муки.

С целью расширения зернового сырья для выработки высокобелковой муки изучали возможность ее получения из мелкой фракции зерна, отбираемой в подготовительных отделениях мельзаводов (проход 2,2х 20 мм, сход 1,7х20 мм), высокоурожайной мягкой пшеницы, выведенной для кормовых целей и перспективного зерна тритикале. Качество их приведено в табл. 4. В лабораторных условиях получали односортовую муку 70%-ного выхода. Перераспределением анатомических частей в

Институт пищевой промышленности

Ленинградский М. В. Давыдов

ВИБЛИОТЕКА

с.б. 45351

V 015351

мелком зерне по сравнению с зерном исходной нерассортированной партия можно объяснить меньший выход (на 8,1 %) из нее муки и изменение других показателей качества (выше содержание клетчатки, соли, белка, ниже дисперсность). Качество муки из высокоурожайной пшеницы и тритикале соответствовало качеству исходного зерна.

В табл. 5 приведены показатели качества высокобелковых фракций, полученных пневмокласификацией из четырех видов муки, предварительно доизмельченной в штифтовом измельчителе. Примем условно за образец фракцию из нерассортированного зерна пшеницы и сравним с ней другие фракции. Наибольший выход и приращение белка получены из мягкой пшеницы, что объясняется большей дисперсностью муки после ее измельчения и разрушением эндосперма по белковым прослойкам. Качество фракции из мелкого зерна незначительно отличается от фракции из нерассортированного зерна кроме зольности (выше на 0,21 %) и относительному приросту белка - 1,48 по сравнению с 1,54. Фракция из тритикале отличалась высоким выходом клейковины, но низким ее качеством.

При оценке пищевой ценности муки важное значение имеет аминокислотный состав белка. Результаты анализов показали, что все высокобелковые фракции являются полноценными. Выявлены значительные отличия аминокислотного состава фракции из тритикале, которые являются следствием генетического различия пшеницы и тритикале. Фракционный состав белков показал, что фракции муки, выделенные из пшеницы, имели наибольшее содержание спирто- и щелочерастворимых фракций белков (57,6...65,1 %). Во фракции муки из тритикале было наибольшее содержание водорастворимых белков (29,4 %).

Биохимические и хлебопекарные свойства высокобелковых фракций были изучены по изменению количественно-качественных показателей клейковины, газообразующей способности, физических свойств теста по альвеографу и валориграфу, седиментации и пробной выпечки хле-

Таблица 4

Показатели качества зерна пшеницы и тритикале

Показатели	Исходное зерно (I+IV тип)			Тритикале
	Исходное зерно (I+IV тип)	Мелкая фракция зерна	Мягкая пшеница	
Выход фракции, %	-	3,9	-	-
Объемная масса, г/л	786	727	757	704
Масса 1000 зерен, г	28,5	16,1	23,3	43,0
Стекловидность, %	54	49	21	55
Клетчатка, %	2,37	2,68	2,51	3,01
Белок, %	13,24	14,90	13,38	14,50
Зольность, %	1,73	1,91	1,87	1,90
Клейковина, %	28,4	29,3	28,3	29,3
Показания ИДК-I, усл.ед.	70	71	85	110

Таблица 5

Выход и показатели качества высокобелковых фракций муки

Показатели	Высокобелковые фракции муки из зерна		
	Исходного (I+IV тип)	мелкого пшеницы	тритикале
Выход, %	11,9	9,2	12,4
Зольность, %	0,90	1,11	0,94
Белок, %	19,81	20,33	20,87
Относительный прирост белка	1,54	1,48	1,59
Клейковина, %	43,1	41,3	45,4
Относительный прирост клейковины	1,44	1,40	1,58
Показания ИДК-I, усл.ед.	66	72	79
Удельная поверхность, см ² /г	4112	4010	4413
Средний условный размер, мкм	20,4	20,9	18,8
			20,6

ба. Анализ полученных результатов показал, что при высоких показателях выходов сырой и сухой клейковины, ее гидратационной способности и хорошем качестве по показаниям ИДК-I, результаты пробной выпечки получились неудовлетворительными. Объемный выход и пористость хлеба из фракций были низкими - 330...365 см³ и 61,1...70,3 % соответственно. Газообразующая способность фракций была нормальной (1100...1246 мл CO₂). Низкий объем хлеба можно объяснить чрезмерно упругим тестом, обусловленным высоким содержанием и качеством клейковины. Для фракции из тритикале причина низких показателей пробной выпечки в неудовлетворительном качестве клейковины, хотя выход ее был высоким.

Известно, что высокобелковая мука может улучшать качество муки с низкими хлебопекарными показателями. В связи с этим для изучения смешительной способности этой муки проводили пробные выпечки из смесей, в которых основным компонентом была мука I сорта с низкими хлебопекарными свойствами (объем хлеба 380 см³, пористость 69,5 %). Высокобелковые фракции добавляли в количестве 5, 10...30 %. Анализ данных пробных выпечек хлеба показал, что объемный выход хлеба увеличился на 25...80 см³, при этом наиболее эффективно добавлять 20...25 % высокобелковой фракции. Пористость хлеба также возростала и составила 68,3...79,4 %.

Таким образом, полученные результаты пневмоклассификации, качество высокобелковых фракций муки и их смешительная способность показывают возможность и целесообразность использования мелкого зерна, высокоурожайной мягкой пшеницы и тритикале как сырья для получения высокобелковой муки.

Результаты исследований позволили обосновать технологический процесс получения высокобелковой муки из мелкого зерна, которая состоит из следующих этапов: отбор и подготовка мелкой фракции; выработки из нее муки традиционными методами; доизмельчение муки

в штифтовом измельчителе; выделение высокобелковой фракции пневмоклассификацией.

Выводы и предложения

1. Определены источники зернового сырья для получения высокобелковой муки. Для этой цели можно использовать зерно пшеницы нормального качества, а также мелкое зерно, отбираемое в подготовительном отделении мукомольного завода и неиспользуемое для производства хлебопекарной муки, высокоурожайные сорта мягкой кормовой пшеницы и зерно тритикале.

2. Изучены методы подготовки сырья к выделению высокобелковой муки. Определено, что одно-двукратное доизмельчение муки в штифтовом измельчителе перед ее классификацией позволяет повысить выход высокобелковой фракции до 10 %.

3. Исследованы различные методы классификации порошкообразных материалов с целью их применения для выделения высокобелковой фракции муки, а именно: разделение при помощи воздушного потока, разделение в электростатическом поле коронного разряда и комбинированный, включающий оба метода. Сравнительными исследованиями классификаторов установлено, что применение для указанной цели пневмоклассификатора центробежного типа является наиболее эффективным.

4. Теоретические исследования позволили выявить влияющие параметры процесса центробежной пневмоклассификации муки с целью выделения частиц фиксированного размера, получены уравнения движения частицы в зоне сепарации, с помощью которых определена вероятность попадания частицы фиксированного размера в мелкую, высокобелковую фракцию.

5. Получены технологически эффективные значения соотношений основных конструктивных элементов центробежного пневмоклассификатора - вращающегося диска и криволинейных лопастей на его поверх-

ности. Определено, что соотношение диаметров расположения внешних кромок лопастей и диска должно составлять около $2/3$, что приводит к наибольшей эффективности выделения высокобелковой фракции муки.

6. Полученные математические зависимости выхода и качества высокобелковой муки от параметров классификации позволили определить оптимальные режимы и геометрические параметры зоны сепарации. Эффективными параметрами являются: ширина зоны сепарации $\Delta R - 5 \dots 10$ мм, скорость вращения диска с криволинейными лопастями n , равная 4000 об/мин, скорость воздушного потока, пронизывающая зону сепарации $U_{\frac{1}{2}} - 2,5 \dots 3,0$ м/с.

7. Изучен химический состав, биохимические и технологические свойства высокобелковых фракций, полученных из различного сырья. Установлено, что добавление высокобелковых фракций в количестве 10...25 % позволяет использовать их в качестве улучшителей муки с низкими хлебопекарными свойствами.

8. Разработаны исходные данные для проектирования опытного образца пневмокласификатора и технологической линии производства высокобелковой муки из мелкого зерна, включающей выработку муки традиционными методами, дополнительное измельчение ее в штифтовом измельчителе и центробежную пневмокласификацию.

9. Расчетная экономическая эффективность технологической линии производства высокобелковой муки из мелкой фракции зерна на мукомольном заводе производительностью 250 т/сут. составляет 61 тыс. руб. в год.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бакуридзе Т.А., Березовский А.Д., Песчаный Е.Ф. Сепарация порошков в импульсном электрическом поле //Тез. докл. Ш Всесоюз. конф. по применению электронно-ионной технологии в народн. хоз-ве, 25-27 нояб. 1981 г. - Тбилиси, 1981. - С.59-60.

2. Бакуридзе Т.А. Дисперсные характеристики тонкоизмельченных фракций продуктов переработки зерна, выделяемых на центробежном пневмокласификаторе //Тез. докл. Всесоюз. науч.-технич. конф. "Технологические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств", 28-30 сент. 1982 г. - М., 1982. - С.129.
3. Бакуридзе Т.А. Исследование разделительных свойств коронного электросепаратора //Тез. докл. IV Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов", 17-19 сент. 1980 г. - Одесса, 1980. - С.227.
4. Бакуридзе Т.А. Применение коронного разряда для сепарации продуктов переработки зерна //Материалы Респ. науч. конф. молодых ученых по вопр. пищ. пром-сти, посвящ. 110-летию со дня рожд. В.И.Ленина. - Тбилиси, 1980. - С.146-147.
5. Заявка № 3874473/03 от 30.01.85. Классификатор /И.Т.Мерко, Т.А.Бакуридзе, В.А.Моргун, С.И.Кудашев //Полжит. реш. ВНИИПЭ о выдаче авторского свидетельства от 18.03.86.
6. Мерко И.Т., Бакуридзе Т.А., Песчаный Е.Ф. Интенсификация процесса пневмокласификации в поле коронного разряда //Тез. докл. IV Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов", 17-19 сент. 1980 г. - Одесса, 1980. - С.226.
7. Моргун В.А., Прасько А.Ф., Бакуридзе Т.А. Изучение белково-го состава отходов и побочных продуктов зерноперерабатывающей промышленности //Тез. докл. Всесоюз. совещ. "Новые источники пищевого белка и их применение", нояб. 1980 г. - Тбилиси, 1980. - С.34-36.
8. Предварительная подготовка проб для микроскопического анализа порошковых материалов в пищевой промышленности /А.М.Алешин, А.М.Тигарев, В.И.Лашманов, Т.А.Бакуридзе //Материалы Пятой Всесоюз. науч.-технич. конф. "Электрофизические методы обработки пищевых продуктов". - М., 1985. - С.250.

Баку