

Дватор едр.

М 52

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

МЕРКО Иван Тимофеевич
кандидат технических наук, доцент

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
АВТОМАТИЗАЦИИ
МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

(Специальность 05.18.02 — технология зерновых, бобовых,
крупяных товаров и комбикормов)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Одесса — 1973

OK

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

МЕРКО Иван Тимофеевич
кандидат технических наук, доцент

Переучет 1984

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
АВТОМАТИЗАЦИИ
МУКОМОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

(Специальность 05.18.02 — технология зерновых, бобовых,
крупяных товаров и комбикормов)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

к.б. 12119

Одесский технологический
институт пищевой промыш-
ленности имени М. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА

ОНАХТ 04.07.12
Технологические осно



v012119

Одесса — 1973

Работа выполнена на кафедре технологии переработки зерна Одесского технологического института пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **Л. Е. Айзикович**;
доктор технических наук, профессор **Г. А. Егоров**;
доктор химических наук, профессор **М. С. Дудкин**.

Ведущая организация — Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени институт зерна и продуктов его переработки (ВНИИЗ).

Автореферат разослан „ 25 “ марта 1973 г.

Защита диссертации состоится в 10 час. „ 25 “ апреля 1973 г. на заседании совета Одесского технологического института пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова, ауд. 272.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112.

Ученый секретарь совета,
кандидат технических наук

Л. А. ЗАПОРОЖЕЦ

В решениях XXIV съезда КПСС, наметившего грандиозную программу коммунистического строительства в нашей стране на 1971—1975 годы, особая роль отводится научно-техническому прогрессу во всех отраслях народного хозяйства. В условиях развитого социалистического общества ускоренный научно-технический прогресс выступает в роли главного звена по созданию материально-технической базы коммунизма.

Перед мукомольной промышленностью нашей страны в текущей пятилетке поставлена задача обеспечить производство муки высоких сортов в необходимом количестве и укрепить материально-техническую базу промышленности. Непрерывный рост народонаселения и повышение благосостояния советского народа вызывают постоянно возрастающий спрос на сортовую муку и особенно на муку высоких сортов.

Работниками мукомольной промышленности в содружестве с учеными, специалистами проектных и конструкторских организаций проведены значительные работы по совершенствованию техники и технологии мукомольного производства, которые обеспечили необходимый количественный и качественный рост промышленности.

Дальнейший рост выработки сортовой муки, и особенно муки высоких сортов, возможен только на основе технического перевооружения мукомольной промышленности, внедрения передовой технологии и повышения квалификации кадров. В этой связи важнейшая роль отводится совершенствованию существующих технологических процессов и автоматизации мукомольного производства.

Исходя из общих требований научно-технического прогресса в мукомольной промышленности, основной целью данной работы является изыскание способов повышения эффективности технологических процессов мельниц многосортных помолов и разработка технологических основ их автоматизации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и предложений, списка литературы и прило-

скоростного кондиционирования зерна (П. Артимович, П. Тарутин, В. Замотайлов) и другие системы.

Работы по автоматизации процессов размола зерна сводились к определению степени измельчения зерна прямым либо косвенным методом с целью автоматизации вальцового станка. Наиболее приемлемыми оказались прямые методы определения степени измельчения: ситовой анализ образцов (А. Панченко, Л. Котляр, И. Мамбиш, Е. Шигин, А. Демидов и другие); использование производственного отсева как дисперсоанализатора (Я. Портнов, А. Птушкин, Е. Каплина); применение специальных сепарирующих устройств (Г. Гальперин, В. Поляков, К. Герекке, А. Поп и другие).

Указанные работы по созданию приборов и методов измерений различных технологических показателей находятся в стадии разработки и производственного освоения.

Проведенные работы по автоматизации не ставили своей целью изучение технологических процессов мельниц в связи с подготовкой их к автоматизации. Поэтому в данной работе и была поставлена цель — на основе изучения технологических процессов мельниц многосортных помолов изыскать способы повышения их эффективности и разработать технологические основы автоматизации.

В работе принят поэтапный метод исследования многостадийных технологических процессов мельниц. Для обоснования принятых к изучению этапов проведен предварительный анализ технологического процесса по стадиям, в результате которого установлено, что наибольшее влияние на эффективность производства муки оказывают следующие этапы:

- формирование помольных партий зерна,
- методы и режимы подготовки зерна к помолу,
- процессы размола зерна (крупнообразование, обогащение, размол крупок и дунстов).
- формирование муки по сортам.

Эффективность различных этапов подготовки и переработки зерна оценивалась по комплексу физических, биохимических и технологических показателей, приведенных в табл. 1.

При изучении многофакторных зависимостей в технологических процессах мельниц с целью определения оптимального значения влияющих факторов использован метод планирования экспериментов.

Во второй главе приведены результаты исследования эффективности процесса формирования помольных партий зер-

Таблица 1

Показатели для оценки эффективности технологических процессов мельниц, принятые в исследованиях.

Физические показатели зерна и муки	Биохимические показатели зерна и муки	Технологические показатели	
		мукомольные	хлебопекарные
1. Выравненность зерна	1. Количественно-качественная характеристика клейковины зерна и муки	1. Влажность зерна на 1 др. с.	1. Газообразующая способность муки
2. Объемная масса зерна	2. Химический состав зерна и муки	2. Общий выход крупок и дунстов 1 качества	2. Газоудерживающая способность муки
3. Абсолютная масса зерна	3. Распределение азота по фракциям в муке	3. Степень вымола обочечных продуктов	3. Сахарообразующая способность муки
4. Стекловидность зерна	4. Кислотность муки	4. Комплексный показатель «К»	4. Набухание в уксусной кислоте
5. Плотность муки и зерна	5. Водорастворимые вещества муки	5. Удельный расход энергии, отнесенный к получению характерного продукта	5. Хлебопекарный анализ по результатам пробных выпечек хлеба
6. Разрушающие усилия и деформация образца зерновки			
7. Дисперсный состав муки			
8. Удельная поверхность муки			
9. Белизна муки			

на на мельницах и разработка технологических предпосылок его автоматизации.

Показано, что изменчивость в широких пределах физико-технологических свойств зерна выдвигает перед технологами сложную задачу по созданию помольных партий со стабильными показателями качества, обеспечивающими лучшее использование зерна и получение муки с высокими хлебопекарными достоинствами. Этому вопросу посвящено значительное количество работ, в которых установлена высокая эффективность смешивания зерна пшеницы различного качества перед помолом (Я. Куприц, Н. Козьмина, А. Островский, Л. Айзикович, Л. Котляр, Е. Казаков, П. Эйбус, С. Теумин, Б. Зибель, Б. Хорцев, И. Маслов, П. Кизима, Т. Шкваркина, И. Мамбиш, А. Созинов, И. Самолевский, Н. Мельников, А. Братухин, П. Коньков, Ф. Салухов, Д. Терпугов и другие).

На основании анализа выполненных работ по смешиванию зерна различного качества поставлены следующие задачи исследования:

— изучить физико-технологические свойства некоторых сортов яровой и озимой пшеницы, выращенных в различных почвенно-климатических зонах СССР, как компонентов смесей;

— исследовать смесительную способность избранных сортов пшеницы и обосновать показатели наиболее полно отражающие качество смеси;

— провести производственную проверку эффективности смешивания зерна различного качества и определить рациональное количество компонентов в зерновой смеси;

— разработать технологические принципы автоматизации процесса формирования помольных партий зерна на мельницах.

Для проведения исследований было выбрано 12 наиболее распространенных сортов яровой и озимой пшеницы, являющихся представителями всех качественных групп и отличающихся видом, типом, физическими, мукомольными и хлебопекарными свойствами. Некоторые показатели свойств указанных сортов пшеницы приведены в табл. 2.

Формирование зерновых смесей проводили из двух, трех и четырех компонентов, учитывая, что формирование смеси из большого количества компонентов трудно выполнимо по техническим возможностям. Исследование двухкомпонентных смесей проводили в четырех вариантах, предусматривающих

Таблица 2

Показатели физико-технологических свойств исходных сортов пшеницы

№№ п. п.	Сорт пшеницы	Район произрастания	Объемная мас- са, г/л	Абсолютная масса, г	Общая стекло- видность, %	Зольность, %	Выход сырой клетчатки, %	Выход круп- ной крупки, %	Вымываем. зерна (% крах- мала в отруб.)	Объем, выход хлеба, см ³
1.	Безостая 1	Одесская обл.	811	37,0	26	1,59	18,9	32,9	32,4	382
2.	Безостая 1	Сортоучастки	826	38,2	59	1,69	23,2	40,7	30,0	425
3.	Одесская 3		828	29,8	75	1,74	23,8	42,7	36,7	400
4.	Одесская 16	ВСГИ	836	33,0	70	1,72	24,6	43,9	34,3	390
5.	Саратовская 29	Куйбышевск. обл.	783	25,6	88	1,70	35,6	43,7	38,2	485
6.	Саратовская 210	»	795	29,8	85	1,65	34,6	46,7	34,5	525
7.	Артемовка	Воронежск. обл.	758	26,7	94	1,64	26,7	43,2	29,6	515
8.	Колхозница	Ленинградск. обл.	768	32,0	18	1,64	19,1	31,8	40,9	445
9.	Альбидум 43	Волгоградская обл.	833	30,3	71	1,78	26,1	35,8	37,5	450
10.	Лютесценс 230	»	811	25,9	54	1,82	27,4	41,4	30,1	475
11.	Приазовская	Ставропольск. край	740	27,3	31	1,74	24,0	43,7	32,8	465
12.	Весна	Курганская обл.	813	28,1	60	1,62	27,0	31,9	38,8	500

смешивание различного по качеству зерна в следующих соотношениях: 20:80; 40:60; 60:40; 80:20.

При исследовании трехкомпонентных смесей опыты проводили в шести вариантах со следующими соотношениями сортов:

20:20:60; 20:40:40; 20:60:20;
40:20:40; 40:40:20; 60:20:20.

Четырехкомпонентные смеси составляли в четырех вариантах со следующим соотношением сортов:

20:20:20:40; 20:20:40:20;
20:40:20:20; 40:20:20:20

Очистку и подготовку к помолу каждого компонента смеси проводили индивидуально в соответствии с его качеством, после чего смешивали компоненты в заданном соотношении.

Изучение физико-технологических свойств и химического состава, принятых для исследования сортов пшеницы, показало, что указанные сорта значительно отличаются по свойствам, характеризующим их качество.

Среди показателей качества зерна наиболее высокую связь с его хлебопекарными достоинствами имеют такие показатели как стекловидность и клейковина зерна, клейковина муки 70% выхода, «G» по альвеографу, показатель седиментации муки 70% выхода.

Мукомольные показатели зерна имеют умеренную корреляционную связь со стекловидностью зерна и удельным расходом энергии на измельчение образца. Исследование технологической эффективности смешивания зерна различного качества перед помолом показало, что этот метод способствует стабилизации помольных партий зерна и улучшению хлебопекарных достоинств муки.

В процессе исследования изучали изменения в смесях (по сравнению с исходными компонентами):

- показателей химического состава муки (клетчатка, зола, сырой протеин) и отрубей (крахмал);
- хлебопекарных свойств (выход клейковины, ее качество, показатель седиментации, физические свойства теста по альвеографу и фаринографу, пробная выпечка);
- мукомольных свойств (выход крупной крупки, общий выход круподуновых продуктов и их качество, вымалываемость, удельный расход энергии на измельчение).

При этом установлено, что показатели химического состава подчиняются правилу смешивания, и что по этим показа-

телям можно составлять зерновые смеси с предварительно заданными показателями.

Анализ полученных результатов по показателям хлебопекарных свойств позволяет сделать вывод о том, что по большинству показателей изменения в смесях не подчиняются правилу смешивания. Исключение составляет выход сырой клейковины. Отклонение опытных данных от расчетных по этому показателю не выходит за пределы $\pm 2\%$, что дает основание для составления смесей по выходу сырой клейковины пользоваться расчетным путем.

Показатели физических свойств теста, определяемые на альвеографе и фаринографе, свидетельствуют о том, что в результате смешивания зерна различного качества наблюдается улучшение физических свойств теста: заметно увеличивается коэффициент конфигурации альвеограммы, снижается разжижение, улучшаются показатели валориметра и устойчивости теста. Однако изменение указанных показателей не подчиняется правилам смешивания. Эти данные согласуются с выводами и других авторов.

Наиболее важным показателем, характеризующим эффективность смешивания зерна различного качества, является качество хлеба, которое оценивали по объемному выходу хлеба и его пористости. Установлено, что фактические результаты по объемному выходу хлеба значительно превосходят расчетные (табл. 3) и что наиболее полно смешительная способность различных сортов зерна может быть проявлена при увеличении количества компонентов в смесях.

Таблица 3
Данные о превышении объемного выхода хлеба по сравнению с расчетным для различных смесей

№ п. п.	Варианты зерновых смесей	Количество смесей, превышающих объемный выход хлеба, %					более 20%
		0	5	5÷10	10÷15	15÷20	
1	Двухкомпонентные	10	23	25	16	8	18
2	Трехкомпонентные	—	34	40	16	10	—
3	Четырехкомпонентные	—	—	6	50	13	31

Проведенные исследования подтверждают данные о том, что при выборе компонентов смеси необходимо учитывать

особенности их качества и подбирать наиболее благоприятное сочетание сортов с учетом их количества и соотношения в смесях.

По общему выходу круподуновых продуктов и их качеству, выходу крупной крупки, удельному расходу энергии на измельчение и вымалываемости зерновых смесей отклонения экспериментальных результатов от расчетных находятся в пределах ошибки опыта, что позволяет с достаточной для практики точностью составлять смеси с предварительно рассчитанными мукомольными свойствами. При этом высокоэффективные зерновые смеси по мукомольным смесям не всегда совпадают с таковыми по хлебопекарным свойствам.

В результате исследования технологической эффективности смешивания зерна различного качества выявлены наиболее эффективные варианты смесей, при которых получена мука с высокими хлебопекарными достоинствами. Эффективные смеси получены из исходных компонентов экспериментальным путем и к ним отнесены смеси, в которых фактический объемный выход хлеба превысил более чем на 12—15% расчетный при высоких мукомольных свойствах смеси. Указанные варианты эффективных двух-, трех- и четырехкомпонентных смесей использованы для обоснования ограничений при оптимизации процесса формирования помольных партий зерна.

С целью повышения точности расчетов многокомпонентной зерновой смеси предлагается проводить расчет по нескольким показателям качества зерна одновременно, используя цифровую вычислительную машину (ЦВМ). Основными показателями зерна, наиболее полно отражающими его смешительную ценность, выбраны: выход сырой клейковины, стекловидность, зольность, которые подчиняются правилу смешивания и оказывают существенное влияние на процессы подготовки и переработки зерна (стекловидность, клейковина), на хлебопекарные свойства муки (клейковина), а также на качество муки по стандарту (зольность, клейковина). Учитывая, что точность расчетов эффективных зерновых смесей будет тем выше, чем больше показателей введено в расчет, в принципе возможно рассчитывать смесь по большему числу показателей, однако это вызовет усложнение расчетов и алгоритма управления процессом формирования помольных партий зерна на мельнице.

Произведена производственная проверка метода составления многокомпонентной зерновой смеси на ЦВМ с исполь-

зованием зерна, находящегося на мелькомбинате № 3 в г. Москве и мелькомбинате в г. Одессе, в результате которой установлено, что составление и расчет помольной партии по нескольким показателям способствует повышению эффективности смешивания.

Совместно с институтом «Пищепромавтоматика» внедрена на Одесском мелькомбинате автоматизированная система управления процессом формирования помольных партий зерна, использующая телетайп и вычислительную машину «Минск-22». Для составления программы решения задачи о многокомпонентной смеси на ЦВМ были разработаны основные технологические предпосылки и ограничения при формализации задачи о зерновой смеси.

1. Зерновая смесь составляется по восьми показателям качества (стекловидность, зольность, клейковина, влажность, сорная и зерновая примеси, выравненность, объемная масса), которые характеризуют смешительную ценность исходных партий зерна, как компонентов смеси, входят в расчет выходов и подчиняются правилу смешивания.

2. В вычислительную машину вводится весовое количество и качество по всем указанным выше показателям каждой партии зерна, имеющегося на мельничном элеваторе. В результате условного смешивания всех партий зерна ЦВМ выдает качество зерновой смеси и расчетный выход муки по средневзвешенным показателям, информируя технолога о возможностях получения муки из имеющегося на предприятии зерна.

3. Зная средневзвешенное качество зерна на элеваторе, технолог перед составлением партии задает:

- массу составляемой помольной партии зерна;
- количество компонентов в смеси;
- ограничения по объему отдельных компонентов (ограничения определяются из эффективных зерновых смесей);
- необходимое качество зерновой смеси по ряду показателей (например, количество клейковины, зольность, стекловидность и другие показатели).

В результате решения задачи о смеси ЦВМ выдает весовое соотношение исходных компонентов, качество зерновой смеси по заданным показателям и расчет выходов муки из составленной смеси. При составлении программы оптимизации процесса составления помольных партий зерна использованы методы линейного программирования и стандартная задача о смеси.

Внедрение системы оптимального формирования помольных партий зерна произведено на Одесском мелькомбинате № 2 совместно с институтом «Пищепромавтоматика» и работниками мелькомбината. Экономический эффект от внедрения составил 69 тыс. руб. в год.

Третья глава содержит результаты исследования технологической эффективности различных методов подготовки зерна к помолу и обоснование основных направлений их автоматизации.

Подготовка зерна к помолу на мельницах является одним из решающих факторов направленного изменения всего комплекса его технологических свойств, которые изменяются в широких пределах вследствие сортовых особенностей и условий выращивания. Отечественные ученые внесли значительный вклад в развитие методов подготовки зерна к помолу на мельницах и их научное обоснование. Научные основы и практика гидротермической обработки зерна разработаны в нашей стране в трудах Я. Куприца, Н. Озолина, Н. Лосева, В. Гиршсона, П. Демидова, И. Ленарского, Е. Казакова, А. Лыкова, П. Тарутина, В. Кретовича, Н. Соседова, Л. Айзиковича, Г. Егорова, А. Братухина, Б. Сенаторского, И. Наумова, М. Зицерман, Н. Зотовой, А. Нохотевича, З. Гончаровой, Н. Беркутовой, П. Конькова, Ю. Чедаевой, Т. Петренко и других ученых, а также в работах таких зарубежных ученых как Альтротге, Нюре, Кемпбелл, Джонс, Смитс, Клеве, Элиас и других.

Благодаря работам отечественных и зарубежных ученых в практику мукомольного производства как в нашей стране, так и за рубежом, внедрены различные методы подготовки зерна к помолу (холодное, горячее, скоростное, вакуумное кондиционирование). Проведено также ряд работ по автоматизации методов подготовки зерна к помолу (холодного и скоростного кондиционирования). Однако, анализ выполненных работ показывает, что до настоящего времени не проведено широких сравнительных исследований различных методов для обоснования наиболее эффективного, а работы по автоматизации не имеют достаточного технологического обоснования и не охватывают всего процесса подготовки зерна к помолу.

Целью данного раздела работы является выявление на основе сравнительных исследований наиболее эффективного метода гидротермической обработки зерна, способствующего

повышению уровня его продовольственного использования и улучшению качества муки.

В связи с этим поставлены следующие задачи исследования:

— изучить влияние различных методов и режимов подготовки зерна к помолу на его физико-технологические свойства и хлебопекарные достоинства муки;

— провести сравнительные исследования различных методов подготовки зерна к помолу и установить их технико-экономическую эффективность;

— обосновать технологические предпосылки автоматизации наиболее эффективных методов подготовки зерна к помолу.

В соответствии с целью и задачами исследования были изучены следующие методы подготовки зерна к помолу: холодное, горячее, скоростное, вакуумное кондиционирование, обработка зерна ультразвуком, шелушение влажным способом и комплексные методы, представляющие сочетание указанных выше методов. Горячее кондиционирование проводили двумя способами. Первый состоял в том, что подвергали обильному увлажнению горячей водой (температура 40–60°C) зерно, центрофугированию и последующему отволаживанию в прогреваемом бункере при температуре 40–50°C в течение 0,5–2,0 час.

По второму способу зерно прогревали и увлажняли в открытой емкости насыщенным паром при температуре межзернового пространства 40–55°C в связи с качеством исследуемого зерна, а затем отволаживали в прогреваемом бункере аналогично первому способу.

Для проведения исследований по данному разделу работы были выбраны распространенные сорта и образцы рядовой озимой и яровой пшеницы, относящиеся к трем качественным группам по стекловидности: Безостая I урожая 1967 года, Новомичуринка урожая 1966 года, рядовая пшеница IV типа урожая 1966 и 1969 годов Одесской области, рядовая пшеница I типа урожая 1969 года Башкирской АССР, рядовая пшеница IV типа 1969 г. Краснодарского края, рядовая пшеница I типа урожая 1971 года Красноярского края.

Оценку физико-технологических свойств исследуемых сортов зерна в процессе его подготовки к помолу производили по комплексу физических, биохимических и технологических показателей, указанных в табл. 1. Некоторые образцы зерна характеризовали также изменением его водопоглотительной

способности и прочностных свойств при различных методах и режимах подготовки.

Результаты изучения водопоглотительной способности различного по качеству зерна при различных методах его подготовки показали, что изменение водопоглотительной способности зерна не постоянно во времени. Наиболее высокие значения приращения влаги наблюдаются в первые 15 сек. увлажнения, в дальнейшем наблюдается более плавное приращение влаги. Повышение температуры увлажняющей воды от 27 до 60°C приводит к резкому возрастанию водопоглотительной способности зерна, что может быть объяснено увеличением скорости молекул воды, а также наличием температурного градиента между наружными и внутренними частями зерна. Показано, что наибольшей водопоглотительной способностью обладает зерно при увлажнении его методом пропаривания насыщенным паром, а затем следуют методы горячего кондиционирования, озвучивания, холодного кондиционирования.

Полученные результаты по изменению водопоглотительной способности согласуются с данными П. Тарутина, Г. Егорова, Г. Нюре и других ученых и свидетельствуют о том, что режимы гидротермической обработки различного по качеству зерна должны быть тесно связаны с его физико-технологическими свойствами и, в первую очередь, со структурой эндосперма — определяющим условием проникновения влаги в зерно.

Прочностные свойства зерна, определяемые по деформации сжатия образцов зерновки, находятся в тесной связи с его влажностью и продолжительностью отволаживания. С увеличением влажности зерна от 14,0 до 17,5% предел прочности при сжатии снижается для всех образцов исследуемых сортов зерна. Установлено, что наибольшее снижение прочности образцов наблюдается в течение первых 2—4 часов отволаживания при холодном кондиционировании и соответствует периоду образования максимального количества микротрещин в зерне, после чего предел прочности при сжатии снижается менее интенсивно до определенного периода, при котором, вследствие повышенного влагонасыщения эндосперма, возникают пластические деформации. Повышение температуры зерна способствует снижению предела прочности при сжатии.

Изучение влияния различных методов подготовки зерна к помолу на его мукомольные свойства (табл. 4) позволило

установить, что выход крупок и дунстов первого качества зависит как от метода подготовки, так и от качества зерна. Наиболее высокие показатели по выходу крупок и дунстов первого качества получены при скоростном и горячем кондиционировании, что объясняется повышенной трещиноватостью зерна при его обработке указанными методами. Качество муки 70% выхода, показатель «К», характеризующий количество круподуновых продуктов первого качества, приходящихся на 1% зольности муки высокого качества (1—5 р. с.), удельный расход энергии на помол также свидетельствуют о высокой технологической эффективности методов скоростного и горячего кондиционирования.

Основная цель проведения комплексных методов подготовки зерна к помолу состояла в проверке возможности их усиления путем сочетания, в основном, со скоростным кондиционированием. Однако, полученные результаты по мукомольным свойствам уступают скоростному и горячему кондиционированию. Некоторые результаты изучения влияния различных методов подготовки зерна к помолу на его хлебопекарные достоинства представлены в табл. 5, из данных которой видно, что метод скоростного кондиционирования оказывает отрицательное влияние на выход клейковины из зерна, этого явления не наблюдается при определении выхода клейковины из муки. Исключением является скоростное кондиционирование пшеницы Новомичуринка, имеющей слабую клейковину. Указанное может быть объяснено неравномерностью теплового воздействия на зерно в процессе его скоростного кондиционирования. По-видимому, белковые вещества, находящиеся в поверхностных слоях зерна, вследствие повышенного теплового воздействия при кондиционировании теряют способность участвовать в образовании клейковины. А поскольку периферические части зерна в процессе производства муки удаляются, то в муке отрицательное влияние скоростного кондиционирования на клейковину менее заметно.

Объемный выход хлеба существенно не изменился при различных методах подготовки зерна к помолу, но был более высоким при горячем кондиционировании и обработке зерна ультразвуком, что связано с выходом клейковины, ее качеством и активностью ферментов. Хлебопекарные достоинства зерна повышаются с увеличением влажности зерна на I крупобразующей системе до 17—18% (поверхностная влага).

Учитывая, что методы тепловой обработки зерна в процессе его подготовки к помолу дают возможность получить

В.В.1119

Влияние различных методов подготовки зерна к помолу на его мукомольные свойства

Наименование сорта зерна	Режим подготовки зерна						Выход крупнок и дунстов I кач., %	Качество муки 70% на по			Показатель «К»	Удельн. расх. энерг. на по- мло, ккал/кг
	температу- ра нагрева, °С	давление, н/м ²	время нахож дення в конд., сек.	время отво- лаживан., час.	влажность на I др. с., %	Выход крупнок и дунстов I кач., %		Клетчат- ка, %	золь- ность, %	белки на по ФПМ-I		
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	18-20	—	—	20	16,4	73,3	0,45	0,97	62	79,5	81,1	
	18-20	—	—	16	16,0	72,0	0,34	0,75	48	98,8	66,6	
	18-20	—	—	8	15,2	70,0	0,40	0,78	46	98,0	57,6	
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	45-50	2 · 10 ⁵	20	3	16,6	83,2	0,42	0,87	57	98	76,1	
	50-55	2 · 10 ⁵	20	3	16,6	74,8	0,20	0,57	29	120	50,9	
	55-58	2 · 10 ⁵	20	2	15,0	70,5	0,16	0,68	35	116	55,2	
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	43	0,3 · 10 ⁵	300	8	16,8	76,2	0,43	0,89	59	86	78,2	
	48	0,3 · 10 ⁵	300	3	16,3	75,8	0,28	0,58	32	136	58,9	
	52	0,3 · 10 ⁵	300	2	15,6	70,3	0,24	0,70	40	109	55,7	
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	30	—	10	12	16,6	72,0	0,59	0,98	73	62	152,0	
	36	—	15	2	16,4	72,5	0,16	0,71	43	121	62,5	
	35	—	15	4	15,6	69,1	0,35	0,71	41	108	55,0	

Озвучивание зерна в процессе мойки

более эффективные результаты, проведены исследования для выяснения особенностей применения различных методов тепловой обработки зерна по сравнению с холодным кондиционированием. В исследованиях были использованы: горячее кондиционирование, включающее увлажнение зерна горячей водой ($t=50^{\circ}\text{C}$) с последующим отволаживанием в обогреваемом бункере в течение 1-2 часов; обработка зерна насыщенным паром пониженных параметров (избыточное давление — $0,2 \div 0,3 \cdot 10^5$ н/м²) с последующим отволаживанием в обогреваемом бункере в течение 1-2 часов; обработка зерна насыщенным паром пониженных параметров (избыточное давление — $0,2 \div 0,3 \cdot 10^5$ н/м²), с последующим отволаживанием в обогреваемом бункере в течение 1-2 часов; обработка зерна насыщенным паром жестких параметров, характерных для скоростного кондиционирования (избыточное давление — $1,5 \div 2,0$ н/м², время обработки — 30 сек.).

Проведенными исследованиями показано, что наиболее высокие мукомольные и хлебопекарные показатели зерна и муки получены при горячем кондиционировании зерна путем его увлажнения горячей водой и обработке насыщенным паром пониженных параметров. При этом значительно улучшается зольность муки, повышаются выход сырой клейковины и объемный выход хлеба по сравнению с холодным и скоростным кондиционированием.

Газообразующая и сахарообразующая способности муки также имеют наиболее высокие значения при мягких режимах горячего кондиционирования, что указывает на повышение активности ферментов.

Таким образом, методы горячего кондиционирования при мягких режимах обработки зерна способствуют повышению технологической эффективности процесса подготовки зерна к помолу на мельницах.

Для определения оптимальных режимов указанных методов горячего кондиционирования зерна пшеницы проведено их изучение с использованием методов планирования экспериментов. При изучении метода кондиционирования зерна путем увлажнения его горячей водой с последующим прогреванием в бункере приняты следующие независимые факторы:

- t_a — температура увлажняющей воды, °С;
- t_b — температура зерна в обогреваемом бункере °С;
- τ_n — время нахождения зерна в обогреваемом бункере, час;
- τ_o — время отволаживания зерна после кондиционирования, час.

Влияние различных методов подготовки зерна к помолу на его хлебопекарные свойства

Наименование сорта зерна	Характеристика клейковины зерна				Характеристика клейковины муки			Выечка хлеба	
	выход сырой, %	выход сухой, %	ПАК уст. способ, %	ПАК уст. ст.	выход сырой, %	выход сухой, %	гидратация, %	объем хлеба, см ³	У/Н
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	Холодное кондиционирование								
	21,4	7,0	206	80	26,1	9,2	184	570	0,35
	21,5	6,9	204	85	28,4	9,6	196	650	0,41
	17,2	5,5	212	95	24,3	7,8	212	630	0,29
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	Скоростное кондиционирование								
	21,0	6,8	208	65	26,6	9,6	177	560	0,35
	20,6	6,7	207	65	23,5	8,8	170	640	0,47
	15,4	5,1	203	65	20,2	7,3	179	600	0,35
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	Горячее кондиционирование								
	21,2	6,8	206	65	26,3	9,5	182	580	0,38
	20,6	7,0	210	70	28,0	9,4	200	700	0,46
	16,0	5,2	210	70	23,4	7,4	187	630	0,38
Новомичуринка Безостая-1 Рядовая	Озвучивание в процессе мойки								
	20,6	7,2	188	75	27,0	9,5	184	520	0,27
	23,1	8,0	206	80	28,4	9,3	203	700	0,41
	17,3	5,6	208	90	24,3	8,5	185	620	0,34

В качестве параметров оптимизации процесса кондиционирования приняты: зольность муки 70% выхода (y_1) и объемный выход хлеба (y_2). Уровни варьирования факторов и центр экспериментирования выбраны на основании предварительно проведенных исследований, а также на основании «Правил организации и ведения технологического процесса на мельницах».

В таблице 6 приведена матрица планирования и результаты реализации опытов. По результатам опытов определены коэффициенты уравнения регрессии для параметров оптимизации y_1 y_2 по двум образцам зерна № 1 (IV тип Краснодарского края, стекловидность — 53%) и № 2 (I тип Красноярского края, стекловидность — 60%).

Воспроизводимость опытов доказана по критерию Кохрена. Значимость коэффициентов уравнения регрессии проверена по критерию Стьюдента, в результате установлено, что коэффициенты b_1 и b_2 для параметра y_1 и b_3 , b_4 для параметра y_2 оказались незначимы. Анализ статистических данных показал, что принятый основной уровень факторов близок к оптимальному для параметра оптимизации y_2 , а также то, что первый и второй факторы не оказывают существенно влияния на параметр оптимизации y_1 .

В результате проведенных исследований получены следующие уравнения регрессии:

для образца пшеницы № 1

$$\begin{cases} y_1 = 0,4848 - 0,0012 \cdot x_1 + 0,0038 \cdot x_2 - 0,0088 \cdot x_3 - 0,0138 \cdot x_4 + \\ + 0,0038 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0012 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,0012 \cdot x_3 \cdot x_4; \\ y_2 = 513,7 + 2,5 \cdot x_1 - 7,5 \cdot x_2 - 6,2 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,2 \cdot x_2 \cdot x_4 - 1,2 \cdot x_3 \cdot x_4; \end{cases}$$

для образца пшеницы № 2

$$\begin{cases} y_1 = 0,5688 - 0,0012 \cdot x_1 + 0,0012 \cdot x_2 - 0,0062 \cdot x_3 - 0,0162 \cdot x_4 - \\ - 0,0012 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0038 \cdot x_2 \cdot x_4 + 0,0038 \cdot x_3 \cdot x_4; \\ y_2 = 507,5 - 10,0 \cdot x_2 - 1,2 \cdot x_3 - 1,2 \cdot x_4 - 1,2 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,2 \cdot x_2 \cdot x_4 - \\ - 2,5 \cdot x_3 \cdot x_4. \end{cases}$$

Адекватность полученных уравнений проверяли по критерию Фишера. Так как табличное значение критерия больше всех вычисленных, то гипотеза о возможности описания поверхностей отклика неполным квадратным уравнением принимается.

Для отыскания координат оптимума использовали графический метод построения кривых равного выхода по каждому параметру оптимизации.

Матрица планирования экспериментов для изучения горячей водой с последующим

Факторы	t_B	t_6	τ_{II}	τ_0	Взаимодействие факторов			
Единица измерения	°С	°С	час.	час.				
Основной уровень	50	50	1,5	4				
Шаг варьирования	10	10	0,5	2				
Верхний уровень	60	60	2	6				
Нижний уровень	40	40	1	2				
Кодовое обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_2 \cdot x_3$	$x_2 \cdot x_4$	$x_3 \cdot x_4$	
Порядковый номер опыта	1	+	+	+	+	+	+	
	2	+	+	-	-	-	+	
	3	+	-	+	-	-	-	
	4	+	-	-	+	+	-	
	5	-	+	+	-	+	-	
	6	-	+	-	+	-	+	
	7	-	-	+	+	-	+	
	8	-	-	-	-	+	+	
образец № 1	Коэффициент $b_i(y_1)$	-0,0012	+0,0038	-0,0088	-0,0138	+0,0038	+0,0012	+0,0012
	Коэффициент $b_i(y_2)$	-2,5	-7,5	0	0	-6,2	-1,2	-1,2
образец № 2	Коэффициент $b_i(y_1)$	-0,0012	+0,0012	-0,0062	-0,0162	-0,0012	+0,0038	+0,0038
	Коэффициент $b_i(y_2)$	0	-10,0	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-2,5

Таблица 6

кондиционирования зерна путем увлажнения его нагреванием в бункере

Образец зерна							
№ 1				№ 2			
Зольность, %		Объемный выход хлеба, см ³		Зольность, %		Объемный выход хлеба, см ³	
экспериментальн.	расчетная	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетная	экспериментальн.	расчетный
y_1	\hat{y}_1	y_2	\hat{y}_2	y_2	\hat{y}_1	y_2	\hat{y}_2
0,47	0,47	500	500	0,55	0,55	490	490
0,51	0,50	515	515	0,59	0,59	500	500
0,48	0,48	530	530	0,58	0,58	520	520
0,47	0,47	520	520	0,55	0,55	520	520
0,49	0,49	500	500	0,57	0,57	500	500
0,48	0,48	510	510	0,56	0,56	500	500
0,46	0,46	525	525	0,55	0,55	515	515
0,51	0,51	510	510	0,60	0,60	515	515
$b_0 = 0,4848$				$b_0 = 0,5688$			
		$b_0 = 513,7$					
						$b_0 = 507,5$	

В пределах изменения исследуемых факторов для указанных образцов зерна компромиссный оптимум по двум параметрам оптимизации наблюдается при следующих режимах: температура увлажняющей воды — около 40°C;

— температура прогрева зерна в бункере — 40–50°C;

— время нахождения зерна в прогреваемом бункере — 1,0–1,5 часа для I типа и 1,0+2,0 для IV типа;

— время отволаживания — 6 час.

При изучении второго варианта горячего кондиционирования путем обработки зерна насыщенным паром пониженных параметров приняты следующие факторы:

τ_I — время пропаривания зерна, мин.;

τ_{II} — время нахождения зерна в обогреваемом бункере, час.;

τ_0 — время отволаживания зерна после кондиционирования, час.

Параметры оптимизации те же, что и по первому варианту кондиционирования. Реализация матрицы планирования экспериментов и проведенные расчеты позволили получить, аналогично предыдущему, уравнение регрессии по данному варианту:

для образца пшеницы № 1

$$\begin{cases} y_1 = 0,5300 - 0,0150 \cdot x_1 - 0,0075 \cdot x_2 - 0,0175 \cdot x_3 + 0,0025 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ \quad + 0,0025 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0050 \cdot x_2 \cdot x_3; \\ y_2 = 513,1 - 0,6 \cdot x_1 + 0,6 \cdot x_2 + 3,1 \cdot x_3 - 8,1 \cdot x_1 \cdot x_2 - 3,1 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ \quad - 1,9 \cdot x_2 \cdot x_3; \end{cases}$$

для образца пшеницы № 2

$$\begin{cases} y_1 = 0,5938 - 0,0062 \cdot x_1 - 0,0062 \cdot x_2 - 0,0162 \cdot x_3 + 0,0038 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ \quad + 0,0038 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0012 \cdot x_2 \cdot x_3; \\ y_2 = 510,6 - 0,6 \cdot x_1 - 0,6 \cdot x_2 + 1,9 \cdot x_3 - 11,9 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,9 \cdot x_1 \cdot x_3 - \\ \quad - 1,9 \cdot x_2 \cdot x_3; \end{cases}$$

По критерию Фишера доказана гипотеза о пригодности полученной линейной математической модели для описания изучаемого процесса. Определение координат компромиссного оптимума проводили аналогично предыдущему. При этом установлено, что компромиссный оптимум достигается при следующих режимах:

— время пропаривания — 2–3 мин.;

— время прогрева зерна — 1,0–1,5 часа;

— время отволаживания — 4–6 час. (меньшее относится к большему времени прогрева).

Расчет приведенных годовых затрат по каждому из изучаемых методов подготовки зерна к помолу показал, что наиболее эффективными по этому показателю являются методы горячего и холодного кондиционирования. Метод скоростного кондиционирования по приведенным годовым затратам на 50–60% превышает другие методы за счет роста эксплуатационных расходов и более высоких капитальных затрат.

Рассматривая изученные в работе методы подготовки зерна к помолу по комплексу технологических и технико-экономических показателей, можно сделать вывод, что основным направлением автоматизации процесса подготовки зерна к помолу является автоматизация методов горячего кондиционирования при пониженных режимах тепловой обработки зерна, как наиболее эффективных.

Четвертая глава посвящена изучению этапов технологического процесса размола зерна в связи с подготовкой их к автоматизации. Исследованию подвергнуты три основных этапа размола зерна: крупобразование, шлифовочный процесс и размольный процесс.

В трудах отечественных и зарубежных ученых технологический процесс размола зерна освещен наиболее полно. При этом выполненные работы можно распределить на четыре основных направления, изучавшие влияние на процесс размола зерна:

- типов помолов и структуры технологического процесса,
- физико-технологических свойств зерна,
- кинематических и геометрических параметров рабочих органов основного технологического оборудования,
- нагрузки на основное технологическое оборудование.

Тип помола неразрывно связан с определенной структурой технологического процесса и ассортиментом муки. В этом направлении известны работы В. Рейсига, П. Козьмина, В. Гиршсона, С. Щербакова, П. Тарутина, А. Данилина, Р. Паченовой и других авторов.

Изучению влияния физико-технологических свойств зерна на эффективность процессов размола зерна посвящено значительное количество работ как отечественных, так и зарубежных авторов. Я. Куприц, В. Гиршсон, К. Чинго-Чингас, Л. Любарский, С. Хусид, П. Эйдус, И. Мамбиш, П. Тарутин, Л. Айзикович, А. Братухин, Р. Биленко, А. Матненко, Г. Барер, А. Нохотович, А. Калюжная, В. Яцевич, И. Наумов, Н. Маслов, а также П. Пельсенке, Г. Боллинг, Г. Нюре,

З. Кред, Ф. Аткинсон, Г. Звингельберг и другие установили, что физико-технологические свойства зерна оказывают решающее влияние на выход и качество муки по сортам.

Кинематические и геометрические параметры рабочих органов основного технологического оборудования и в первую очередь валцовых станков являются управляющими факторами процесса размола зерна. Отечественные ученые и специалисты создали научные основы процесса измельчения зерна и провели фундаментальные исследования по данному вопросу (труды П. Афанасьева, К. Зворыкина, П. Козьмина, В. Гиршсона, А. Соколова, А. Панченко, С. Хусида, В. Белецкого, Л. Айзиковича, Л. Котляра, Е. Козьминой, О. Воронцова, П. Ястребова, И. Наумова, А. Братухина, Г. Креймермана, А. Данилина, М. Мурiana, Б. Сенаторского, Г. Гальперина, В. Бутковского, А. Николенко, А. Тимукаса и других).

По изучению влияния нагрузочных условий на эффективность процессов размола зерна известно относительно небольшое число работ. К ним относятся работы А. Панченко, С. Хусида, Л. Айзиковича, Н. Остапчука, А. Данилина, Б. Сенаторского и других авторов, которые установили взаимосвязь нагрузочных условий на оборудование с качеством зерна, режимами систем и этапов технологического процесса и качеством муки. Анализ выполненных работ по изучению процесса размола зерна показал, что, несмотря на тщательное изучение этого процесса, авторы указанных работ не ставили задачи оптимизации технологического процесса размола зерна или хотя бы отдельных его этапов в условиях совокупного взаимодействия влияющих факторов; направленная подготовка технологического процесса размола зерна с целью его автоматизации не проводилась.

Поэтому целью данного раздела работы является изыскание способов повышения эффективности технологического процесса размола зерна и улучшение качества муки на основе автоматизации этапов крупобразования, шлифовочного и размольного.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи исследования:

— обосновать параметры оптимизации изучаемых этапов технологического процесса;

— исследовать эффективность процессов крупобразования, шлифования и размола промежуточных продуктов в условиях совокупного взаимодействия влияющих факторов;

— получить математические описания изучаемых этапов технологического процесса и обосновать алгоритмы управления;

— разработать и испытать некоторые устройства для осуществления непрерывного контроля за величиной извлечения на различных системах.

Процесс крупобразования при сортовых помолах пшеницы является первичным этапом общего технологического процесса размола зерна и в значительной мере определяет количественно-качественные показатели производства муки. Поэтому основное технологическое требование к процессу крупобразования состоит в получении максимального количества промежуточных продуктов при наилучшем их качестве. Не менее важным требованием к процессу является поддержание стабильности выхода и качества промежуточных продуктов, поскольку стабильность последующих этапов размола зерна зависит от стабильности первичного этапа — процесса крупобразования.

Для установления фактических колебаний процесса крупобразования были проведены исследования в производственных условиях Одесского мелькомбината № 2. При этом наблюдали изменение основных влияющих факторов на выход и качество промежуточных продуктов с первых трех драных систем, таких как влажность зерна, поступающего на I драную систему, удельных нагрузок на каждую из систем, а также величины общего извлечения по каждой из указанных систем.

Наблюдение проводили в течение отдельных смен и в течение месяца работы мелькомбината при переработке одинаковой партии зерна.

Статистический анализ полученных результатов позволил установить, что предельные отклонения факторов, наблюдаемые в течение месяца, значительно превышают подобные отклонения, но полученные за сравнительно небольшой промежуток времени (одна, две смены). Наибольшие колебания установлены по показателям общего извлечения на всех трех крупобразующих системах и особенно на III драной системе, что свидетельствует о различных условиях ведения процесса в различных сменах и бригадах. Полученные результаты свидетельствуют также о фактической нестабильности процесса крупобразования в условиях ручного управления процессом. Указанное согласуется с выводами других авто-

ров, изучавших отдельные системы процесса крупобразования (А. Птушкин, Е. Каплина).

С целью выбора и обоснования параметров оптимизации процесса крупобразования проводили лабораторные помолы зерна до получения муки 72% выхода.

Лабораторные помолы позволили уточнить интервалы варьирования влияющих факторов и установить корреляционную связь между показателями качества промежуточных продуктов процесса крупобразования и качества муки, как конечного продукта. Опыты проводили на двух образцах зерна IV и I типов.

Проведенные исследования позволили установить, что при постоянном общем выходе муки (U_m) между ее зольностью (Z_m) и зольностью суммарного извлечения на крупобразующих системах (Z_o) существует линейная корреляционная зависимость. Следовательно, при постоянной величине суммарного извлечения (I_o) Z_o может служить параметром оптимизации процесса крупобразования. Однако поскольку I_o может также изменяться, то его необходимо использовать как конкурирующий параметр оптимизации, но применительно к процессу крупобразования более подходящим параметром является суммарный выход крупок (I_k) по процессу крупобразования. Таким образом, основными параметрами оптимизации процесса крупобразования приняты Z_o и I_k , а в качестве вспомогательного параметра удельный расход энергии — W . Исследование эффективности процесса крупобразования проводили в два этапа. На первом этапе определяли математическую модель процесса, на втором — исследование проводили с использованием полученной модели и дополнительной постановки опытов.

Для получения линейной математической модели процесса крупобразования реализована полуреплика от полного факторного эксперимента типа 2^5 . При этом влияющими факторами приняты: общее извлечение на первой крупобразующей системе (I_I); общее извлечение на второй крупобразующей системе (I_{II}); суммарное общее извлечение с I—III крупобразующих систем (I_o); влажность зерна, поступающего на первую крупобразующую систему (B); удельная нагрузка на вальцовые станки крупобразующих систем (q).

Проверка адекватности полученных линейных уравнений регрессии показала, что процесс крупобразования не может быть описан линейно и поэтому необходимо использовать уравнение второго порядка.

Исследование линейной модели процесса крупобразования показало, что значительное влияние на Z_o оказывают такие факторы, как влажность зерна, поступающего на первую крупобразующую систему, и удельные нагрузки на вальцовые станки. Исследованиями установлено, что в исследуемом диапазоне изменения B и q величина Z_o находится в линейной зависимости от их значений. Поэтому влияние режимов систем процесса крупобразования можно изучать при застabilизированных на оптимальном уровне факторах B и q . Для зерна IV типа они определены следующими: $B=16,0\%$, $q_I=1200$, $q_{II}=600$, $q_{III}=400$ кг/см. сут.

С целью получения математической модели второго порядка была реализована матрица по схеме рототабельного центрального композиционного планирования, состоящая из полного факторного эксперимента типа 2^3 и шести звездных точек. Матрица планирования и результаты опытов представлены в табл. 7.

Коэффициенты регрессии, рассчитанные для всех параметров оптимизации, сведены в табл. 8.

В результате получены следующие уравнения регрессии, описывающие процесс крупобразования:

$$y_1 = 0,65 + 0,0084 \cdot x_1 + 0,0048 \cdot x_2 + 0,0630 \cdot x_3 + 0,0150 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,0050 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0200 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0038 \cdot x_1^2 + 0,0076 \cdot x_2^2 + 0,0314 \cdot x_3^2,$$

$$y_2 = 43,5 + 1,37 \cdot x_1 + 0,34 \cdot x_2 + 0,89 \cdot x_3 - 1,41 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,61 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,74 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,83 \cdot x_1^2 - 1,71 \cdot x_2^2 - 1,52 \cdot x_3^2,$$

$$y_3 = 6,4 - 0,28 \cdot x_1 - 0,11 \cdot x_2 + 0,61 \cdot x_3 + 0,03 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,03 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,05 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,33 \cdot x_1^2 + 0,68 \cdot x_2^2 + 0,69 \cdot x_3^2.$$

Исследование полученных уравнений по критерию Фишера показало, что они адекватно описывают процесс крупобразования и могут быть использованы при его оптимизации.

Для определения оптимальных режимов систем процесса крупобразования использована математическая модель процесса с дополнительной постановкой опытов.

Отыскание координат оптимума в заданной области факторного пространства, ограниченного координатами $x_i = \pm 1,68$, произведено методом перебора всех комбинаций факторов на вычислительной машине. Полученные значения координат оптимума для дискретных значений фактора I_o представлены в табл. 9 для всех параметров оптимизации. Из данных табл. 9 видно, что с увеличением I_o необходимо снижать величину общего извлечения на I крупобразующей

Таблица 7
Матрица планирования экспериментов при изучении процесса
крупобразования (образец пшеницы IV типа)

Обозначение факторов	U I	U II	U o	3 _o	$\hat{3}_o$	U _к	$\hat{U}_к$	W	\hat{W}
	10	40	70	—	—	—	—	—	—
Основной уровень									
Шаг варьирования	5	10	5	—	—	—	—	—	—
Кодовое обозначение переменных	x ₁	x ₂	x ₃	y ₁	\hat{y}_1	y ₂	\hat{y}_2	y ₃	\hat{y}_3
1	+	+	+	0,75	0,75	40,5	41,1	8,4	8,3
2	+	+	—	0,69	0,68	36,7	38,7	7,3	7,0
3	+	—	+	0,78	0,76	41,3	41,5	8,7	8,6
4	+	—	—	0,61	0,60	42,7	42,5	7,3	7,4
5	—	+	+	0,72	0,72	41,0	42,1	8,7	8,8
6	—	+	—	0,61	0,61	37,0	37,6	7,9	7,7
7	—	—	+	0,78	0,78	38,2	37,1	9,2	9,2
8	—	—	—	0,62	0,62	34,9	35,5	8,0	7,9
9	+1,68	0	0	0,67	0,67	44,7	43,5	6,8	6,9
10	-1,68	0	0	0,66	0,65	39,4	38,7	7,7	7,7
11	0	+1,68	0	0,70	0,68	41,5	38,7	8,1	8,1
12	0	-1,68	0	0,65	0,66	37,8	38,1	8,5	8,5
13	0	0	+1,68	0,86	0,85	40,7	40,7	9,3	9,4
14	0	0	-1,68	0,63	0,63	39,3	39,2	7,0	7,3
15	0	0	0	0,65	0,65	41,6	43,5	6,4	6,4
16	0	0	0	0,63	0,65	42,7	43,5	6,6	6,4
17	0	0	0	0,66	0,65	44,5	43,5	6,2	6,4
18	0	0	0	0,66	0,65	42,9	43,5	6,1	6,4
19	0	0	0	0,65	0,65	44,5	43,5	6,8	6,4
20	0	0	0	0,65	0,65	44,0	43,5	6,5	6,4

Таблица 8
Коэффициенты регрессии для параметров оптимизации

y _i	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₂
y ₁	0,65	+0,0084	+0,0048	+0,0630	+0,0150
y ₂	43,5	+1,37	+0,34	+0,89	-1,41
y ₃	6,4	-0,28	-0,11	+0,61	+0,03
y _i	b ₁₃	b ₂₃	b ₁₁	b ₂₂	b ₃₃
y ₁	-0,0050	-0,0200	+0,0038	+0,0076	+0,0314
y ₂	-0,61	+0,74	-0,83	-1,71	-1,52
y ₃	+0,003	-0,05	+0,33	+0,68	+0,69

системе и одновременно увеличивать на II крупобразующей системе для основных параметров оптимизации y₁ и y₂.

Для получения координат компромиссного оптимума по трем параметрам оптимизации построены контурные кривые равного выхода. В зависимости от И_o для зерна IV типа эти координаты приведены в табл. 10.

Приведенные в табл. 10 оптимальные значения режимов систем могут служить алгоритмом управления процессом крупобразования. Эти данные хорошо согласуются с выводами других авторов и «Правилами организации и ведения технологического процесса на мельницах».

Достоверность полученной математической модели проверяли на зерне I типа, а также подвергали анализу результаты исследований других авторов (Н. Федотова, И. Наумова). В результате установлено, что с достаточной для практики точностью математическая модель процесса крупобразования может быть использована применительно к любому по качеству зерну.

С целью реализации полученного алгоритма управления процессом крупобразования была разработана принципиальная технологическая схема стабилизации режимов систем этого процесса, которая предусматривает выполнение операций управления при нарушении установленного режима. По указанной схеме продукт после измельчения на вальцовом станке поступает на вибрационный сепаратор, который делит

Таблица 9
Координаты оптимума для дискретных значений фактора U_0 в зависимости от U_i

U_0	Общее извлечение по системам в зависимости от U_i									Значение U_i при оптимальных значениях U_i		
	U_I			U_{II}			U_{III}			Y_1 (Z_0)	Y_2 (U_k)	Y_3 (W)
	Y_1 (Z_0)	Y_2 (U_k)	Y_3 (W)	Y_1 (Z_0)	Y_2 (U_k)	Y_3 (W)	Y_1 (Z_0)	Y_2 (U_k)	Y_3 (W)	Y_1 (Z_0)	Y_2 (U_k)	Y_3 (W)
62,5	10—20	22,0	12,5	23—25	27,9	40,3	17—20	12,6	9,7	0,58	41,7	105,0
65,0	7—16	19,9	12,4	25—40	30,7	40,4	22—24	14,4	12,2	0,58	43,1	96,3
67,5	6—9	17,8	12,3	35—42	33,5	40,6	20—23	16,2	14,6	0,61	44,0	93,0
70,0	5—6	16,0	12,2	42—47	36,2	40,7	18—22	17,8	17,1	0,64	44,2	95,4
72,5	5	13,5	12,1	50—52	39,1	40,8	20—22	19,9	19,6	0,67	44,0	103,0
75,0	5	11,5	12,0	55,0	41,9	41,0	15	21,6	22,0	0,72	43,1	114,8
77,5	5	9,3	11,9	55,0	44,8	41,1	17—15	23,4	24,5	0,77	41,7	140,8

Таблица 10
Общее извлечение по системам, оптимальное для процесса крупобразования (в % по отношению к нагрузке на I крупобразующую систему)

U_i	Величина общего извлечения на i-ой системе при различных U_0						
	62,5	65,0	67,5	70,0	72,5	75,0	77,5
U_I	15—18	12—14	10—12	9—11	8—10	5—7	3—5
U_{II}	30—33	34—36	35—37	37—40	40—45	45—50	50—55
U_{III}	14—15	16—18	18—21	20—23	20—23	20—23	18—22

его на две фракции — сходовую и проходовую. Массовые расходы обеих фракций сравниваются в элементе сравнения с их заданным соотношением. При рассогласовании в зависимости от величины и знака отклонения управляющее устройство, воздействуя на исполнительный механизм, изменяет величину межвальцового зазора соответствующей системы таким образом, чтобы величина общего извлечения на данной системе оставалась на заданном уровне. Для осуществления указанной схемы стабилизации режимов крупобразующих систем разработаны и испытаны специальные устройства: вибросепаратор, расходомер и на его основе элемент сравнения для двух потоков.

Исследование шлифовочного процесса было направлено на изучение структуры и эффективности процесса с целью определения оптимальных режимов систем и обоснования алгоритмов их управления.

Исследование шлифовочного процесса проведено в два этапа. На первом этапе изучали структуру шлифовочного процесса по лабораторной схеме помола, предусматривающей возможность осуществления трех вариантов структурного построения шлифовочного процесса. Принятые варианты являются наиболее распространенными на мельницах суртового помола пшеницы и состоят из двух, четырех и шести шлифовочных систем.

Проведенные исследования по влиянию различных вариантов построения шлифовочного процесса на общий выход и качество муки позволяют сделать вывод о том, что стремление к расширению и усложнению структуры шлифовочного процесса не оправдано. Из рассмотренных вариантов наиболее эффективным является вариант, включающий четыре системы. Этот вариант позволяет произвести обогащение основ-

ных промежуточных продуктов с учетом их крупности. При этом крупную крупку, составляющую около половины всех промежуточных продуктов, целесообразно разделять на две фракции и обогащать каждую фракцию самостоятельно. Для обогащения средней крупки также следует выделить систему, а оставшуюся четвертую систему использовать для обогащения промежуточных продуктов второго качества. Полученные результаты согласуются с выводами других авторов (Л. Айзикович, А. Николенко) и подтверждаются опытом работы ряда мельниц.

Исследования эффективности шлифовочного процесса проведены на системах, обогащающих крупную и среднюю крупки.

В качестве основных влияющих факторов при изучении шлифовочного процесса приняты:

k — отношение окружных скоростей валцов;

R — количество рифлей на 1 см окружности вальца;

q — удельная нагрузка валцов, кг/см·час.;

b — величина межвальцового зазора, мм;

Обоснованы и приняты следующие параметры оптимизации:

y_1 — выход крупок и дунстов, %;

y_2 — зольность крупок и дунстов, %;

y_3 — удельный расход энергии, отнесенный к выходу крупок и дунстов, вт. час./кг.;

y_4 — выход муки, %.

Основными параметрами оптимизации являются выход крупок и дунстов (y_1) и их зольность (y_2). Другие параметры являются вспомогательными.

Для получения математической модели первого порядка была реализована матрица полного факторного эксперимента типа 2^4 , которая приведена в табл. 11.

В результате проведенных экспериментов получены следующие уравнения регрессии, составляющие математическую модель процесса обогащения крупных крупок на вальцовых станках:

$$y_1 = 32,69 + 3,28 \cdot x_1 - 1,61 \cdot x_2 - 0,92 \cdot x_3 - 1,98 \cdot x_4 - 2,45 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,59 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,51 \cdot x_1 \cdot x_4;$$

$$y_2 = 0,6869 + 0,0119 \cdot x_1 + 0,0231 \cdot x_2 - 0,0144 \cdot x_3 + 0,0100 \cdot x_1 \cdot x_2;$$

$$y_3 = 3,44 + 0,438 \cdot x_1 + 0,688 \cdot x_2 - 0,188 \cdot x_3 + 0,050 \cdot x_4 + 0,613 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,087 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,125 \cdot x_1 \cdot x_4;$$

$$y_4 = 6,87 + 3,89 \cdot x_1 + 1,96 \cdot x_2 + 0,39 \cdot x_3 - 1,38 \cdot x_4 + 0,38 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,20 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,98 \cdot x_1 \cdot x_4.$$

Таблица 11
Матрица планирования экспериментов шлифования крупной крупки (стекловидность зерна — 58%)

Факторы	k	R	Q	b	Параметры оптимизации							
					U кр. %		З кр. %		W, вт·час/кг		U м. %	
Единицы измерения		рифлей на 1 см	кг/ч·см	мм	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетный
Основной уровень	1,5	12,5	10,5	0,20	28,8	27,9	0,71	0,71	5,2	5,2	10,2	10,8
Шаг варьирования	0,5	3,5	2,0	0,05	32,4	33,1	0,75	0,75	4,9	4,9	16,4	16,1
Верхний уровень	2,0	16,0	12,5	0,25	31,0	30,7	0,72	0,72	5,5	5,5	9,8	10,3
Нижний уровень	1,0	9,0	8,5	0,15	36,4	35,9	0,73	0,73	5,1	5,1	16,0	15,1
Кодовое обознач.	x_1	x_2	x_3	x_4	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетный	экспериментальн.	расчетный
					y_1	y_1	y_2	y_2	y_3	y_3	y_4	y_4
1	+	+	+	+	28,8	27,9	0,71	0,71	5,2	5,2	10,2	10,8
2	+	+	+	+	32,4	33,1	0,75	0,75	4,9	4,9	16,4	16,1
3	+	+	+	+	31,0	30,7	0,72	0,72	5,5	5,5	9,8	10,3
4	+	+	+	+	36,4	35,9	0,73	0,73	5,1	5,1	16,0	15,1
5	+	+	+	+	35,0	36,0	0,65	0,66	2,7	2,7	6,4	6,2
6	+	+	+	+	41,6	40,8	0,68	0,69	2,3	2,4	10,8	10,8
7	+	+	+	+	39,1	40,3	0,65	0,66	2,5	2,5	7,0	6,3
8	+	+	+	+	44,4	44,0	0,68	0,68	2,5	2,4	10,0	10,5
9	+	+	+	+	28,0	28,4	0,68	0,68	2,6	2,6	4,5	4,7
10	+	+	+	+	31,8	31,6	0,70	0,71	2,9	2,9	6,5	6,0
11	+	+	+	+	29,6	28,9	0,67	0,68	3,3	3,3	3,3	3,3
12	+	+	+	+	31,6	32,0	0,70	0,71	3,5	3,5	4,5	4,3
13	+	+	+	+	27,2	26,9	0,65	0,66	2,7	2,7	1,8	1,5
14	+	+	+	+	29,3	29,6	0,68	0,68	2,7	2,7	2,0	2,2
15	+	+	+	+	27,0	27,7	0,65	0,66	3,1	3,1	1,0	0,9
16	+	+	+	+	30,8	30,4	0,67	0,68	3,2	3,2	0,8	1,1
b_i (y_1)	+ 3,28	- 1,61	- 0,92	- 1,98	$b_0 = 32,69$							
b_i (y_2)	+ 0,0119	+ 0,0231	0	- 0,0144	$b_0 = 0,6869$							
b_i (y_3)	+ 0,438	+ 0,688	- 0,188	+ 0,050	$b_0 = 3,44$							
b_i (y_4)	+ 3,89	+ 1,96	+ 0,39	- 1,38	$b_0 = 6,87$							

По критерию Фишера доказана гипотеза о пригодности полученной математической модели для описания изучаемого процесса. Статическая характеристика процесса обогащения крупных крупок с использованием математической модели процесса позволила определить оптимальные значения факторов по всем параметрам оптимизации и найти координаты компромиссного оптимума по всем параметрам оптимизации.

На основании анализа уравнений математической модели процесса обогащения крупной крупки на шлифовочных системах можно сделать следующие выводы:

— с увеличением отношения окружных скоростей валцов и снижением плотности нарезки рифлей, выход мелких крупок и дупстов увеличивается;

— выход муки увеличивается с увеличением отношения окружных скоростей валцов и тем интенсивнее, чем больше плотность рифлей и меньше величина межвальцового зазора;

— в пределах изменения влияющих факторов компромиссный оптимум процесса обогащения крупной крупки достигается при следующих режимах:

- отношение окружных скоростей валцов — 1,2–1,5;
- плотность нарезки рифлей — 9,0–10,0 рифлей на 1 см;
- удельная нагрузка, кг/см. час. — 15–17;
- межвальцовый зазор, мм — 0,20–0,25.

Проведенные исследования обогащения средней крупки первого качества на шлифовочной системе показали аналогичную линейную зависимость параметров оптимизации от влияющих факторов. Оптимальные условия шлифования средней крупки достигаются при следующих режимах:

- отношение окружных скоростей валцов — 1,2–1,3;
- плотность нарезки рифлей — 11,0–12,0 рифлей на 1 см;
- удельная нагрузка, кг/см. час. — 13–15;
- межвальцовый зазор, мм — 0,15–0,20.

Проверка математической модели процесса шлифования на крупных крупках, полученных из пшеницы I типа стекловидностью 40%, показала, что указанная модель может быть использована и в этом случае, но при других коэффициентах уравнений регрессии.

Исследование размольного процесса проведено с целью определения оптимальных режимов систем и обоснования алгоритмов их управления. В качестве объектов исследования были использованы продукты, поступающие на системы пер-

вого, второго качества и вымола (1, 5, 8 р. с.) Одесского мелькомбината, перерабатывающего различное по качеству зерно.

В качестве основных влияющих факторов при изучении систем размольного процесса приняты:

- k — отношение окружных скоростей валцов;
- V_{δ} — окружная скорость быстровращающегося вальца, м/сек.;
- R — количество рифлей на 1 см окружности вальца;
- q — удельная нагрузка валцов, кг/см. час.

Указанные факторы независимы и оказывают решающее влияние на эффективность процесса измельчения, наряду с влиянием и других факторов, которые в данной работе не учитываются. Выбор факторов, их основного уровня и интервалов варьирования произведены на основании предварительных исследований размольного процесса, данных других авторов и «Правил».

Для оценки эффективности систем размольного процесса приняты следующие параметры оптимизации:

- y_1 — выход муки по системе, %;
- y_2 — зольность муки, %;
- y_3 — удельный расход энергии, отнесенный к выходу муки, вт/час·кг.

В связи с высокой энергоемкостью размольного процесса параметр оптимизации y_3 является основным, наряду с параметрами y_1 и y_2 .

Размол продуктов первого качества изучен на продуктах, поступающих на I размольную систему. Для получения линейной математической модели первого порядка была реализована полуреплика от полного факторного эксперимента типа 2^4 .

В табл. 12 представлена матрица и результаты реализации опытов (средние значения из двух переменных).

В результате проведенных экспериментов получены следующие уравнения регрессии, описывающие процесс размола продуктов первого качества:

$$\begin{aligned}y_1 &= 36,25 + 2,13 \cdot x_1 + 1,30 \cdot x_2 + 1,30 \cdot x_3 - 0,28 \cdot x_4 - 0,63 \cdot x_1 \cdot x_2; \\y_2 &= 0,5425 + 0,0075 \cdot x_1 + 0,0125 \cdot x_2 + 0,0075 \cdot x_3; \\y_3 &= 14,5 + 1,80 \cdot x_1 + 2,04 \cdot x_2 + 1,10 \cdot x_3 + 1,50 \cdot x_4 + 0,79 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\&\quad + 0,54 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,80 \cdot x_1 \cdot x_4.\end{aligned}$$

По критерию Фишера доказана гипотеза о пригодности указанной модели для описания изучаемого процесса. Коор-

Матрица планирования экспериментов
первого качества

Факторы	K	V_b	R	q	Взаимодействие факторов		
Единицы измерения	—	м/сек	риф. на 1 см.	кг/час			
Основной уровень	2,0	8	11	15			
Шаг варьирования	0,5	2	1,5	5			
Верхний уровень	2,5	10	12,5	20			
Нижний уровень	1,5	6	9,5	10			
Кодов. обознач.	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1 \cdot x_2$	$x_1 \cdot x_3$	$x_1 \cdot x_4$
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	—	—	+	—	—
3	+	—	+	—	—	+	—
Порядковый номер опыта							
4	+	—	—	+	—	—	+
5	—	+	+	—	—	—	+
6	—	+	—	+	—	+	—
7	—	—	+	+	+	—	—
8	—	—	—	—	+	+	+
$b_i \left\{ y_1 \right\}$	+2,13	+1,30	+1,30	-0,28	-0,63	+0,07	+0,15
$b_i \left\{ y_2 \right\}$	+0,0075	+0,0125	+0,0075	-0,0025	-0,0025	+0,0025	+0,0025
$b_i \left\{ y_3 \right\}$	+1,80	+2,04	+1,10	+1,50	+0,79	+0,54	+0,80

Таблица 12

при изучении процесса размола продуктов
(стекловидность — 58%)

U_M %	\hat{U}_M %	Z_M %	\hat{Z}_M %	W , вт-час./кг	\hat{W} , вт-час./кг
экспери- мент.	расчетный	экспери- мент.	расчетный	экспери- мент.	расчетный
y_1	\hat{y}_1	y_2	\hat{y}_2	y_3	\hat{y}_3
40,3	40,1	0,57	0,57	23,1	23,1
37,8	38,0	0,55	0,55	15,2	15,2
39,2	39,3	0,55	0,55	12,8	12,8
36,2	36,1	0,53	0,53	14,2	14,1
37,7	37,6	0,56	0,56	13,8	13,8
34,4	34,5	0,54	0,54	14,1	14,1
33,0	33,2	0,52	0,52	12,7	12,7
31,4	31,1	0,52	0,52	10,2	10,2
$b_0 = 36,25$					
			$b_0 = 0,5425$		
					$b_0 = 14,5$

динаты компромиссного оптимума по всем параметрам оптимизации определены путем построения кривых равного выхода.

На основании анализа уравнений математической модели и зависимостей равного выхода можно сделать следующие выводы:

— с ростом отношения окружных скоростей валцов увеличивается извлечение муки и тем интенсивнее, чем меньше окружная скорость быстровращающегося вальца;

— с ростом окружной скорости быстровращающегося вальца и плотности нарезки рифлей увеличивается выход муки и удельный расход энергии;

— с ростом удельной нагрузки увеличивается удельный расход муки, выход и зольность муки почти не изменяется;

— компромиссный оптимум достигается при следующих режимах:

- отношение окружных скоростей — $1,5 \div 2,0$;
- скорость быстровращающегося вальца — 6 м/сек.;
- плотность нарезки рифлей — $9,5 \div 11,0$ рифлей на 1 см;
- удельная нагрузка — 15 ± 2 кг/см час.

Размол продуктов второго качества изучен на продуктах 5 размольной системы. Аналогично предыдущему была реализована матрица того же типа, но с другим уровнем фактора q . Получена математическая модель того же типа, но с другими коэффициентами уравнения регрессии.

Анализ математической модели показал, что зависимости, установленные для размола продуктов первого качества, характерны и для продуктов второго качества. При этом, в пределах изменения исследуемых факторов, компромиссный оптимум для размола продуктов второго качества достигается при следующих режимах:

- отношение окружных скоростей — $1,5 \div 1,7$;
- скорость быстровращающегося вальца — 6 м/сек.;
- плотность нарезки рифлей — $9,5 \div 11,0$ рифлей на 1 см;
- удельная нагрузка — 9 ± 1 кг/см час.

Вымол сходовых продуктов в размольном процессе изучен на 8-размольной системе. Матрица планирования и результаты реализации опытов приведены в табл. 13. В результате опытов получены следующие уравнения, которые, как показала проверка, адекватно описывают изучаемый процесс:

$$y_1 = 19,74 + 1,59 \cdot x_1 + 1,64 \cdot x_2 - 0,23 \cdot x_3 - 0,09 \cdot x_4 - 0,21 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0,19 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,04 \cdot x_1 \cdot x_4; \\ y_2 = 1,4250 + 0,0350 \cdot x_1 + 0,065 \cdot x_2 - 0,0025 \cdot x_3 - 0,0125 \cdot x_1 \cdot x_2 - \\ - 0,0025 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,0050 \cdot x_1 \cdot x_4; \\ y_3 = 27,84 + 1,31 \cdot x_1 + 3,06 \cdot x_2 + 0,11 \cdot x_3 + 0,14 \cdot x_4 - 1,46 \cdot x_1 \cdot x_2 + \\ + 0,59 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,44 \cdot x_1 \cdot x_4.$$

Анализ указанных уравнений и зависимостей равного выхода позволяет сделать следующие выводы по вымолу сходовых продуктов:

— с ростом отношения окружных скоростей валцов и скорости быстровращающегося вальца увеличивается выход и зольность муки, растет также удельный расход энергии;

— изменение плотности нарезки рифлей почти не оказывает влияния на выходные параметры;

— компромиссный оптимум достигается при следующих значениях факторов:

- отношение окружных скоростей валцов — $1,5 \div 1,7$;
- скорость быстровращающегося вальца — 6 м/сек.;
- плотность нарезки рифлей — $9,5 \div 12,5$ рифлей на 1 см;
- удельная нагрузка — $5 \div 7$ кг/см час.

В соответствии с полученными результатами исследования на первом этапе автоматизации процессов размола зерна предусматривается стабилизация режимов крупобразующих систем первого качества, двух шлифовочных систем, обогащающих крупную крупку, а также 1, 2, 5, 8-размольных систем, представляющих подэтапы размола продуктов первого, второго качества и вымола. Учитывая результаты проведенных исследований, а также рекомендации других авторов, можно считать, что применение автоматической стабилизации процессов размола зерна существенно снизит отклонение режимов систем процесса от их номинального значения и будет способствовать повышению выхода муки высоких сортов за счет сокращения выхода муки второго сорта. Этому же будет способствовать применение оптимальных значений влияющих факторов.

Расчет экономической эффективности произведен для мельзавода трехсортного помола пшеницы производительностью 200 т/сут. и показал, что общая экономия от внедрения системы автоматической стабилизации процессов размола зерна составит $47,5$ тыс. руб. в год.

Пятая глава содержит результаты исследования качественного состава муки и условий ее формирования по сортам. Развитие биохимии и технологии зерна за последние годы

Матрица планирования экспериментов при изучении
(стекловидность)

Факторы	K	V _b	R	q	Взаимодействие факторов		
					X ₁ -X ₂	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₄
Единица измерения	—	м/с	риф. на 1 см	кг/см час.			
Основной уровень	2,0	8	11,0	5,4			
Шаг варьирования	0,5	2	1,5	2,2			
Верхний уровень	2,5	10	12,5	7,6			
Нижний уровень	1,5	6	9,5	3,2			
Кодовое обозначение	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ -X ₂	X ₁ -X ₃	X ₁ -X ₄
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	-	-	+	-	-
3	+	-	+	-	-	+	-
Порядковый номер опыта							
4	+	-	-	+	-	-	+
5	-	+	+	-	-	-	+
6	-	+	-	+	-	+	-
7	-	-	+	+	+	-	-
8	-	-	-	-	+	+	+
$b_i \left\{ \begin{matrix} Y_1 \end{matrix} \right\}$	+1,59	+1,64	-0,23	+0,09	-0,21	-0,19	-1,04
$b_i \left\{ \begin{matrix} Y_2 \end{matrix} \right\}$	+0,0350	+0,0650	-0,0025	+0,0050	-0,0125	-0,0025	-0,0050
$b_i \left\{ \begin{matrix} Y_3 \end{matrix} \right\}$	+1,31	+3,06	+0,11	+0,14	-1,46	+0,59	+1,44

вымола в размольном процессе
(58%)

Таблица 13

U _M %	\tilde{U}_M %	Z _M %	\tilde{Z}_M %	W, вт·час/кг	\tilde{W} , вт·час/кг
эксперимент.	расчетный	эксперимент.	расчетный	эксперимент.	расчетный
Y ₁	\tilde{Y}_1	Y ₂	\tilde{Y}_2	Y ₃	\tilde{Y}_3
21,2	21,2	1,51	1,51	32,9	33,0
24,3	24,3	1,52	1,52	28,6	28,4
20,6	20,6	1,40	1,40	26,8	26,7
19,2	19,2	1,41	1,41	28,3	28,5
19,0	18,8	1,46	1,46	32,0	31,8
21,0	21,0	1,48	1,48	30,1	30,2
17,2	17,2	1,32	1,32	20,1	20,2
15,4	15,3	1,30	1,30	23,9	23,8
$b_0=19,74$					
		$b_0=1,425$			
				$b_0=27,84$	

позволило выяснить ряд физико-технологических и биохимических изменений в зерне и продуктах его переработки, протекающих в процессе технологии. Указанные изменения, определяющие выход и качество муки, зависят как от качества перерабатываемого зерна, так и от условий организации и ведения технологического процесса на мельницах. До недавнего времени технология мукомольного производства рассматривалась только как процесс механического разделения зерна на части путем измельчения и сортирования. Однако, благодаря работам Я. Куприца, Н. Козьминой, В. Кретовича, Е. Казакова, И. Ленарского, Н. Роменского и других ученых, получены данные, позволяющие утверждать, что в процессе технологии производства муки изменяются не только структурно-механические свойства зерновых продуктов, но и их биохимические свойства. Поэтому технология производства муки не столько механический процесс, сколько физико-химический и биохимический.

Познание закономерностей изменения физико-химических и биохимических свойств зерновых продуктов в процессе производства муки составляет основу дальнейшего прогресса в этой области, поскольку указанные изменения определяют не только качество муки, но и характер построения и ведения технологического процесса на мельницах. Следует отметить ряд важных работ, выполненных отечественными учеными, по изучению качественного состава муки и условий формирования ее сортов. К ним относятся работы Н. Козьминой, Л. Ауэрмана, С. Чигирева, И. Мамбиша, А. Боброва, А. Данилина, А. Братухина, С. Михайлова, Б. Зибель, А. Калужной, С. Байбулатовой, И. Швецовой, О. Максимчук и других авторов.

Изучению качества муки значительное место отведено также в трудах зарубежных ученых Л. Пулки, И. Шолленбергер, В. Маршалл, И. Хаус, К. Кред, З. Дюма, И. Слезингер, Э. Каминский, К. Гесс, К. Гансен, Е. Ниман, П. Пельсенке, Б. Сулливен и других.

Из работ отечественных и зарубежных авторов установлено, что мука, полученная с различных систем и этапов технологического процесса, неоднородна по физическим, биохимическим и хлебопекарным свойствам, изменение которых в процессе технологии изучено недостаточно. В литературе нет также достаточных обоснований методов формирования муки по сортам, способствующих стабилизации ее качества.

Основной целью данного раздела работы является изучение качественного состава муки на различных этапах ее производства для совершенствования процесса формирования потоков муки по сортам и улучшения ее качества. Задачами исследования явились:

— изучить качественный состав муки (физические, биохимические и хлебопекарные свойства) на различных системах и этапах ее производства при многосортных помолах пшеницы;

— изучить влияние физико-технологических свойств зерна на качественный состав муки;

— изучить влияние особенностей построения схемы технологического процесса на качественный состав муки;

— разработать условия формирования потоков муки по сортам, способствующие стабилизации ее качественного состава.

Исследования по изучению качественного состава муки в соответствии с поставленными задачами проводили на образцах, отобранных на различных мельницах, работающих по схемам сложных многосортных помолов пшеницы. В качестве объектов исследования приняты передовые предприятия страны, расположенные в различных почвенно-климатических зонах: центр (Московские мельзаводы), восток (Новосибирский мельзавод), юг (Одесские мельзаводы и Ростовский мельзавод № 2). Кроме того, выбраны предприятия, работающие по различным схемам, типам помолов и имеющие различную производительность (мельзаводы гг. Москвы и Одессы).

На каждом из указанных предприятий снимали баланс муки, а затем производили исследования муки каждой системы по комплексу показателей, представленных в табл. 1. Качество перерабатываемого зерна по каждому предприятию представлено в табл. 14.

Проведенными исследованиями подтверждено, что мука, полученная с различных систем технологического процесса, неоднородна по физическим, биохимическим и хлебопекарным свойствам.

Дисперсность муки является важнейшим показателем ее качества и может быть охарактеризована средним условным размером частиц, величина которой находится в пределах 50—80 мкм для систем 1 качества, 60—120 мкм — для систем второго качества, на вымольных системах достигает 130—160 мкм при 78% помолу; при 75% помолу средний размер

частиц муки на системах второго качества и вымола значительно меньше и составляет около 60—90 мкм.

Дисперсность муки оказывает основное влияние на изменение ее хлебопекарных показателей: чем мельче мука, тем выше количественно-качественные показатели клейковины и набухание клейковинных белков. Дисперсный состав сформированной муки по сортам на различных предприятиях незначительно изменялся в потоках высшего и первого сортов и существенно — в потоках второго сорта. Неравномерный состав муки второго сорта по крупности частиц на различных предприятиях можно объяснить в основном условиями ведения технологического процесса, разрядкой сит и попаданием в муку второго сорта на конечных системах вымола крупных периферических частей эндосперма, что приводит к снижению выравненности муки второго сорта и снижению ее качества.

Плотность потоков муки, направляемых в высший и первый сорта, колеблется в пределах 1,42—1,50 г/см³, потоки муки второго сорта имеют более низкую плотность 1,38—1,43 г/см³, что объясняется различным соотношением крахмала и протеина в этих фракциях. Удельная поверхность муки по различным системам колеблется в пределах 1100—2860 см²/г. Наибольшая поверхность получена на вымалывающих системах. Удельная поверхность муки при трехсортном помоле выше, чем при двухсортном, что связано с условиями ведения технологического процесса.

Биохимические и хлебопекарные свойства муки также изменяются в широких пределах на различных этапах технологического процесса. Количество сырого протеина увеличивается от первых систем к последним как в дражном, так и в размольном процессе, что может быть объяснено различным его содержанием в анатомических частях зерна: наибольшее количество сосредоточено в периферических частях эндосперма, однако этот протеин не способствует образованию клейковины высокого качества в связи с высоким содержанием водорастворимых фракций азота, которые и содержатся в потоках муки вымалывающих систем.

Крахмал сосредоточен в основном в центральной части зерновки, поэтому наибольшее его количество (до 80%) находится в потоках муки первого качества с уменьшением на системах второго качества и вымола. Изменяются также свойства крахмала в потоках муки различных систем: выход чистого крахмала от первых систем к последним уменьшает-

Таблица 14
Физико-технологическая и биохимическая характеристика зерна, перерабатываемого на исследуемых предприятиях

Исследуемые предприятия	Тип перерабатываемой пшеницы	Влажность, %	Стекловидность, %	Объемная масса, г/л	Коллественно-качественные показатели клейковины			Содержание в %			Сахаробразующая способность в мг мальтозы на 10 г сухого вещества
					выход сы-рой, %	гиператонная спо-собн., %	группа	сырого протеина	крахмала	зола	
Одесса, м-т № 2, 1968 г.	IV+III	12,3	43,0	792	21,0	191	II	11,0	67,1	1,93	198
Одесса, м-т № 2, 1970 г.	IV+III	12,7	42,0	789	22,3	187	I	11,8	65,4	1,68	171
Одесса, м-т № 2, 1969 г.	IV	12,1	56,0	800	27,3	208	II	13,4	65,7	1,60	203
Москва, м-т им. Цюрупы, 1969 г.	IV	11,8	58,0	800	26,0	184	II	11,7	64,8	1,68	176
Москва, м-т № 4, 1969 г.	I+III+IV	12,2	53,0	812	26,4	191	II	12,2	65,1	1,60	174
Новосибирск, м-т № 1, 1970 г.	I+III	14,1	56,0	784	28,0	172	II	13,4	65,2	1,82	187
Ростов, м-т №2, 1968 г.	IV	11,9	56,0	800	27,3	208	II	13,4	66,0	1,81	173
Одесса, м-д № 18, 1967 г.	IV	12,1	52,0	780	22,6	173	II	11,7	66,5	1,81	173
Одесса, м-д № 1, 1968 г.	III+IV	11,7	46,0	760	26,3	181	II	12,2	65,5	1,63	219
Москва, м-д «Новая Победа», 1969 г.	III+IV	12,8	47,0	790	25,5	193	II	12,6	66,1	1,63	170

ся, наблюдается тенденция к увеличению набухаемости крахмала на последних вымалывающих системах. Атакуемость крахмала повышается от первых систем к последним, что видимо связано с повреждением крахмальных зерен и повышением активности ферментов.

Водорастворимые вещества и кислотность муки от первых систем к последним повышается и в драном, и в размольном процессах, вероятно, вследствие повышения содержания фосфатидов, кислот на вымалывающих системах, а также за счет процесса частичной деполимеризации полимеров вследствие давления и температуры при измельчении, аэрации при транспортировании и сепарировании.

Потоки муки с первых драных систем содержат наибольшее количество клейковины, что можно объяснить попаданием в них свободных белковых частиц зерна, а также мелких частиц эндосперма (до 50—60 мкм), полученных без многократного измельчения зерновых продуктов; низкие количественно-качественные показатели клейковины получены в потоках муки последних размольных систем вследствие повышенной деструкции частиц муки и увеличением водорастворимых фракций протеина на этих системах.

Сахаро- и газообразующая способность муки от первых к последним системам увеличивается, возрастание сахарообразующей способности муки в размольном процессе на системах первого качества объясняется степенью повреждения крахмальных зерен, а на системах второго качества и вымола, кроме того, попаданием в муку тонко измельченных периферических частей эндосперма, содержащих основное количество амилолитических ферментов.

Наибольшим набуханием обладают потоки муки, полученные с первых размольных и драных систем; на показатель набухания муки в основном влияет качество клейковинных протеинов перерабатываемой пшеницы и дисперсный состав муки: чем мельче мука, тем выше ее набухание.

Наибольший объемный выход хлеба получен из потоков муки драного процесса, что можно объяснить попаданием в муку измельченного алейронового слоя, а также, по-видимому, сохранением структуры крахмала и клейковинных белков при незначительном механическом воздействии на первичном этапе измельчения зернопродуктов.

Из факторов, влияющих на измельчение физических, биохимических и хлебопекарных показателей муки, полученной

с различных систем технологического процесса, основная роль принадлежит качеству перерабатываемого зерна.

На качество получаемой муки оказывает влияние структура и условия ведения технологического процесса на мельницах: наиболее тонкая и выравненная мука получена при трехсортном 75% помоле по сравнению с 78% трехсортным и двухсортным помолами; потоки муки, полученные при двухсортном помоле, содержат меньшее количество сырого протеина и клейковины, чем при трехсортном помоле, в особенности с систем драного процесса, что можно объяснить различными условиями ведения процесса.

Зольность муки на последних системах при трехсортном помоле ниже по сравнению с двухсортным, в особенности по драному процессу. Средневзвешенная зольность муки трехсортного помола также ниже по сравнению с двухсортным.

Объемный выход хлеба с различных систем технологического процесса при двухсортном помоле ниже по сравнению с трехсортным, главным образом, на системах второго качества с драного процесса, что можно объяснить высокими нагрузками на измельчающие машины при двухсортных помолах, вызывающими нагрев и повышенную деструкцию частиц муки.

Проведенные исследования качественного состава муки на различных этапах технологического процесса позволили определить закономерность изменения ее физических, биохимических и хлебопекарных свойств, которые могут быть использованы при оптимальном формировании сортов муки на мельницах.

Опытные формирования сортов муки, выполненные по некоторым мельницам с применением вычислительных машин, свидетельствуют о высокой эффективности этого метода: повышается выход муки высшего сорта и стабилизируется качество муки всех сортов. Экономический эффект от внедрения этого метода для мельницы трехсортного помола производительностью 200 т/сутки составит 47,4 тыс. руб. в год.

Общие выводы и предложения

1. В связи со сложностью технологических процессов на мельницах сортового помола пшеницы показана целесообразность применения поэтапного их изучения и разработки технологических основ автоматизации. При этом наиболее важными являются следующие основные этапы: формирование

помольных партий зерна на мельницах, методы подготовки зерна к помолу, процессы размола зерна (крупобразование, обогащение на вальцовых станках и тонкое измельчение промежуточных продуктов), формирование муки по сортам.

2. Исследованиями в лабораторных и производственных условиях подтверждено, что смешивание различного по качеству зерна пшеницы перед помолом является высокоэффективным методом стабилизации технологического процесса на мельницах и улучшения хлебопекарных достоинств муки при высоком уровне использования зерна.

3. При выборе количественно-качественных показателей исходных сортов и партий зерна, характеризующих их смешительную ценность по мукомольным и хлебопекарным достоинствам, следует отдать предпочтение таким показателям как количество и качество клейковины, стекловидность, показатель седиментации, показатель «G» по альвеографу, имеющим высокую корреляционную связь с мукомольными и хлебопекарными показателями. Комплексная оценка смешительной ценности исходного зерна по нескольким показателям позволяет получить более эффективные результаты смешивания.

4. Установлены наиболее эффективные варианты зерновых смесей из исследованных сортов и партий, по которым получено превышение фактического объемного выхода хлеба в сравнении с расчетным на 15–20% и более. При этом подтверждено, что эффективность смешивания зависит не только от соотношения исходных компонентов смеси, но и от их сортовых и других особенностей, что может быть объяснено биологической совместимостью компонентов смеси, проявляющейся в процессе тестоведения и выпечки хлеба.

5. Изученные варианты двух-, трех- и четырехкомпонентных зерновых смесей позволяют сделать вывод о том, что увеличение количества компонентов смеси до четырех способствует более значительному улучшению хлебопекарных достоинств муки. Использование большего количества компонентов вызывает затруднения технического характера в процессе смешивания.

6. Разработанная методика и математическая модель процесса смешивания зерна различного качества на ЦВМ создают возможности внедрения в технологию переработки зерна ускоренного и высокоэффективного метода составления стабильных помольных партий зерна на мельницах. Указанный метод использован нами совместно с институтом «Пищепром-

автоматика» для разработки автоматизированной системы составления помольных партий зерна на мелькомбинате в г. Одессе. Система внедрена в производство в 1972 году с экономическим эффектом 69 тыс. руб. в год.

7. Сравнительные исследования технологической эффективности различных методов подготовки зерна к помолу показали, что по комплексу мукомольных свойств зерна лучшими методами являются скоростное и горячее кондиционирование, при которых увеличивается выход круподуновых продуктов, улучшается качество муки по зольности, снижается удельный расход энергии на помол, что связано с увеличением микротрещин в зерне и снижением его прочности под влиянием теплового фактора.

8. Установлено ухудшение хлебопекарных достоинств зерна при его скоростном кондиционировании в связи со снижением выхода сырой клейковины. Это явление может быть объяснено снижением способности клейковинных белков, находящихся в поверхностных слоях зерна, образовывать клейковину при жесткой тепловой обработке. Хлебопекарные свойства муки повышаются для всех методов подготовки при увеличении влажности зерна, направляемого в размольное отделение до 17–18% (поверхностная влага).

9. Разработка и исследования методов горячего кондиционирования зерна при пониженных режимах тепловой обработки (увлажнение зерна горячей водой с последующим прогреванием) показали, что эти методы просты по устройству и позволяют получить результаты, не уступающие скоростному кондиционированию по мукомольным свойствам и превосходящие его по хлебопекарным достоинствам зерна.

10. Полученные математические описания методов горячего кондиционирования зерна при пониженных режимах тепловой обработки, позволили определить оптимальные значения влияющих факторов по всем параметрам оптимизации, которые могут быть использованы при автоматизации указанных методов.

11. Расчет приведенных годовых затрат по различным методам подготовки зерна к помолу показал, что по технико-экономическим показателям наиболее эффективными являются методы горячего кондиционирования при пониженных режимах тепловой обработки и метод холодного кондиционирования.

12. Производственные исследования технологического процесса размола зерна позволили установить значительные ко-

лебания режимов систем и этапов во времени, что приводит к неравномерности протекания процессов размола зерна и вызывает ухудшение технико-экономических показателей производства. Проведенными исследованиями подтверждена необходимость внедрения автоматической стабилизации режимов систем и этапов технологического процесса производства муки.

13. Обоснованы параметры оптимизации процессов размола зерна на различных его этапах, позволяющие всесторонне и полно оценить количественно-качественные изменения промежуточных продуктов в технологическом процессе в связи с качеством конечного продукта — муки.

14. Показано, что на первых этапах внедрения автоматизации процессов размола зерна целесообразно ограничиться стабилизацией этапа крупобразования и отдельных систем шлифовочного процесса, обогащающих крупную крупку, а также 1, 2, 5 и 8 размольных систем, как основных представителей подэтапов. В дальнейшем объем автоматизации процессов размола зерна может быть расширен.

15. Получены математические описания процессов крупобразования, обогащения крупной крупки на шлифовочных системах, размола продуктов первого, второго качества и вымола, на основании которых определены координаты оптимума для каждого параметра оптимизации и координаты компромиссного оптимума по всем параметрам оптимизации для каждой системы, которые могут быть использованы при автоматизации указанных процессов.

16. Разработаны и испытаны технические средства автоматизации процессов размола зерна (вибрационный сепаратор, расходомер, элемент сравнения), позволяющие получить сигнал об изменениях количественно-качественной характеристики измельчаемых продуктов. Помимо указанного, вибросепаратор выполняет технологическую операцию предварительного разделения измельченных продуктов до их направления на рассев, что способствует повышению эффективности рассевов крупобразующих систем.

17. Исследования количественно-качественных показателей муки на различных этапах ее производства по ряду мельниц, расположенных в различных зонах нашей страны, показали их широкую изменчивость по комплексу физических, биохимических и хлебопекарных свойств:

— из показателей физических свойств в наиболее широких пределах изменяется дисперсный состав муки, характеризуе-

мый средним условным размером частиц, величина которого колеблется в пределах 50–80 мкм для систем первого качества, 60–120 мкм для систем второго качества и 130–160 мкм для вымалывающих систем;

— из показателей биохимических и хлебопекарных свойств муки в широких пределах изменяется содержание сырого протеина и клейковины; количество сырого протеина увеличивается от первых систем к последним как в драном, так и в размольном процессах, что может быть объяснено различным содержанием его в анатомических частях зерна; однако наибольшее содержание клейковины обнаружено в потоках муки драных систем первого качества, а наименьшее — на вымалывающих системах размольного процесса, что связано с увеличением водорастворимых фракций азота в потоках муки вымалывающих систем и повышенной деструкцией частиц вследствие многократного измельчения промежуточных продуктов;

— наибольший объемный выход хлеба получен из потоков муки драных систем первого качества, что может быть объяснено попаданием в муку этих систем свободных белковых частиц, образующихся при первичном измельчении зерна, а также сохранением структуры крахмала и клейковинных белков при незначительном механическом воздействии на первичном этапе измельчения зерновых продуктов.

18. Основное влияние на изменение физических, биохимических и хлебопекарных показателей муки оказывает качество перерабатываемого зерна. Качество муки зависит также от структуры и условий ведения технологического процесса на мельницах;

— наименьший средний условный размер частиц муки при высокой их выравненности получен на мельницах трехсортного 75% помола по сравнению с трехсортным 78% и двухсортным помолами;

— потоки муки, полученные при двухсортном помолу, содержат меньшее количество сырого протеина и клейковины, чем при трехсортном, зольность муки двухсортного помола выше, чем трехсортного, что связано с условиями ведения технологического процесса на мельницах;

— объемный выход хлеба, полученного из муки различных систем технологического процесса мельницы двухсортного помола, ниже по сравнению с трехсортным при переработке одинакового по качеству зерна и особенно на системах вто-

рого качества, что объясняется повышенными нагрузками на измельчающие машины, высоким нагревом продукта и повышенной его деструкцией.

19. Проведенные исследования качественного состава муки на различных этапах технологического процесса производства муки позволили определить закономерности изменения физических, биохимических и хлебопекарных свойств, которые могут быть использованы при оптимальном формировании сортов муки на мельницах.

20. Оптимальные формирования сортов муки по параметру максимальной стоимости всех ее сортов, выполненные на вычислительных машинах совместно с институтом «Пищепромавтоматика», показали высокую эффективность этого метода: значительно повышается выход муки высшего сорта за счет снижения первого и второго сортов, стабилизируется качество муки всех сортов, повышаются технико-экономические показатели производства муки.

21. Применение методов оптимального формирования помольных партий зерна, эффективных методов подготовки зерна к помолу, автоматической стабилизации режимов систем и этапов процесса размола зерна, оптимального формирования муки по сортам существенно повысит стабильность всего технологического процесса на мельнице и будет способствовать повышению производительности и улучшению условий труда при одновременном улучшении качества муки.

Общий экономический эффект от внедрения указанных мероприятий для мельницы трехсортного помола пшеницы производительностью 200 т/сутки составит 130 тыс. руб. в год за счет увеличения выхода муки высоких сортов и общего выхода муки.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Мерко И. Т. Исследование эффективности вальцовых станков шлифовочных систем в технологических процессах мельниц. Известия вузов «Пищевая технология», № 4, 1959.

2. Мерко И. Т. Исследование технологической эффективности вальцовых станков размольных систем с различными диаметрами вальцов. Труды ОТИ, том XI, 1959.

3. Мерко И. Т. Влияние рабочих поверхностей вальцов и отношений их окружных скоростей на эффективность измельчения в размольном процессе. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 9, 1959.

4. Мерко И. Т. Влияние диаметров и кинематических условий работы вальцов на эффективность процесса измельчения. Известия вузов «Пищевая технология», № 5, 1959.

5. Мерко И. Т. К вопросу снижения веса и уменьшения габаритов вальцовых станков. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 1, 1962.

6. Мерко И. Т., Котляр Л. И. Вопросы интенсификации работы вальцовых станков. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 8, 1964.

7. Платонов П. Н., Мерко И. Т., Каминский А. Я. Определение дисперсности продуктов размола зерна в потоке. Материалы Всесоюзной межвузовской конференции по процессам в дисперсных сквозных потоках. Одесса, 1967.

8. Платонов П. Н., Мерко И. Т. Технология и автоматизация мельниц. Труды ВНИИЗ, № 61—62, 1967.

9. Мерко И. Т., Погирной Н. Е. Исследование эффективности методов составления помольных партий зерна пшеницы на мельницах. Реферативная информация МВССО УССР, пищевая промышленность, вып. 3, 1968.

10. Мерко И. Т., Моргун В. А. Дисперсный состав зернопродуктов в зависимости от условий их измельчения. Известия вузов «Пищевая технология», № 2, 1969.

11. Мерко И. Т., Погирной Н. Е. Технологические свойства и возможные эффективные смеси пшеницы. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 2, 1969.

12. Мерко И. Т., Кочетова А. А. Влияние различных методов подготовки зерна к помолу на биохимические свойства зерна и муки. Известия вузов «Пищевая технология», № 5, 1969.

13. Мерко И. Т., Погирной Н. Е. Биохимические и хлебопекарные свойства некоторых сортов пшеницы. Пищевая промышленность, научно-технических сб. МВССО УССР, № 10, 1969.

14. Мерко И. Т., Кочетова А. А. Хлебопекарные свойства муки в зависимости от метода подготовки зерна к помолу. Сб. ЦНИИТЭИ Минзага СССР, № 3, 1969.

15. Мерко И. Т., Погирной Н. Е. Физические и мукомольные свойства некоторых сортов пшеницы. Известия вузов «Пищевая технология», № 1, 1969.

16. Мерко И. Т., Погирной Н. Е. Технологические свойства двухкомпонентных зерновых смесей. Известия вузов «Пищевая технология», № 3, 1969.

17. Мерко И. Т., Садовский Г. Н., Каминский А. Я. Об удельных нагрузках на вальцовые станки. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 8, 1969.

18. Мерко И. Т., Моргун В. А. Изменение химического состава муки на различных этапах ее производства. Известия вузов «Пищевая технология», № 4, 1970.

19. Мерко И. Т., Садовский Г. Н. Влияние взаимного расположения рифлей вальцов крупобразующих систем на показатели помола пшеницы. Сб. ЦНИИТЭИ Минзага СССР, № 4, 1970.

20. Мерко И. Т., Моргун В. А. Исследование биохимических и хлебопекарных свойств муки по системам при изменении нагрузки и рабочих размеров сит отсева. Сб. ЦНИИТЭИ Минзага СССР, № 10, 1970.

21. Мерко И. Т., Моргун В. А. Дисперсный состав муки на различных этапах мукомольного производства. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 3, 1970.

22. Мерко И. Т., Моргун В. А. Качественный состав муки на различных этапах производства. Реферативная информация МВССО УССР, пищевая промышленность, вып. 4, 1970.

23. Мерко И. Т., Садовский Г. Н. Закономерности построения схемы сортовых помолов пшеницы. Реферативная информация МВССО УССР, пищевая промышленность, вып. 4, 1970.

24. Мерко И. Т., Погирной Н. Е. Таблицы по составлению помольных партий пшеницы. Реферативная информация МВССО УССР, пищевая промышленность, вып. 4, 1970.

25. Мерко И. Т., Каминский А. Я., Платонов П. Н. Расходомер для сыпучих материалов. Авторское свидетельство № 282779. «Бюллетень изобретений», № 30, 1970.

26. Мерко И. Т., Каминский А. Я. Устройство для разделения потока сыпучего материала на две части в заданном соотношении. Авторское свидетельство № 283891. «Бюллетень изобретений», № 31, 1970.

27. Мерко И. Т., Моргун В. А. Изменение показателей муки в связи с условиями сортирования промежуточных продуктов. Известия вузов «Пищевая технология», № 5, 1971.

28. Мерко И. Т., Каминский А. Я., Садовский Г. Н. О зависимости между зольностью муки и средневзве-

шенной зольностью продуктов извлечения. Известия вузов «Пищевая технология», № 4, 1971.

29. Мерко И. Т., Кочетова А. А. Об эффективности различных методов подготовки зерна к помолу. Ж. «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 1, 1971.

30. Мерко И. Т., Каминский А. Я. Разработка и исследование расходомера для зерна и продуктов его размола. Сб. ЦНИИТЭИ Минзага СССР, № 1, 1971.

31. Мерко И. Т., Каминский А. Я. Определение условий вибросепарирования продуктов измельчения зерна экспериментально-статистическим методом. Сб. ЦНИИТЭИ Минзага СССР, № 5, 1971.

32. Мерко И. Т., Каминский А. Я. Исследование и разработка устройств для автоматизации процесса измельчения на крупобразующих системах мельниц. Реферативная информация МВССО УССР, пищевая промышленность, вып. 5, 1971.

33. Мерко И. Т., Каминский А. Я. Датчик для сравнения расходов продуктов размола зерна и определения его статической характеристики. Сб. ЦНИИТЭИ легпищемаш «Машиностроение для пищевой промышленности», вып. 7, 1971.

Отдельные разделы работы доложены и обсуждены на:

1. Всесоюзной научной конференции по актуальным вопросам современного мукомольного и крупяного производства, 1966 г.

2. Первой Всесоюзной конференции по процессам в дисперсных сквозных потоках, 1967 г.

3. Научно-техническом Совете Министерства заготовок РСФСР, 1968, 1970 гг.

4. Секциях координационного Совета Министерства заготовок СССР, 1966, 1968, 1970, 1971 гг.

5. Ежегодных научных конференциях Одесского технологического института пищевой промышленности имени М. В. Ломоносова (1960—1972 гг.).

БР 07121. Подписано к печати 23.III. 1973 г. Объем 3,5 п. л. Уч.-изд. 3,15. Формат бумаги 60×84/16. Заказ № 1378. Тираж 200.

Городская типография управления по делам издательств, полиграфии и книжной торговли Одесского областного комитета.
Цех № 2, ул. Ленина, 49.